

Architecture matérielle des ordinateurs personnels

Ordinateurs de bureau

Ordinateurs portables



**Lycée du Hainaut
Première année – Filière TSI (1TSI)
2019-2020**

Quelques précisions concernant ce « volumineux » document

Cette présentation a pour but de connaître l'organisation internet des ordinateurs qu'ils soient de bureau, portables ou, plus récemment, ultraportables (smartphones, tablettes, etc).

Ils constituent les supports matériels des Sciences du Numérique que nous étudierons au travers de l'algorithme et de la programmation avec le langage Python.

Ainsi, nous décrirons leurs principaux constituants et leur organisation : alimentation, unité centrale, mémoire vive, mémoire de masse, périphériques d'entrée-sortie et ports de communication avec d'autres systèmes numériques. La spécificité des appareils mobiles (mobile devices) ne sera pas approfondie, mais des comparaisons pourront être effectuées.

La description de la partie matérielle nous conduira à évoquer quelques peu les éléments logiciels en charge de relier les composants électroniques des machines au système d'exploitation qui permet d'interagir avec les usagers.

Une carte mentale « Organisation et structure des (micro-)ordinateurs » est donnée pour apporter une vue globale et synthétique des ordinateurs au sens général.



Introduction

- Un ordinateur, qu'est-ce que c'est ?
- Brefs repères historiques

Approche externe et interne des OP

- Face avant, face arrière, connectique
- Et sur un ordinateur portable ?
- Ouverture du capot
- Description succincte de la carte mère

Architecture(s) matérielle(s) des OP

- Organisation générale d'un OP
- CPU (Control Processor Unit) ou uP
 - Bases, pipeline, mémoires caches, monocoeur/multicoeur, Hyper-Threading, fréquence d'horloge contrôlée (Turbo Boost), évolution des microprocesseurs (loi de Moore, critères), Enveloppe thermique
- Chipset : localisation et rôle
- Bus de données (internes, externes)...
 - Bus internes : FSB, bus mémoire, ISA, LPC, EISA, PCI, ATA et IDE et illustrations ;

■ ...Bus de données (internes, externes)

- Bus graphiques internes : AGP, PCI express et illustrations ;
- Bus externes : PCMCIA, SCSI, SATA, eSATA, série (COM, RS-232), USB, parallèle, son et illustrations ;
- Liaisons graphiques externes : CGA, EGA, VGA, DVI, HDMI, DP, FireWire/i-link, Light Peak (Thunderbolt), formats graphiques et illustrations ;
- Interfaçage réseau filaire.

■ Systèmes de stockage de données

- Classification des systèmes de stockage de données, mémoire morte (ROM), mémoire vive (RAM), mémoire flash, mémoires de masse (Disque dur magnétique, disque flash ou SSD, disques optiques (CD-ROM, DVD-ROM, Blu-ray, CD-, DVD-R)).

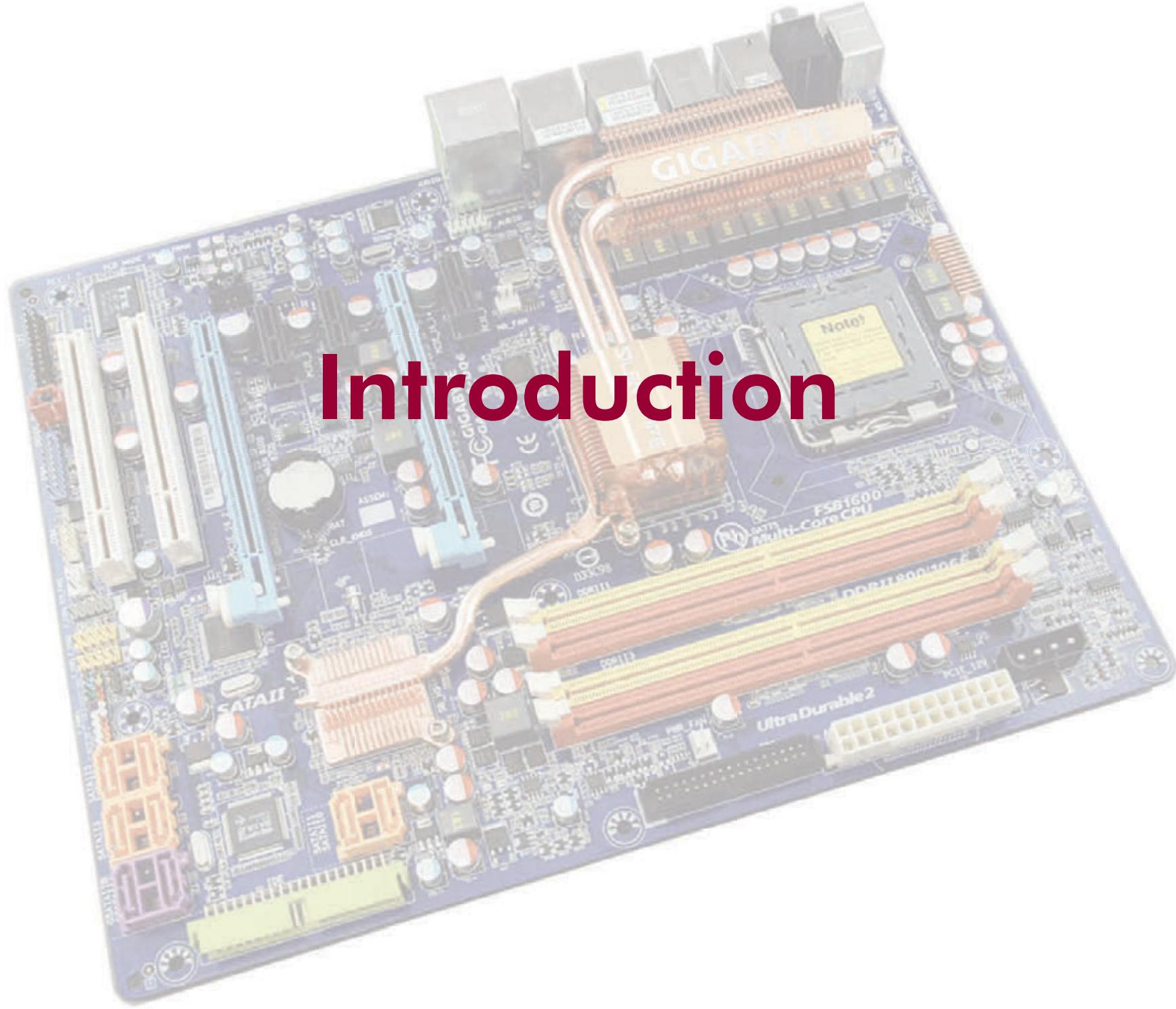
■ Accessoire : bloc d'alimentation

■ Autres architectures d'OP : généralités, exemples et cas du système Apple

■ Récapitulatif et guide des périphériques

■ Références

Introduction





Une machine « électronique » (des versions mécaniques ont existé : Cf. Pascal, Babbage)

Chargée de traiter automatiquement des informations (des données, numériques ou autres)

- Les données sont fournies par un usager ou une autre machine...
 - Elles sont représentées sous forme numérique au format binaire (Cf. logique binaire)
- ... Par le biais de périphériques assurant l'interface homme/machine (clavier, écran, etc.)
- Ou de liaisons de données (interfaces d'entrées/sortie, réseau, etc.)

Le traitement est assuré par la réalisation d'opérations logiques et arithmétiques basées sur un algorithme qui effectue :

- Des actions à la suite les unes des autres : les séquences (sauf en « traitement parallèle »)
- Des répétitions d'actions : les itérations
- Des tests : les alternatives

Le programme est l'ensemble des instructions que l'ordinateur exécute : partie logicielle

Pour réaliser cela, l'ordinateur dispose

- D'une structure matérielle comprenant des composants (électroniques le plus souvent)
- De liaisons de communication avec d'autres machines (interfaces de communication)
- De liaisons d'interface avec l'usager (ou de l'opérateur)
- Tout ceci constitue la partie matérielle



Mais ils viennent d'où, ces ordinateurs ? Un peu d'histoire...

La machine d'Anticythère : premier calculateur analogique destiné aux calculs astronomiques (époque supposée ~87-90 av. J.C.)



https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_d%27Anticyth%C3%A8re



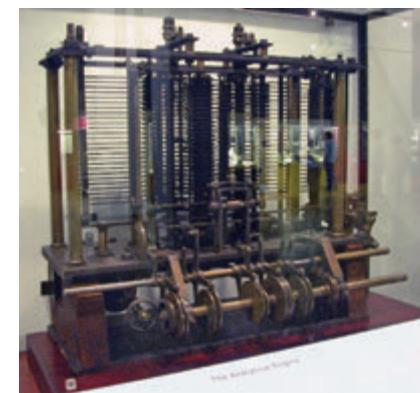
Machine à calculer de Blaise Pascal (entre 1641 et 1645)
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pascaline>



Machines à calculer programmable de Charles Babbage : de différence à gauche (la 1 en 1823 et la 2 en 1849 –représentée) et l'analytique à droite (entre 1834 et 1836)
https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage



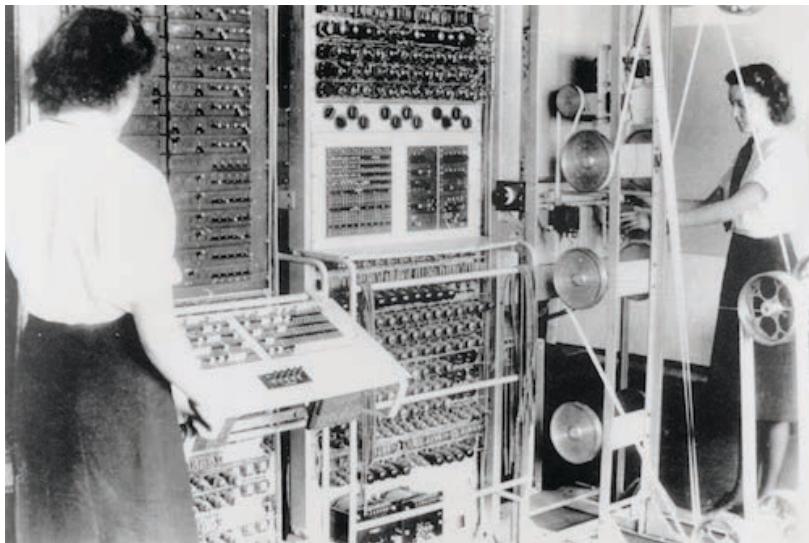
Reconstruction de la machine d'Anticythère par Mogi Vicentini (2007)



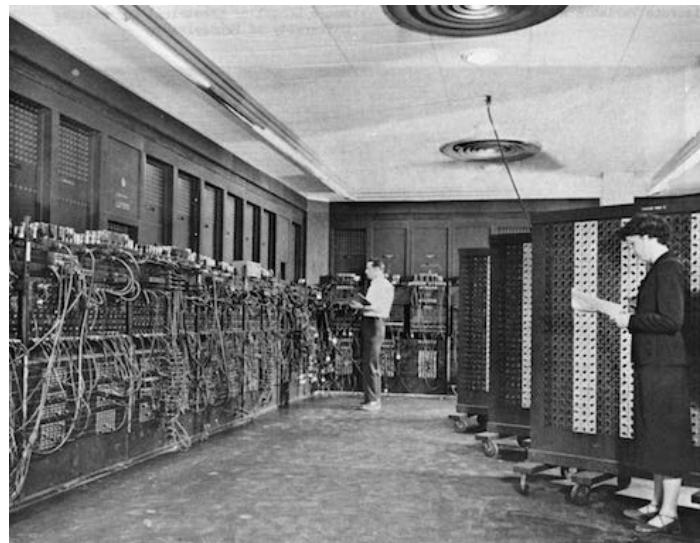


Un peu d'histoire plus récente, avec de l'électronique numérique dedans...

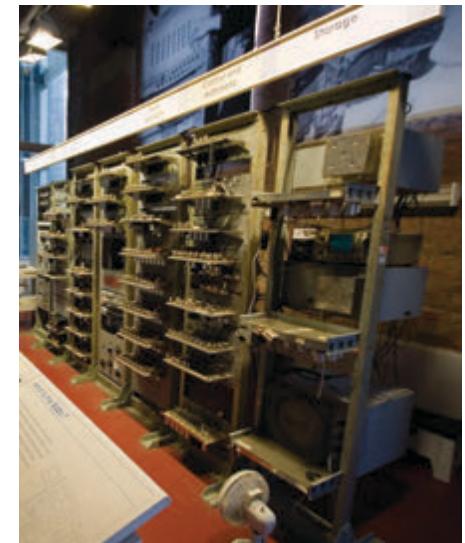
Colossus en 1943 (Bletchley Park, Bedfordshire, UK)



ENIAC en ~1946



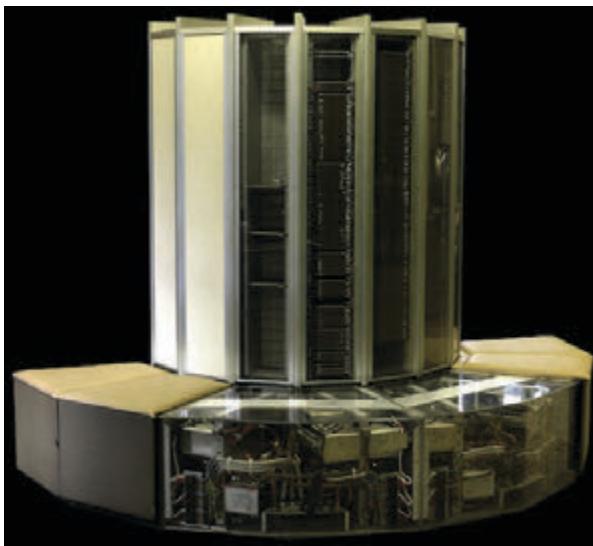
Le SSEM en 1948 (réplique)



Hewlett-Packard 9100A en 1968



Cray-1 en 1976 (architecture vectorielle)



TRS-80 de Tandy RadioShack en 1977

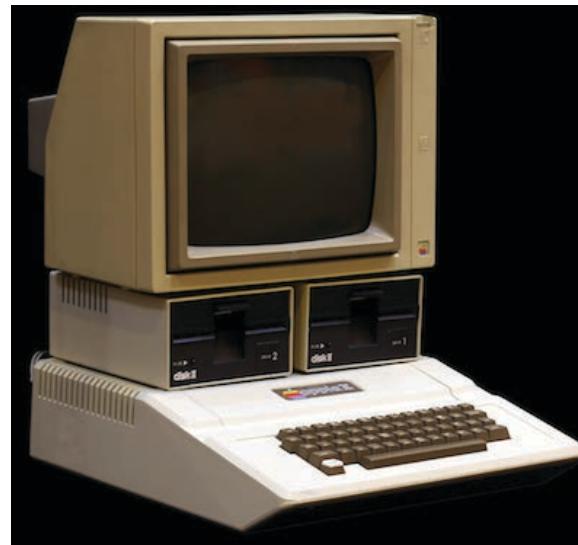


C Jusqu'à plus récemment, l'ordinateur personnel...

Micral N en 1973 (1^{er} ordinateur personnel)



Apple II en 1977



Bull-Micral P2 français en 1981



IBM PC 5150 en 1983



Macintosh 128 de Apple en 1984



...Années 201x





Approche externe et interne des ordinateurs personnels (OP)

Cette description concerne les ordinateurs dits « compatibles PC » qui constituent l'évolution de la structure de l'ordinateur personnel. Celui-ci fût développé et mis sur le marché par la société IBM en 1983 dans le but de devenir un standard informatique : en effet, il s'est largement répandu.



Comment aborder un ordinateur personnel (OP) d'aujourd'hui (ou presque) ?

Avant de comprendre ce qu'il se passe à l'intérieur, observons l'ordinateur vu de l'extérieur, comme si c'était une « boîte noire »

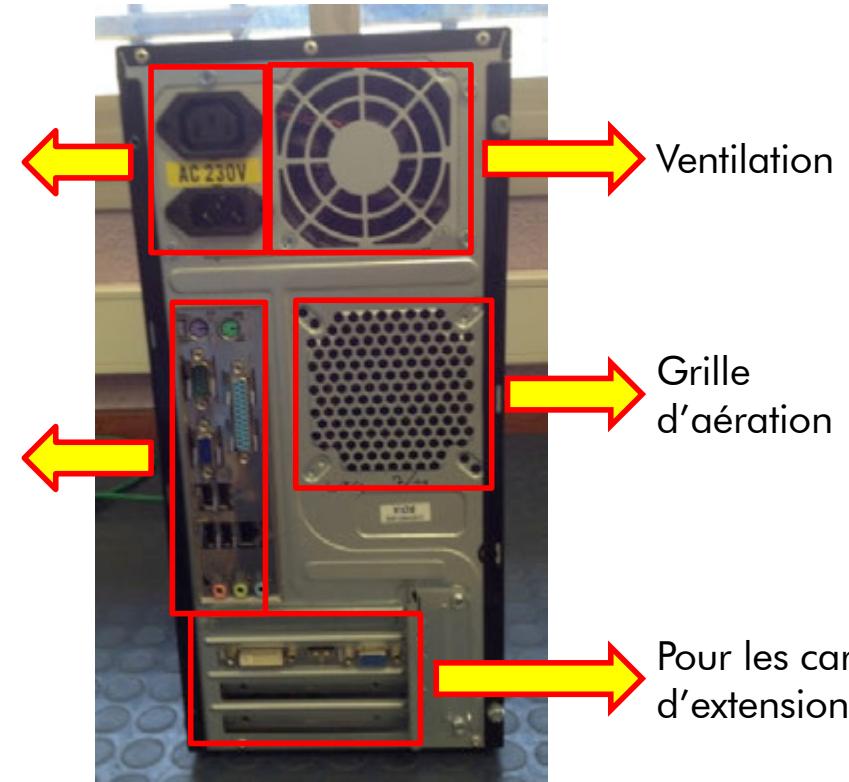
Lecteur/graveur de CD/DVD



Cache masquant d'autres interfaces (USB, son)

Marche/arrêt

Connecteurs d'alimentation



Ventilation

Grille d'aération

Pour les cartes d'extension

Face avant ou façade

Face arrière

À l'avant, on distingue l'accès aux commandes et aux périphériques intégrés

À l'arrière, on distingue des connecteurs, la grille de ventilation, les connecteurs d'alimentation, etc.

Des détails à la suite...



Détail des quelques connecteurs d'interface visibles à l'arrière

Le nombre, le type et la disposition de ces connecteurs dépend des constructeurs et modèles

En voie d'abandon
au profit du tout USB

Ports PS/2
(souris, clavier)

Ports série ou
« COM1 »
(broches mâles)

D'autres interfaces vidéo existent (Cf. diapo suivante)

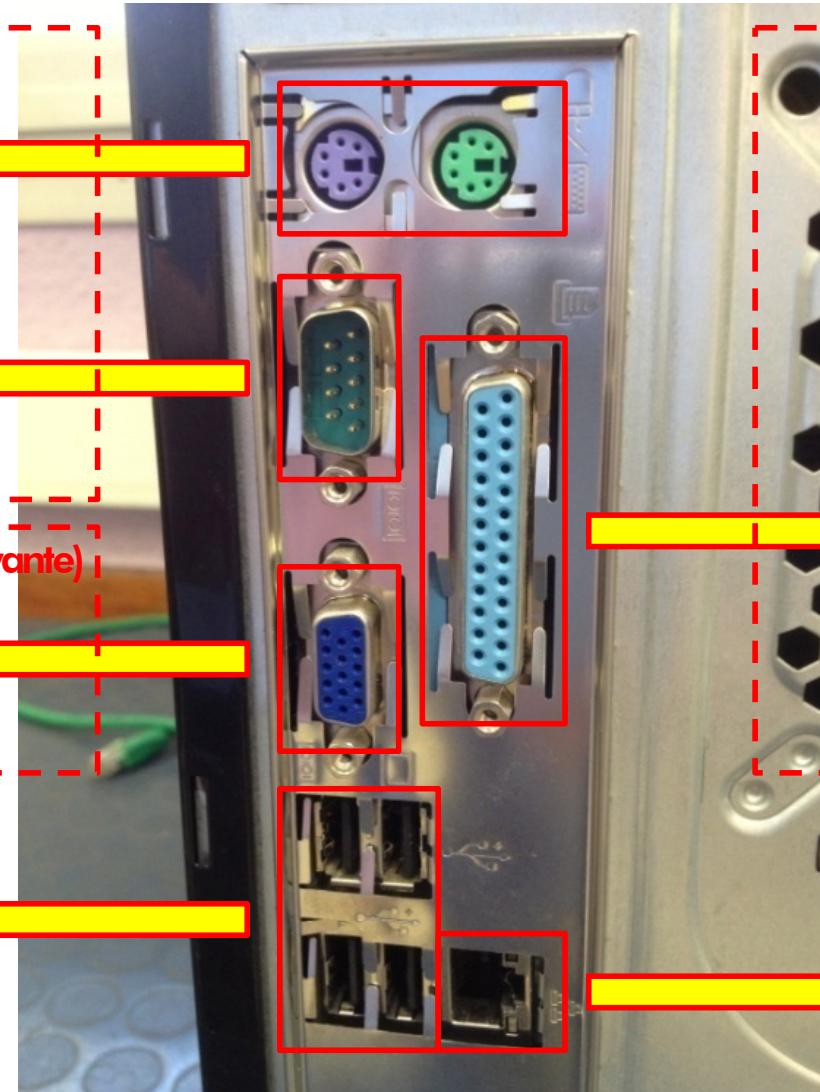
Ports vidéo VGA
(video graphic adapter) :
la carte vidéo est intégrée sur la carte mère

Port USB
(ici au nombre de 4)
Certains ports sont situés sur
la face avant

En voie d'abandon
au profit du tout USB

Port parallèle
(broches femelles)

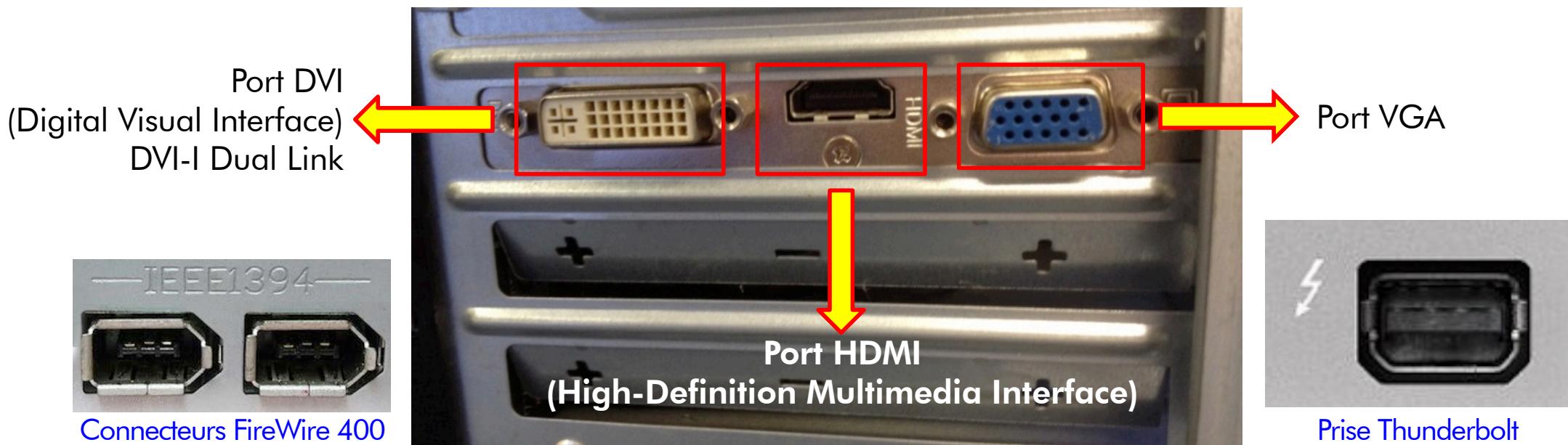
Port réseau RJ45
(femelle) pour la
connexion aux
réseaux Ethernet



Détail de différentes liaisons vidéo visibles à l'arrière

Certaines cartes vidéo disposent de plusieurs interfaces (ici via sur une carte d'extension)

- VGA, liaison analogique (parmi les plus anciennes)
- DVI (Digital Visual Interface), liaison numérique comme l'indique l'acronyme
- HDMI (High-Definition Multimedia Interface), commode pour se connecter aux téléviseurs



■ Des interfaces rapides permettent la liaison avec les caméscopes : IEEE 1394, ou i-link (Sony) ou FireWire (1995, Apple)

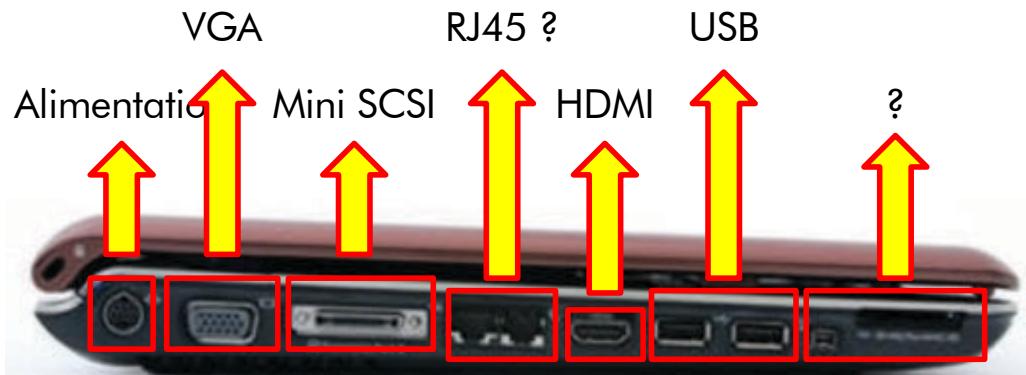
■ Des interfaces modernes arrivent sur le marché : Light Peak (©Intel) ou Thunderbolt (©Apple)

Possibilité des chaîner des périphériques rapides de natures différentes (écran HD, disques durs, etc.)



Et sur un ordinateur portable ?

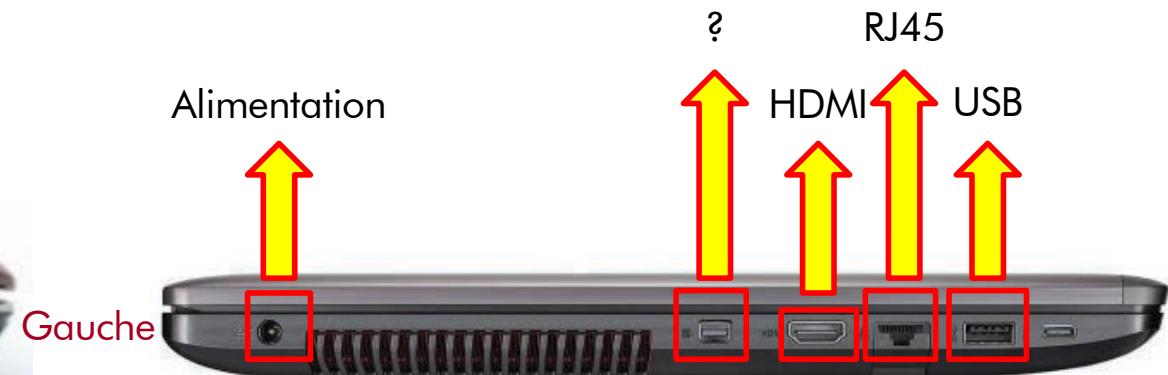
Portable ancien (avec lecteur/graveur de DVD)



Logement
cartes
extension

Lecteur/gr
aveur DVD

Portable récent (avec lecteur/graveur de CD)



son

USB

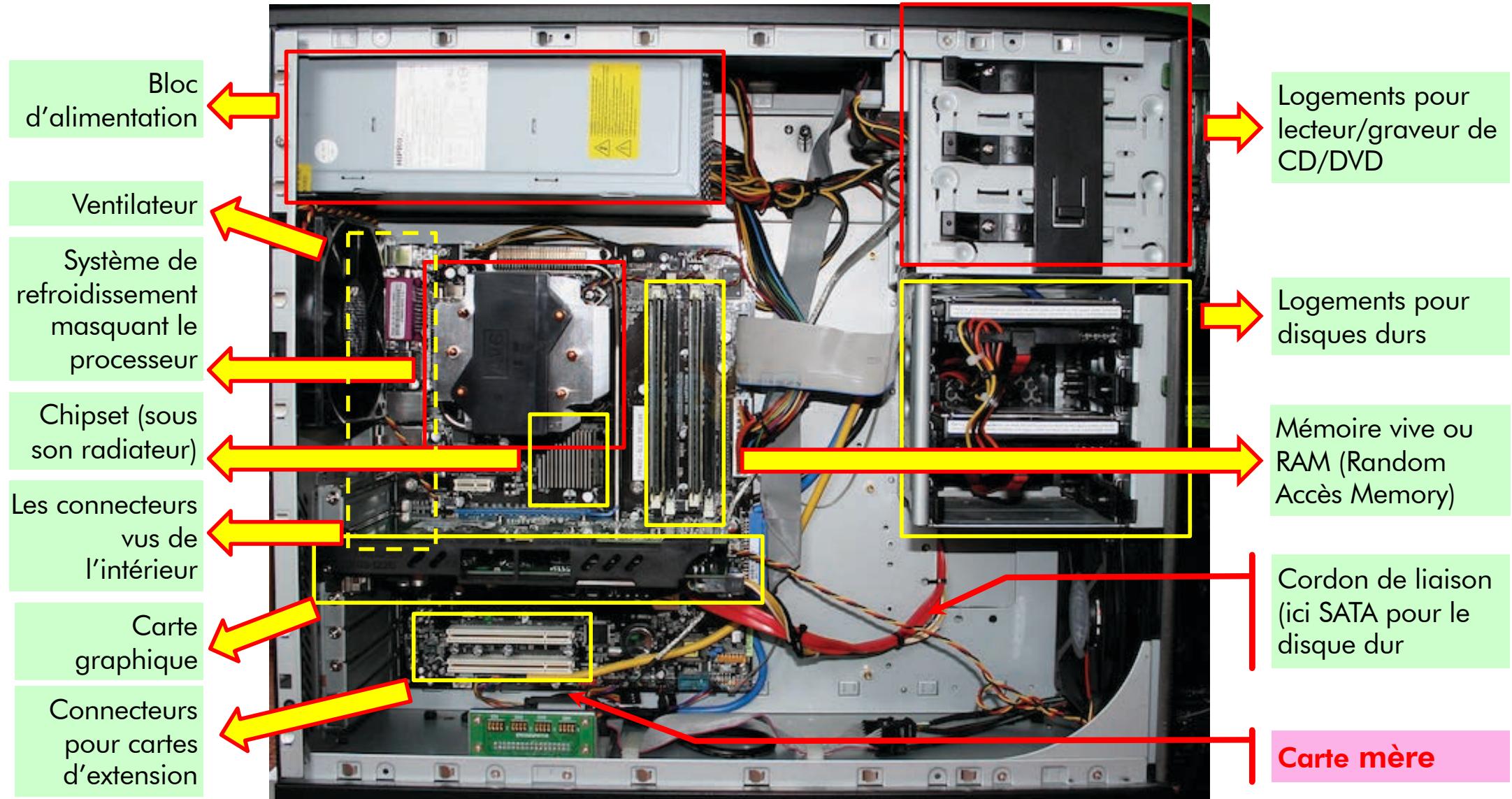
Lecteur/gr
aveur DVD

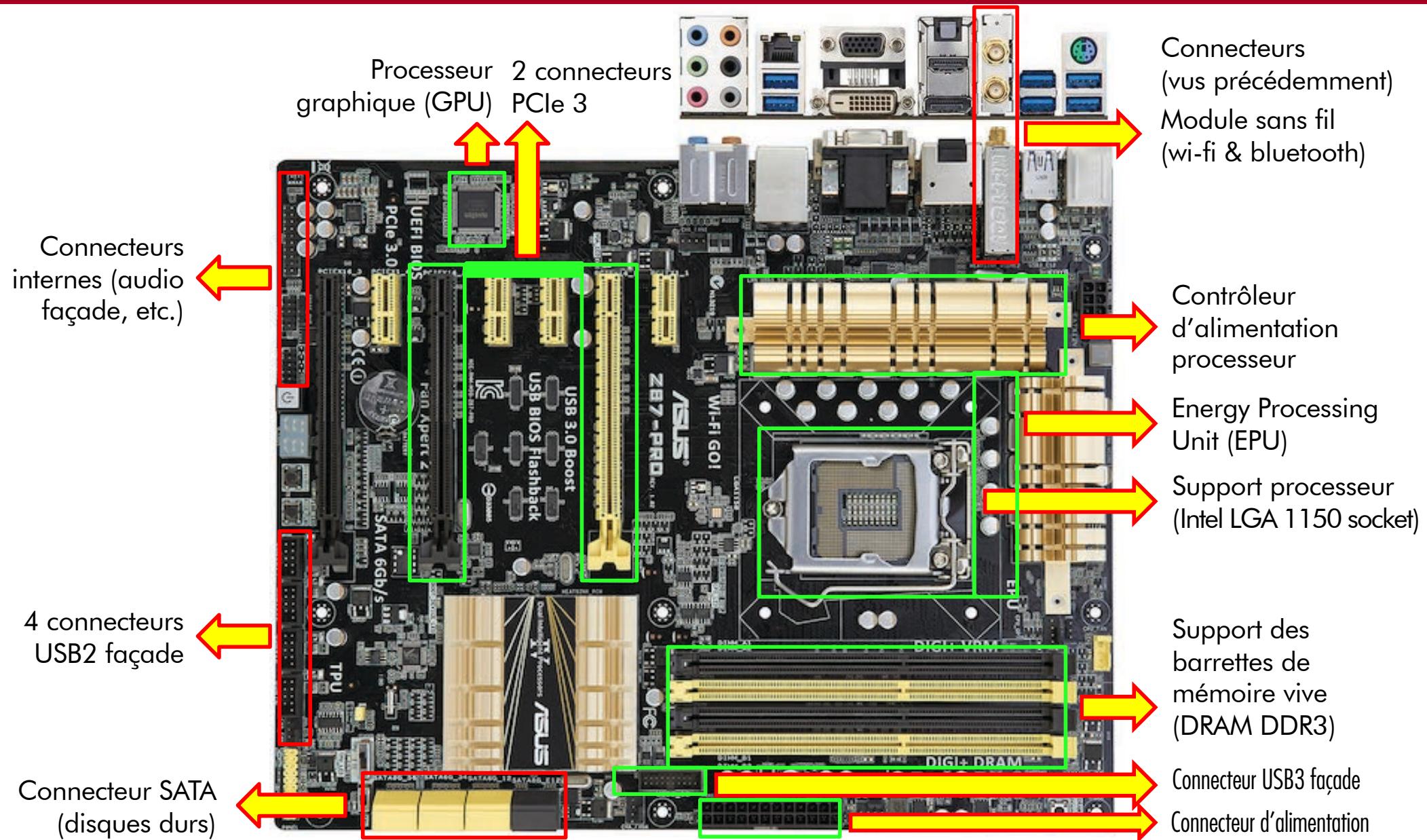
Sécurité



À première vue, après l'ouverture du capot

Les constituants qui apparaissent sont implantés sur la carte mère située à l'arrière





Entrons dans les détails de l'architecture matérielle des ordinateurs personnels

Ou comment des observations, entrer dans la technique pour décrire les composants, leur organisation et les fonctionnalités qui en découlent

— Mise en place —

— Microprocesseur —

— Chipset —

— Bus de données —

— Systèmes de stockage de données —

Ceci est le plan...



Qu'est-ce que l'architecture en informatique ?

- C'est l'organisation générale du système, de l'assemblage de ses constituants et de leurs relations : logiciels ↔ matériels ↔ humains ↔ informations.
- Aucune règle normalisée ne fixe la structure d'un système informatique. Elle est le résultat de « l'intelligence humaine » et des stratégies commerciales, financière et techniques des entreprises et/ou individus.
- Elle est le résultat d'un ensemble de décisions de porté très vaste, prises durant la conception. Architecture logicielle

Architecture du microprocesseur (uP)

- C'est sa structure matérielle : composants numériques, leurs interactions et leur fonctionnement ;
- Couplée à des signaux faisant émerger la notion d'information, puis (de jeu) d'instructions
- Un microprocesseur est donc la bâti sur du matériel (composants) et du logiciel, appelé micrologiciel

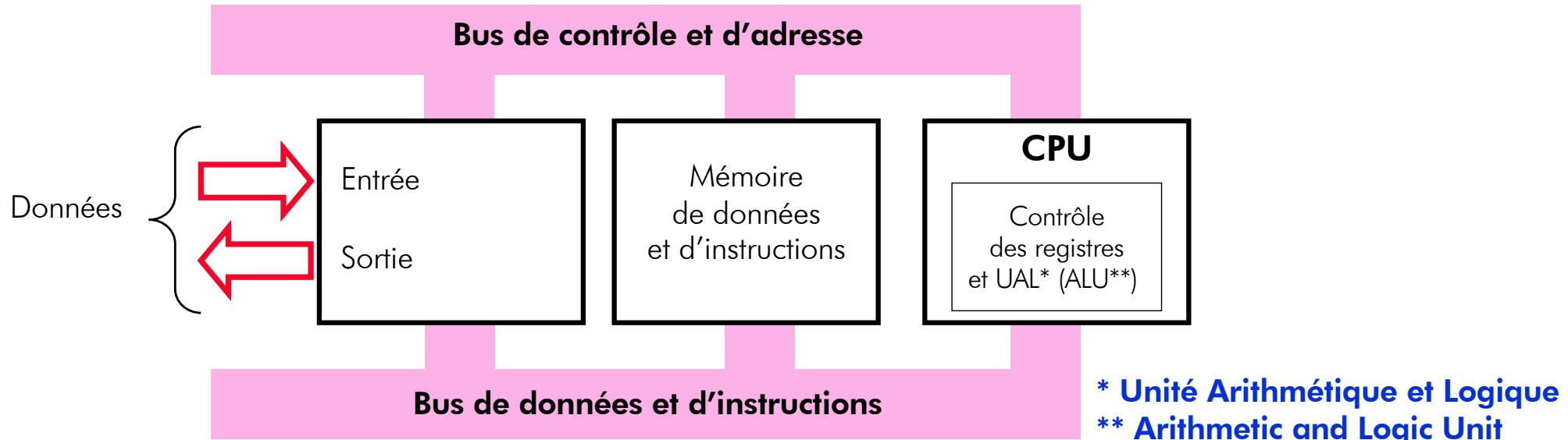
Architecture de l'ordinateur

- C'est le même concept que pour le uP, mais à autre autre échelle : une structure matérielle faite de composants électroniques intégrés, de périphériques précâblés, de leur fonctionnement et surtout de leurs interactions ;
- En conséquence, l'architecture matérielle de l'ordinateur dépend totalement du uP utilisé, en raison essentiellement des signaux et informations échangées avec les périphériques, ainsi que des composants nécessaires au décodage de ces signaux.



Un OP est basé sur l'architecture des machines séquentielles de Von Neumann

- Cette machine stocke les données et les instructions dans le même espace mémoire
- Les données et les instructions cheminent au travers des bus de communication



- Cette structure est identique à celle du microprocesseur de l'OP, mais à un niveau hiérarchique supérieur

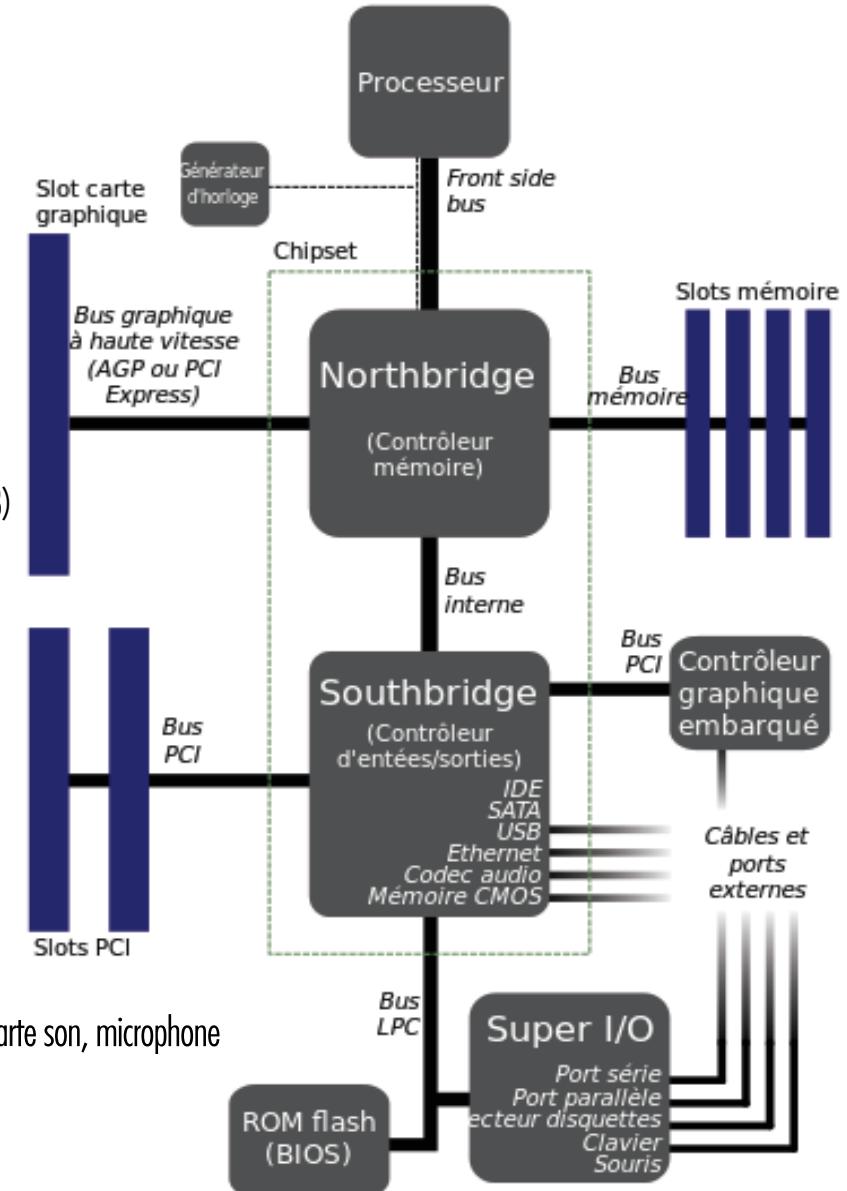
L'architecture des OP ne disposant que d'un seul CPU est décrite dans la vue suivante.
Pour information, une architecture à un seul CPU est dite « monoprocesseur ».

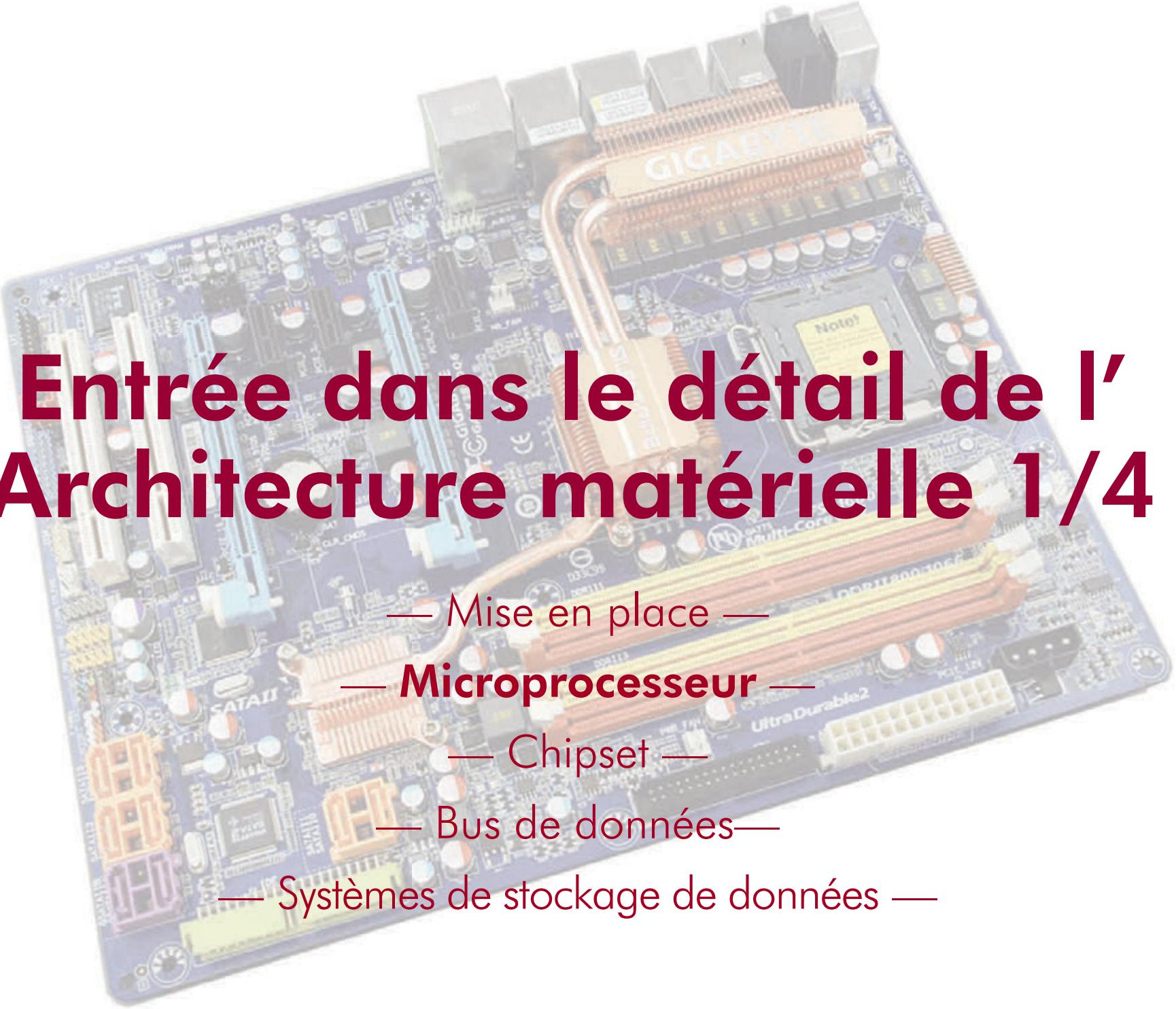


Organisation générale de l'architecture d'un ordinateur personnel (OP)

Les différentes parties sont :

- Le CPU (Control Processor Unit) assure les traitements
- Le Chipset (jeu de puces) assure la liaison matérielle entre les composants implantés sur la carte mère
- Des bus de données
 - ISA, EISA, PCI, AGP, PCMCIA, SCSI, IDE, S(erial)ATA
- Des systèmes de stockage de données
 - Mémoire réinscriptible
 - À accès direct (RAM, SSD)
 - À accès semi-séquentiel (disquettes, CD-RW, DVD R/W, disque dur, Mémoire flash, Clé USB)
 - À accès séquentiel (bandes magnétiques (dépassé))
 - Mémoire non effaçable (ROM)
PROM (EPROM) ; CD-R, DVD-R ou DVD+R, Blu-ray
 - Des systèmes de sorties de données
 - Carte vidéo, moniteur, écran à cristaux liquides TFT, vidéoprojecteur
 - Imprimante, table traçante
 - Carte son, enceintes
 - Lecteur de musique numérique
 - Des systèmes d'entrée de données
 - Clavier, souris, caméra numérique, appareil photo numérique, webcam, scanners, carte son, microphone
 - Des systèmes d'entrée et sorties de données
 - Internet, réseaux informatiques, WiFi, serveur





Entrée dans le détail de l' Architecture matérielle 1/4

— Mise en place —

— Microprocesseur —

— Chipset —

— Bus de données —

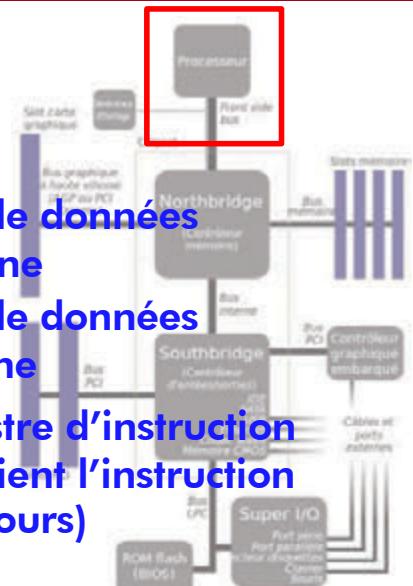
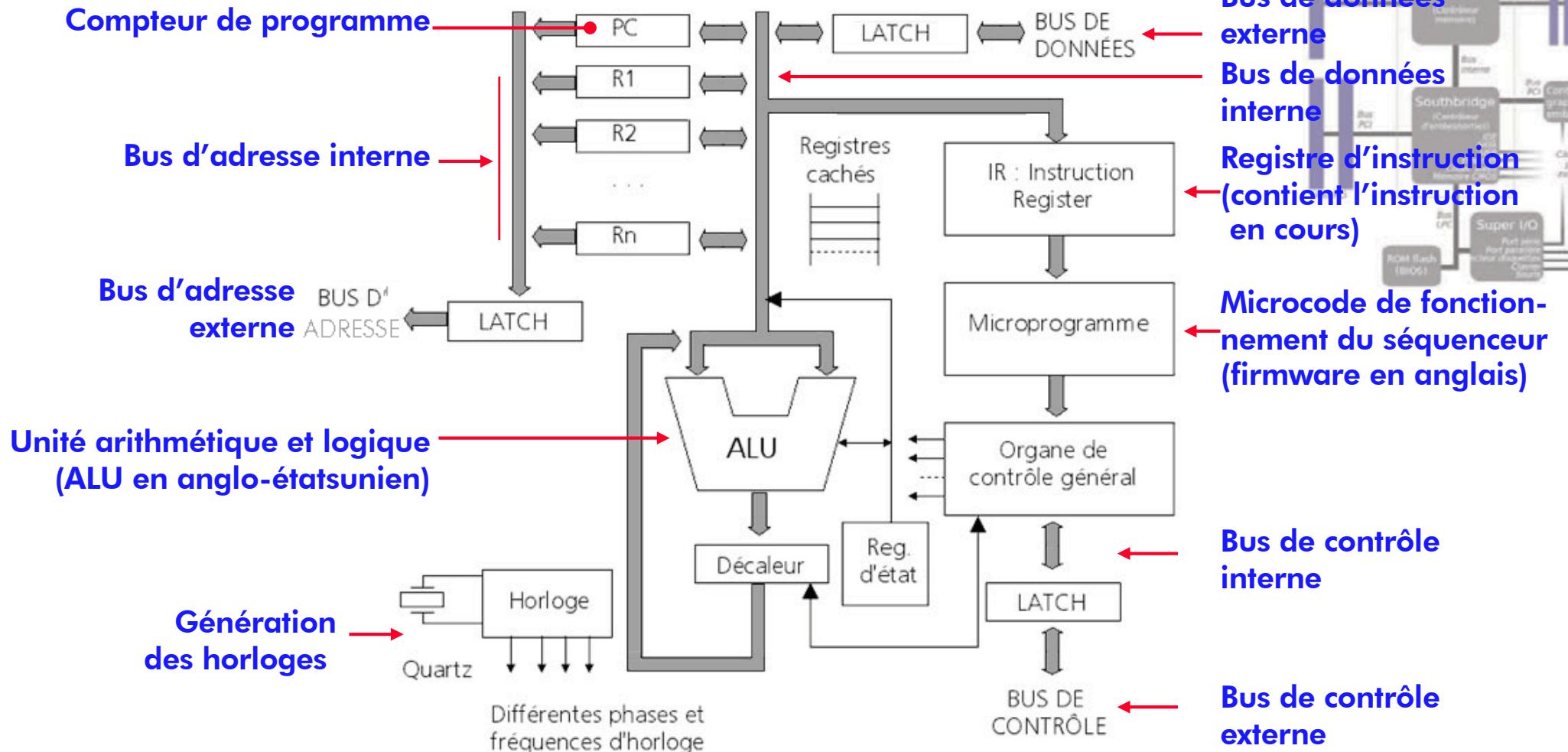
— Systèmes de stockage de données —



CPU – Architecture interne

Le CPU (Control Processor Unit) est l'unité de traitement, le microprocesseur (uP)

Il est intégré dans un seul composant (une seule puce)





Un microprocesseur est composé :

■ D'une structure matérielle

- Bus d'adresses et bus de données (taille de 8, 16, 32 ou 64 bits)
- Bus de contrôle et des registres internes, de données et d'adresses

■ D'un jeu d'instructions

- Opérations sur les données, les adresses et le déroulement du programme
- Pour les processeurs CISC (Complex Instruction Set Computer), les instructions sont complexes Puissantes, mais difficiles à mettre en œuvre
Compilateurs élaborés et complexes (traduction langages sources →instructions)
- Pour les processeurs RISC (Reduced Instruction Set Computer), les instructions sont peu nombreuses, mais élémentaires
Moins puissantes, mais aisées à mettre en œuvre et à exécuter
Compilateurs moins complexes et plus rapides

La puissance dépend de ces éléments, mais aussi :

- De la fréquence d'horloge (donc de la technologie employée pour la réalisation du uP)
- De la quantité et la taille des registres internes de manipulation des données et des adresses
- Des modes d'accès et de manipulation des données : les modes d'adressage



Pour fonctionner le microprocesseur a besoin :

- D'une **horloge de cadencement** (pour ses fonctions séquentielles)
- De la **mémoire contenant les codes des instructions du programme** (le CdC)
 - Souvent non volatile, c'est de la **mémoire « morte »**, ou **ROM**
- De **données issues de l'extérieur** (capteurs, autres systèmes, etc.)
 - Transmises par les **périphériques d'entrée**
- De **mémoire pour les données de traitement**
 - Souvent volatile, c'est de la **mémoire « vive »**, ou **RAM**
- De **transmettre des informations vers l'extérieur** (actionneurs, etc.)
 - Transmises par les **périphériques de sortie**

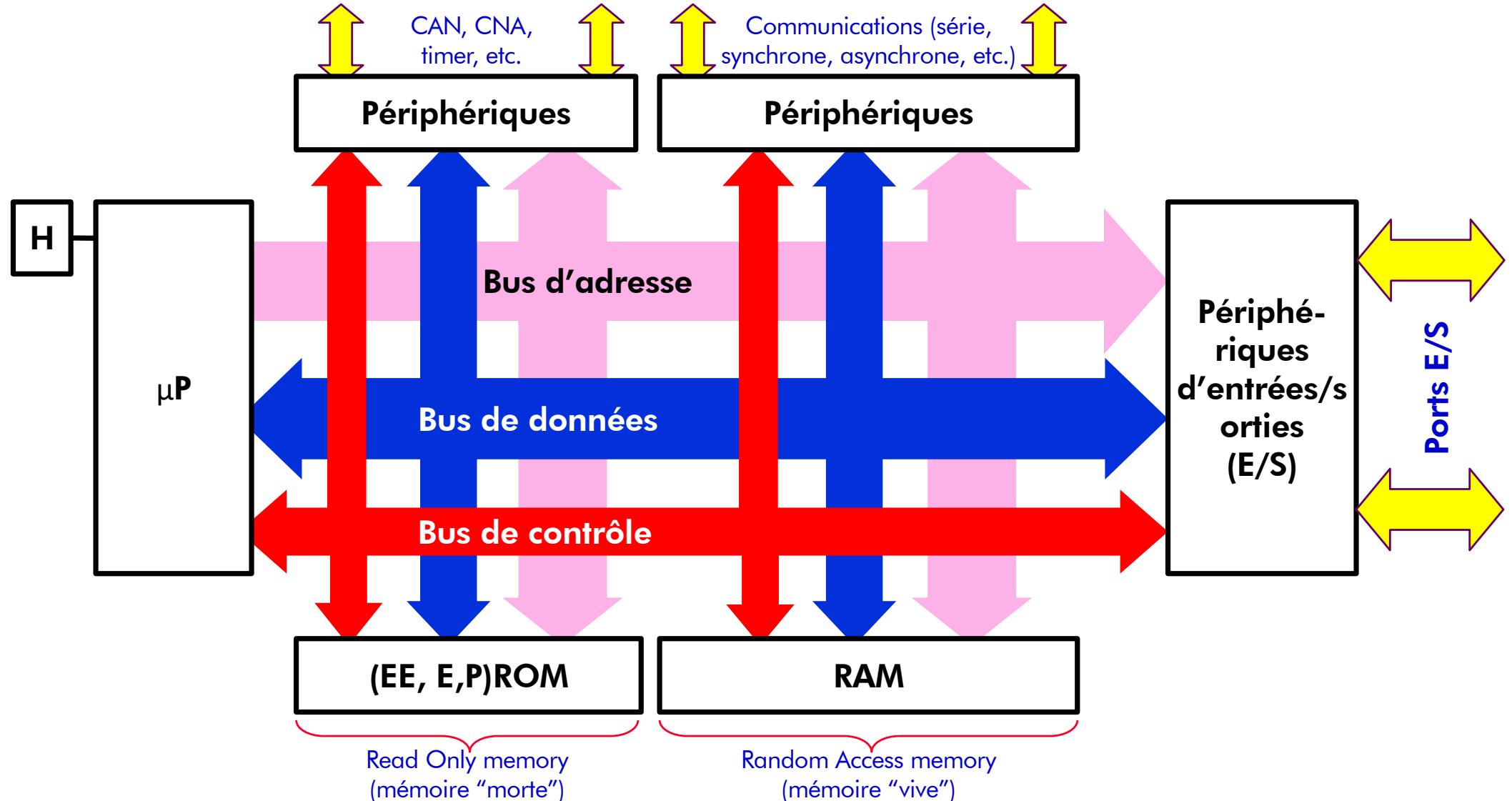
Ces éléments sont indispensables à la bonne marche de la commande

À ce stade, une étape est franchie :

- Un **système minimum** (ici à microprocesseur) est constitué



Le microprocesseur agit comme un « chef d'orchestre »



Trois canaux de communications internes coexistent

Bus de données

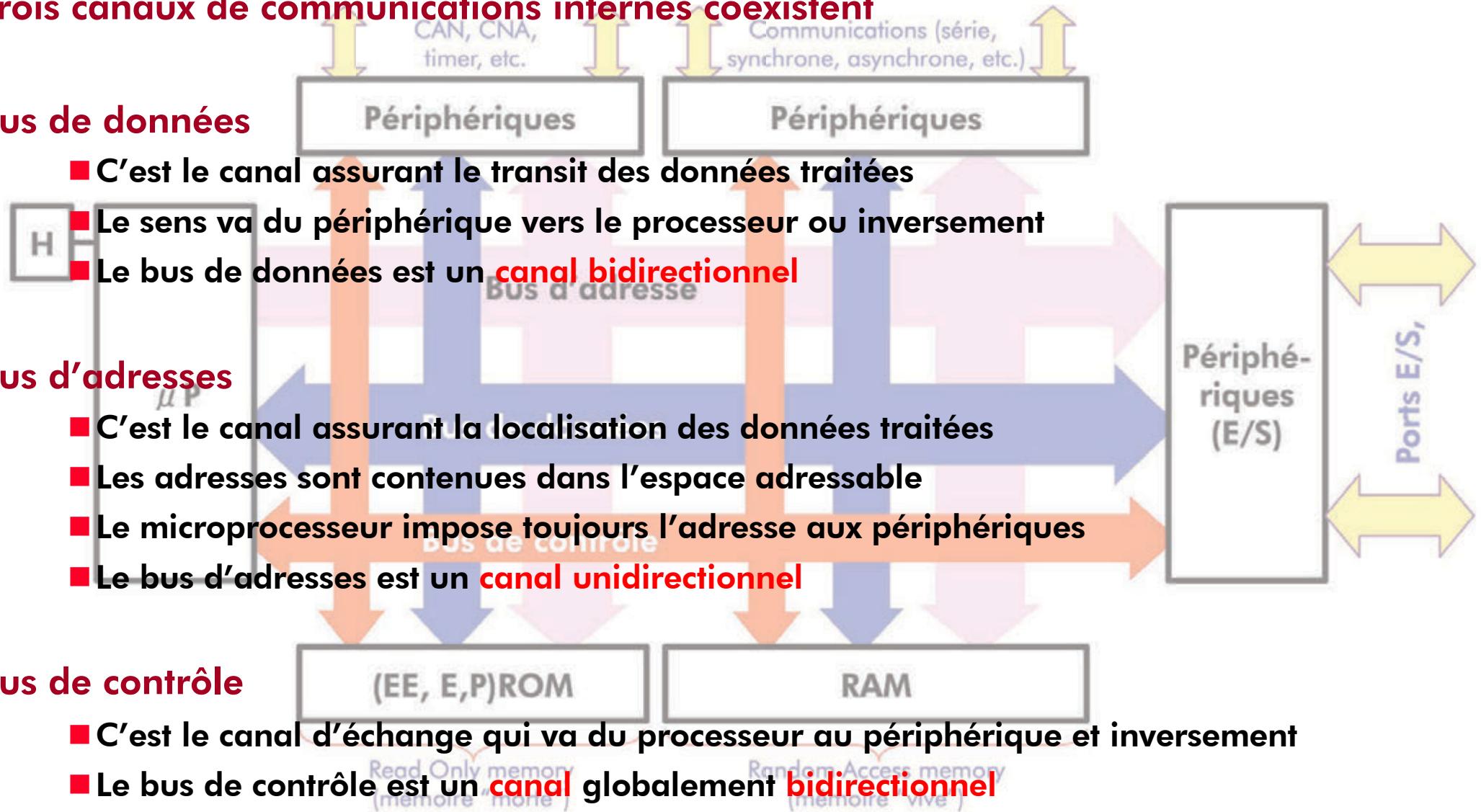
- C'est le canal assurant le transit des données traitées
- Le sens va du périphérique vers le processeur ou inversement
- Le bus de données est un **canal bidirectionnel**

Bus d'adresses

- C'est le canal assurant la localisation des données traitées
- Les adresses sont contenues dans l'espace adressable
- Le microprocesseur impose toujours l'adresse aux périphériques
- Le bus d'adresses est un **canal unidirectionnel**

Bus de contrôle

- C'est le canal d'échange qui va du processeur au périphérique et inversement
- Le bus de contrôle est un **canal globalement bidirectionnel**



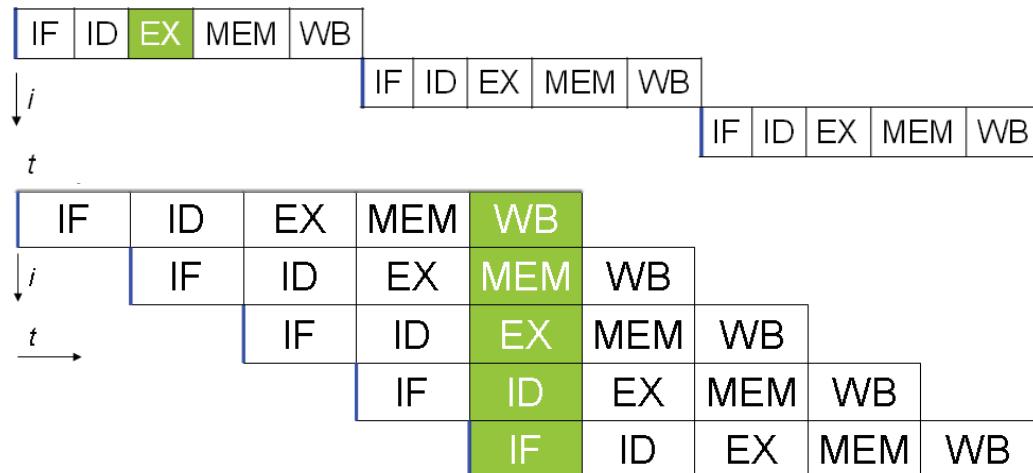


Le technique du pipeline (chaîne de traitement) permet d'accroître l'exécution des instructions par le microprocesseur en parallélisant des étapes

Le principe du pipeline est inspiré du travail à la chaîne : le traitement d'une instruction est décomposée en petites opérations élémentaires, cinq au total :

1. IF – Instruction FETCH , IF, en anglais, lecture de l'instruction dans la mémoire (ou le cache mémoire) ;
2. ID – Instruction DECODE, ID, décodage de l'instruction et recherche des opérandes (dans les registres ou des valeurs immédiates) ;
3. EX – EXECute instruction. Ex. : ADD, on fait la somme, SUB, la soustraction, DCL, décalage à gauche/droite ($x2$ ou $u/2$), etc. ;
4. MEM – MEMORY access, accès (lecture/écriture) d'un registre à la mémoire ;
5. WB – Write Back instruction, écriture de la valeur calculée (envoyée en retour-back) dans un registre ou dans la mémoire.

Pour accélérer l'exécution du programme, l'instruction suivante commence à être décodé alors que la précédentes est encore en cours de traitement.



Exécution sans pipeline :

15 cycles au total pour 3 instructions : 3x5 étapes

Exécution avec pipeline :

Le séquençage des instructions est obtenu avec un pipeline à 5 étages. Grâce aux décalages successifs, il faut 9 cycles pour exécuter 5 instructions. À la 5^e étape, tous les étages du pipeline sont sollicités et les 5 opérations ont lieu en même temps.



Constats sur les échanges de données et l'exécution des instructions :

- Les signaux sont plus rapides entre deux registres (**R**) du uP car ils n'en sortent pas
- Ils sont plus lents entre un registre et la mémoire (**M**) en raison du temps pour y accéder
- Les instructions sont stockées dans **M**, le temps de récupération est donc un handicap

Pour réduire ces temps, des zones de mémoire cache (**MC**) ou antémémoire situées dans le uP stockent les informations les plus courantes. Elles sont organisées en trois niveaux.

- Le cache de premier niveau (**L1**), plus rapide et plus petit (le cache de données pouvant être séparé du cache d'instructions) ;
- Le cache de second niveau (**L2**), moins rapide, mais de taille plus importante ;
- Le cache de troisième niveau (**L3**), moins rapide encore, mais plus volumineux ;
- Ces deux derniers caches peuvent être situés en dedans ou en dehors du uP.
- Classement des temps d'accès : $t_{R \leftrightarrow R} < t_{R \leftrightarrow MC} < t_{R \leftrightarrow M}$
- Un processus indépendant met à jour les données entre **M**, **L1**, **L2** et **L3**
 - Des techniques et des algorithmes permettent gérer les données à transférer de **M** vers **MC**

Les mémoires cache accroissent la complexité du uP, sa dissipation thermique et son coût (mise en œuvre de technologies plus rapides, donc plus couteuses)

- C'est pour cette raison que les mémoires cache ont des tailles plus faible que la mémoire principale (tailles de **MC** mesurée en ko ou Mo alors que pour **M** c'est en Mo ou Go)



Dans un uP « classique », un cœur (core) physique est l'ensemble éléments du circuit capables d'exécuter les instruction d'un programme de façon autonome

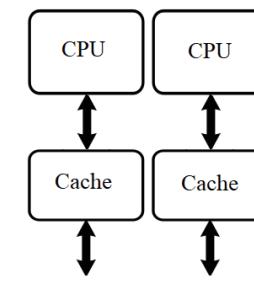
- Pour rappel, le cœur physique est composé d'un compteur programme, de registres internes, d'une unité de calcul (UAL), de mémoires cache, etc.
- Un processeur standard possède un seul cœur (monocœur ou single-core). Un processeur avec un seul cœur ne peut traiter qu'une seule suite d'instructions à la fois. Plusieurs instructions peuvent être traitées par le cœur d'un processeur mais ce sera toujours à la suite des unes des autres (séquentiellement).

Dans un processeur multi-cœur, le uP est fragmenté en petites unités qui peuvent traiter les informations de manière indépendante (comme des uP différents)

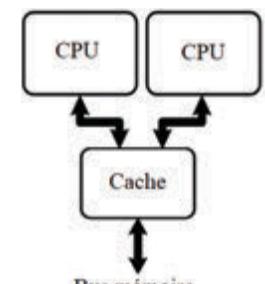
Le uP est composé de plusieurs cœurs physiques, par exemple :

- 2 cœurs (Power4 en 2001, Sun UltraSPARC IV en 2003 et Intel core 2 duo en 2005)
- 20 cœurs pour l'Intel Xeon E5-2679 v4 (2,5 GHz) de 2017 (pour les stations de travail)

Pour assurer la coordination et assurer le stockage des données, des mémoires caches supplémentaires, sont prévues pour permettre les échanges d'informations entre les cœurs avec un cache dédié ou un cache partagé.



Cache dédié



Cache partagé



Avantages

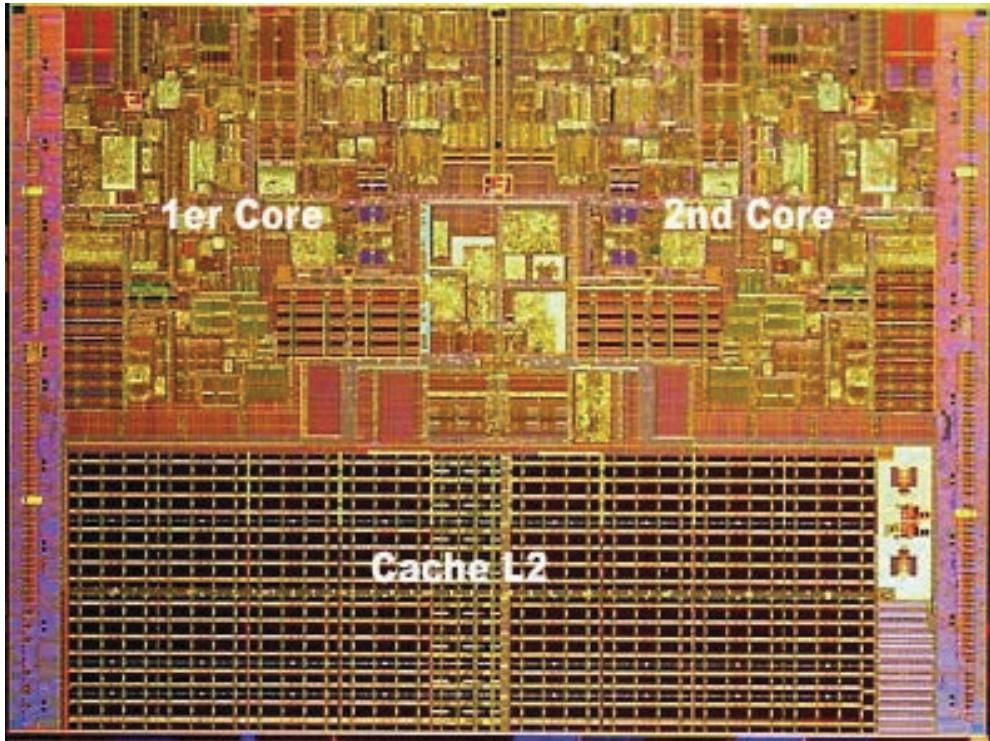
- C'est un cas d'application de la règle « diviser pour régner » : la puissance de traitement du uP est augmentée sans toucher à la fréquence d'horloge, ce qui évite d'accroître les pertes par effet Joule, donc la dissipation thermique et l'échauffement (Cf. enveloppe thermique), et à terme la consommation. Très important pour l'autonomie en énergie.
- Ce concept permet de dynamiser le développement des terminaux portables : la limitation de l'énergie consommée augmente l'autonomie des batteries même pour de fortes puissances de calcul.
- Possibilité d'affecter un cœur à chaque processus (à des programmes différents par exemple). Cette technique évite de répartir les instructions de chaque processus à un seul cœur, sinon on observe un ralentissement de l'exécution de tous les processus.
- Possibilité d'effectuer du (gestion d'activités simultanées) : c'est le traitement parallèle vrai.

Inconvénients

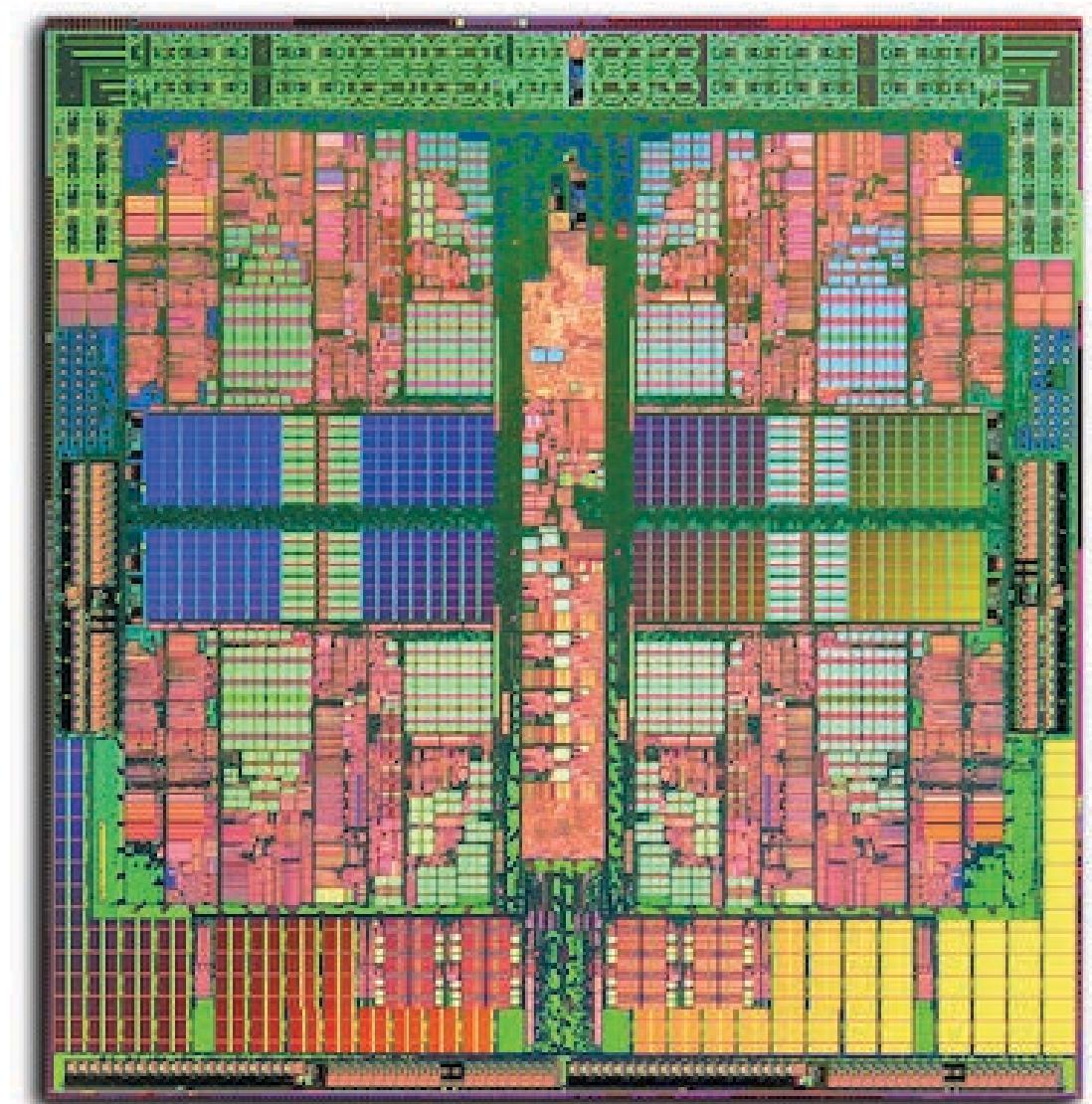
- Accroissement de la complexité, donc du coût (qui baisse avec les quantités produites).
- Plus de complexité logicielle, mais c'est souvent le système d'exploitation (SE) qui assure la répartition des coeurs aux applications et leur gestion : on parle alors de SE multitâche.



Quelques illustrations



Processeur Intel Core Duo (2006)



Processeur quad-core AMD Opteron (2009) ▶



Pour accroître les performances, la technique de Hyper-Threading* (HT) est introduite en 2002 sur les processeurs Xeon et Pentium 4.

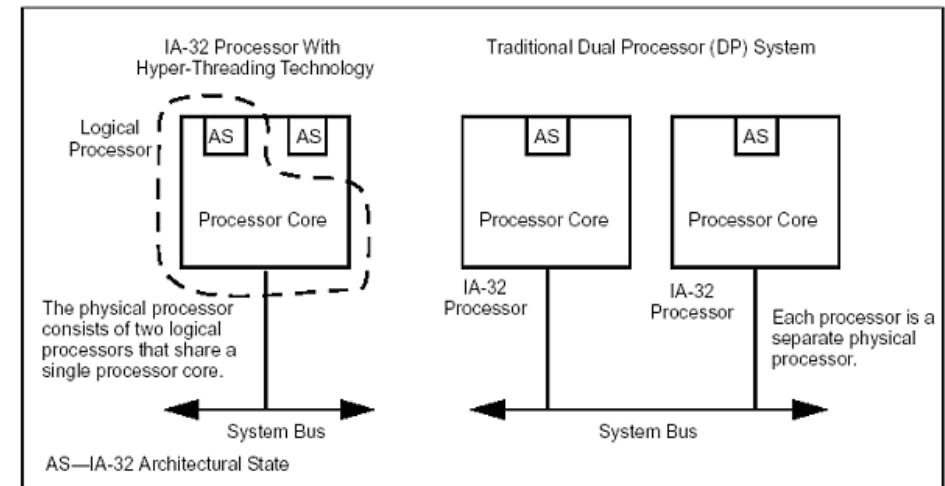
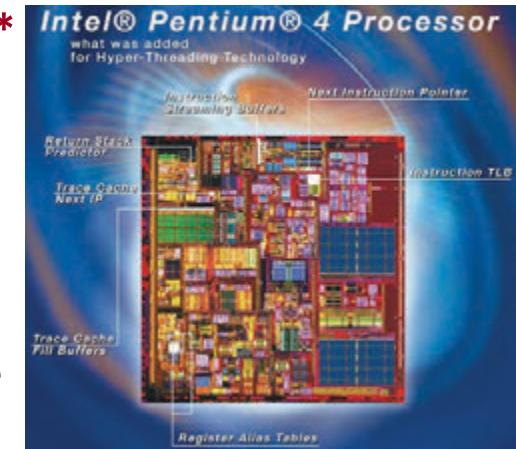
L'HT consiste à augmenter le nombre d'opérations exécutées simultanément en un cycle d'horloge de la manière suivante :

- Créer deux processeurs dits « logiques » (PL) sur une seule puce ;
- Chaque PL possède ses propres registres de données et de contrôle et d'un contrôleur d'interruptions particulier ;
- Les deux PL partagent les éléments du processeur, le cache et le bus système ;
- Deux sous-processus peuvent alors être traités simultanément par le même processeur ;
- Cette technique multitâche permet d'utiliser au mieux les ressources du processeur.

Cette technique permet de doubler artificiellement la capacité physique d'un uP

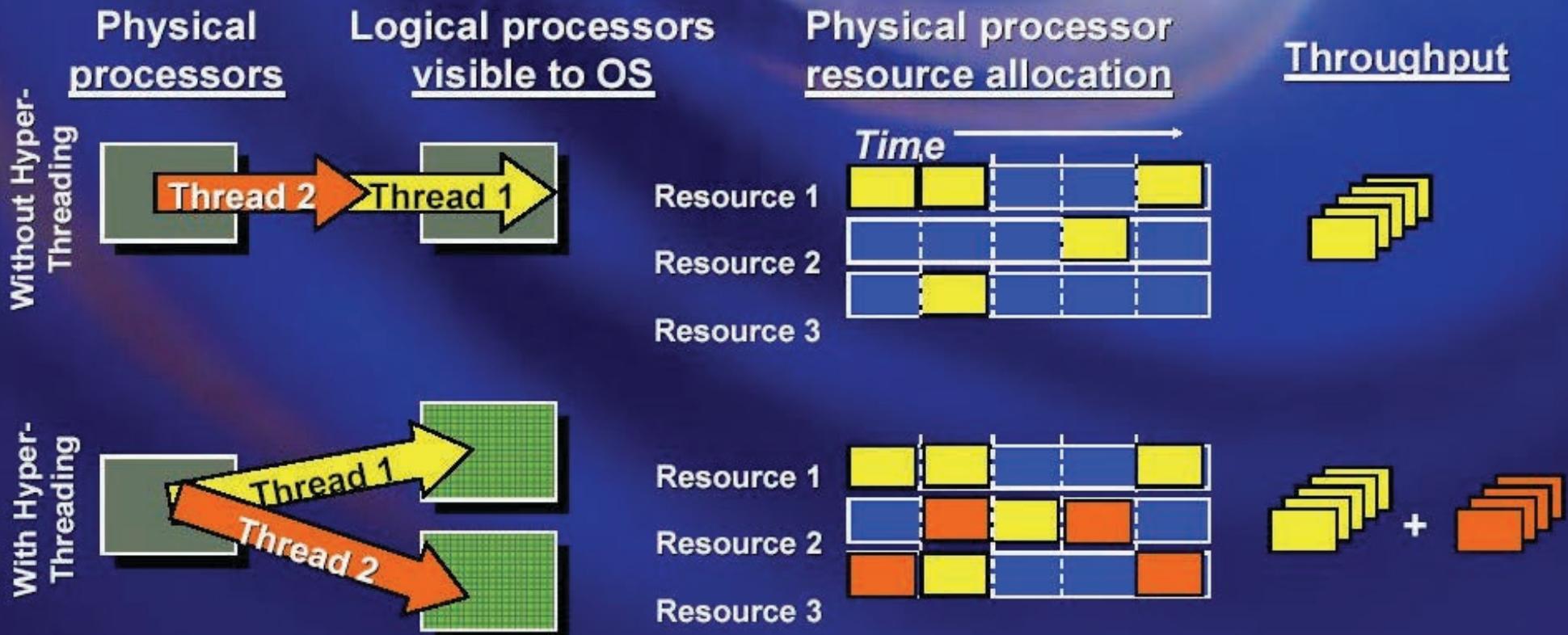
- En créant deux traitements parallèles
- Ou alors pour accroître la puissance de calcul

Détail et illustration sur la diapositive suivante



* À ne pas confondre avec le multi-thread (processus léger) qui, en informatique, constitue un déroulement d'une suite d'instructions machine

How Hyper-Threading Technology Works



Hyper-Threading helps fill moments of idle utilization, such as with:

- Memory accesses (like digital photo editing/effects)
- Dependency chains with longer instruction latencies (like video encoding/transcoding)
- Branch mis-predicts (like 3D ray tracing)
- An integer app and a floating-point app running at the same time



Une autre manière d'accroître les performances des uP consiste à accroître sa fréquence d'horloge.

- Cette solution est mise en œuvre depuis 2008 par Intel pour des processeurs i5 et i7 dans sa technologie dite « Turbo Boost® »™ (TB 1.0).
- Depuis 2011, c'est la version TB 2.0 qui est commercialisée.

Principe

- La fréquence d'horloge (fréquence de fonctionnement) du processeur est augmentée en fonction de la charge de travail qui lui est demandée jusqu'à une fréquence maximale : C'est le mode « turbo ».
- Ce mode de fonctionnement peut être activé ou désactivé sur les uP.
- Une fois qu'il est actif, le TB est déclenché automatiquement en fonction de l'état de fonctionnement de l'ordinateur : type de charge de travail, nombre de coeurs actifs, consommation électrique estimée, puissance estimée, température du processeur., etc.

Pour rappel, les conséquences de l'augmentation de la fréquence d'horloge sont :

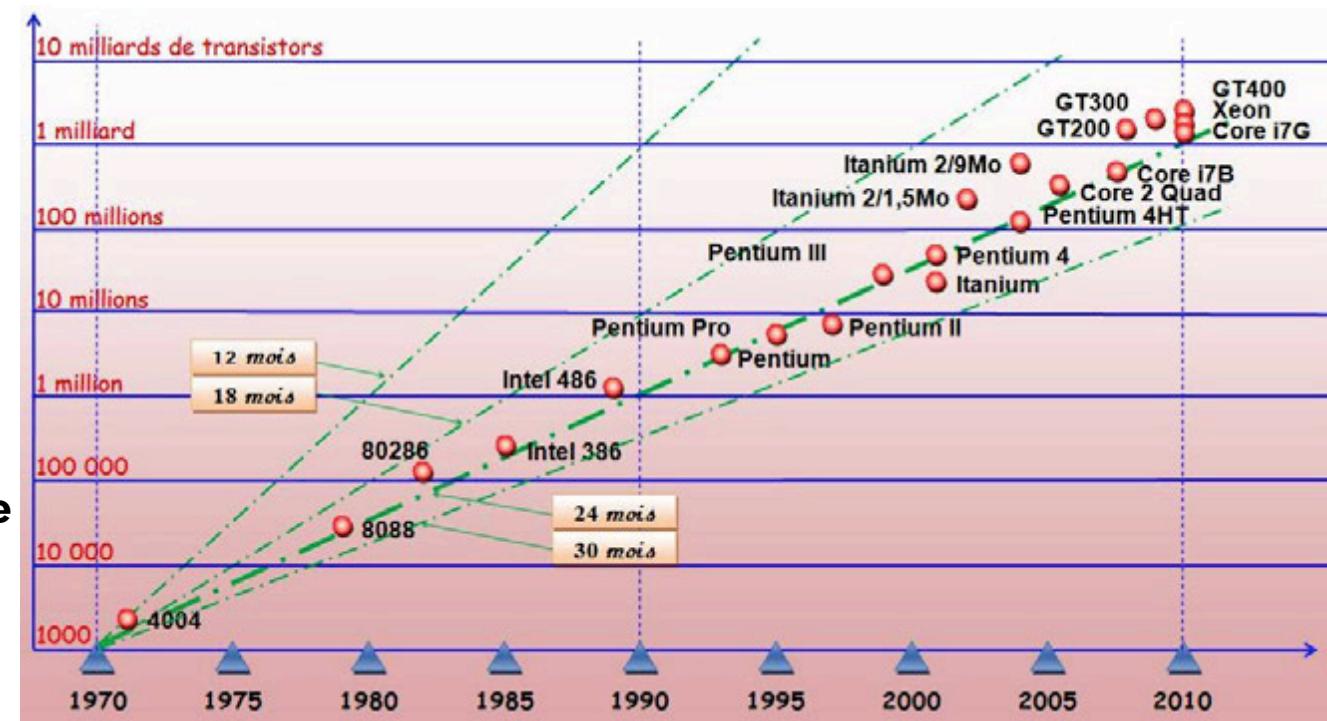
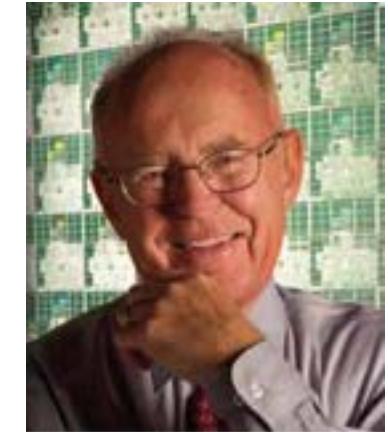
- Un accroissement de la puissance perdue lors des commutations des semi-conducteurs
- Cette puissance perdue P_p est proportionnelle à la fréquence d'horloge : $P_p \propto f$
- C'est pour cette raison que les caractéristiques des uP indiquent la fréquence nominale (en fonctionnement normal permanent) et la fréquence maximale en TB.

En 1965, Gordon Moore, cofondateur de Fairchild, puis d'Intel, énonce la fameuse « loi de Moore » (une conjecture en fait) qui veut que le nombre de transistors intégrés dans les circuits intégrés en silicium double tous les 2 ans (18 mois jusqu'en 1975) jusqu'à ce que la taille des transistors s'approche de celle des atomes, en 2015.

Cette « loi » montre à quel point la complexité et la puissance des circuits intégrés progresse très rapidement.

Dans les faits, il existe deux lois dérivées de cette loi initiale :

- En 1975, G. Moore réévalue ses propos en l'appliquant aux microprocesseurs (seconde loi)
- Par extension, dès qu'une quantité (puissance, capacité, vitesse ou fréquence d'horloge) double tous les 18 mois, on invoque « la troisième loi de Moore ».





Des critères sont employés pour mesurer l'évolution des microprocesseurs, donc des équipements qui les utilisent :

■ **Le nombre de transistors intégrés sur la puce (loi de Moore)**

- De 2300 en 1971 à 1 750 000 000 en 2016 (Core i3/i5/i7 Skylake), soit x761000 en 46 ans, près d'un million !

■ **La finesse de gravure, c'est à dire la distance moyenne (en nanomètres) entre conducteurs**

- 10000 nm en 1971 (4004), 1500 en 1982 (80286), ~100 en 2000 (Pentium 4), 32 en 2010 (Core i7 Gulftown), 14 en 2015 (i3/i5/i7 Skylake)

■ **La fréquence d'horloge : avec des cycles d'horloge (période) plus petits, le nombre de traitements élémentaires s'accroît pour une durée de traitement fixée**

- 108 kHz en 1971 (4004), 16 à 20 MHz en 1982 (80286), 100 MHz en 1989 (80486), 1,4 GHz en 1999 (Pentium III), 3,47 GHz en 2010 (Core i7 Gulftown) et 4 GHz en 2015 (Core i3/i5/i7 Skylake)

■ **L'adressage mémoire : en accroissant la taille de la mémoire et la taille des données stockées et traitées, la rapidité de traitement est accrue : de 4 bits (4004) à 64 bits**

■ **Le jeu d'instruction**

- Entre CISC et RISC pour les uP, les DSP (Data Signal Processor) utilisent des instructions traitant les données sous forme matricielle.

■ **La complexité et l'architecture des processeurs, en s'appuyant sur leur nombre de coeurs**

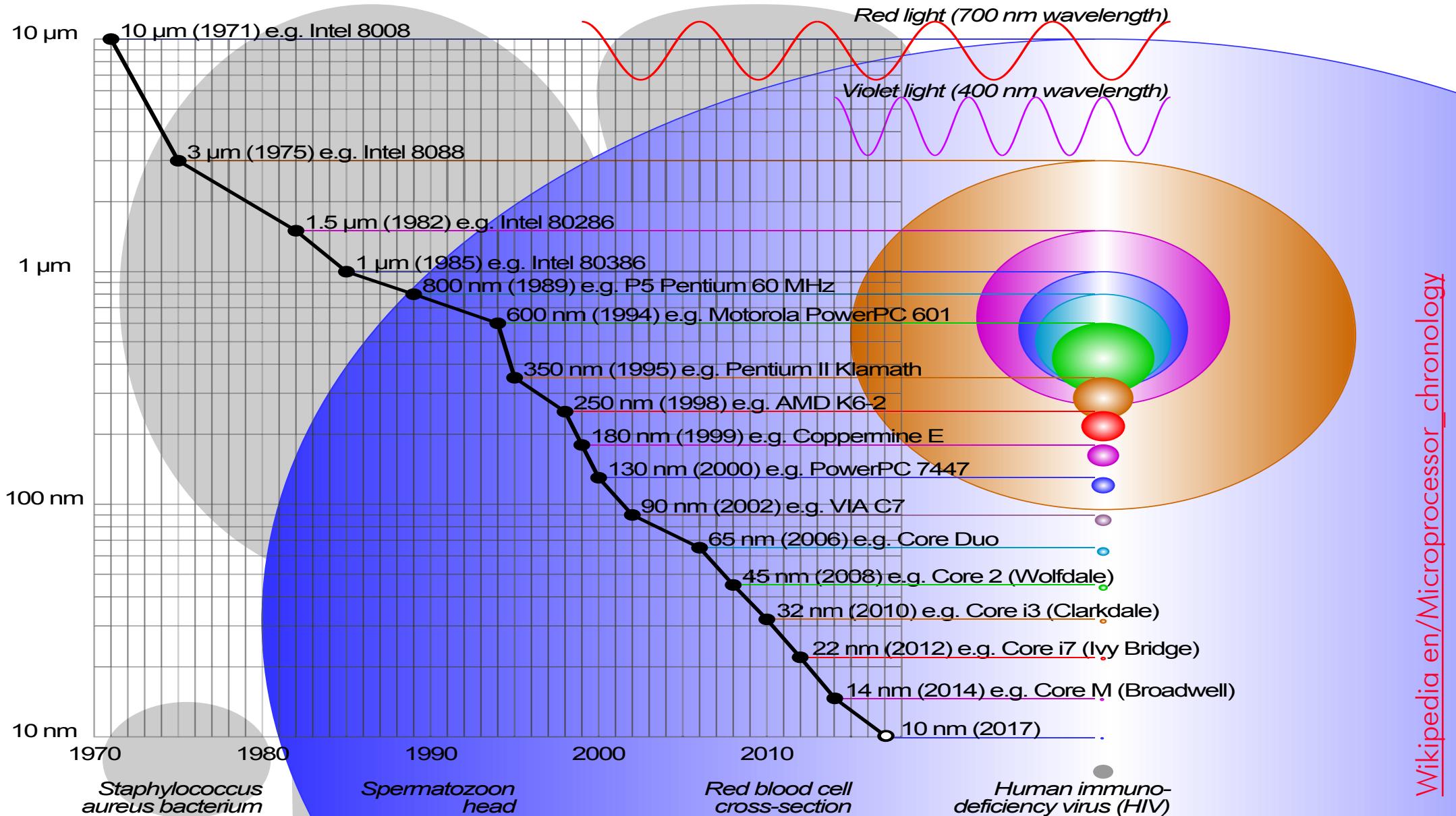
- C'est le critère principal actuellement. 4 coeurs est courant. Les derniers Xeon d'Intel (2017) vont jusqu'à 18 coeurs.

■ **La puissance de calcul, en Millions d'Instructions Par Seconde (MIPS) ou FLOP (en flottants)**

- De 0,06 pour le 4004 (1971) à plusieurs milliers aujourd'hui pour les Core i3/i5/i7 (pas de chiffres exacts disponibles)



CPU avancé – Évolution de la finesse de gravure au cours des années





Comme l'essentiel des éléments technologiques soumis à la création et la dissipation de chaleur, d'origine électrique dans les uP (effet Joule), l'enveloppe thermique a un rôle essentiel

Définition

- L'enveloppe thermique, ou TDP pour *Thermal Design Power*, d'un semi-conducteur, exprimée en watts (W), est la puissance thermique qu'un composant peut évacuer pour fonctionner correctement. Le TDP d'un processeur permet de dimensionner le système de refroidissement.

Contraintes et limitations imposées par le TDP, facteurs favorables

- ⊕ Meilleure finesse de gravure : pistes plus fines $\Rightarrow \downarrow$ courant (i) $\Rightarrow \downarrow$ pertes Joule ($\%i^2$)
Conjointement : pistes plus proches $\Rightarrow \downarrow$ tension (u) $\Rightarrow \downarrow$ pertes Joule ($\%u^2$)
- ⊕ Accroissement de la fréquence d'horloge (f) $\Rightarrow \nearrow$ pertes par commutation ($\%f$)
- ⊖ Accroissement de la complexité $\Rightarrow \nearrow$ nbre de transistors $\Rightarrow \nearrow$ pertes Joule ($\times 30$ en 10 ans)
- ⊖ Evolution de la structure des uP : implantation de mémoire cache et des contrôleurs associés dans le boîtier du uP, ou d'un processeur graphique : usage de multi-cœurs, etc.
- Grâce à une ventilation moins contrainte, les OP de bureau disposent de uP avec des TDP plus élevés que les OP portables qui sont moins ventilés pour préserver la batterie ($TDP < 40$ W)

Quelques ordres de grandeur de TDP (en W) pour des uP Intel

- x86 (quelques W), pentium (de 8 à 130), core (de 15 à 31), core 2 (de 130 à 150), core i3 (~70), , core i5 (de 80 à 85), , core i7 (de 65 à 140), xeon (de 70 à 165)

Architecture matérielle 2/4

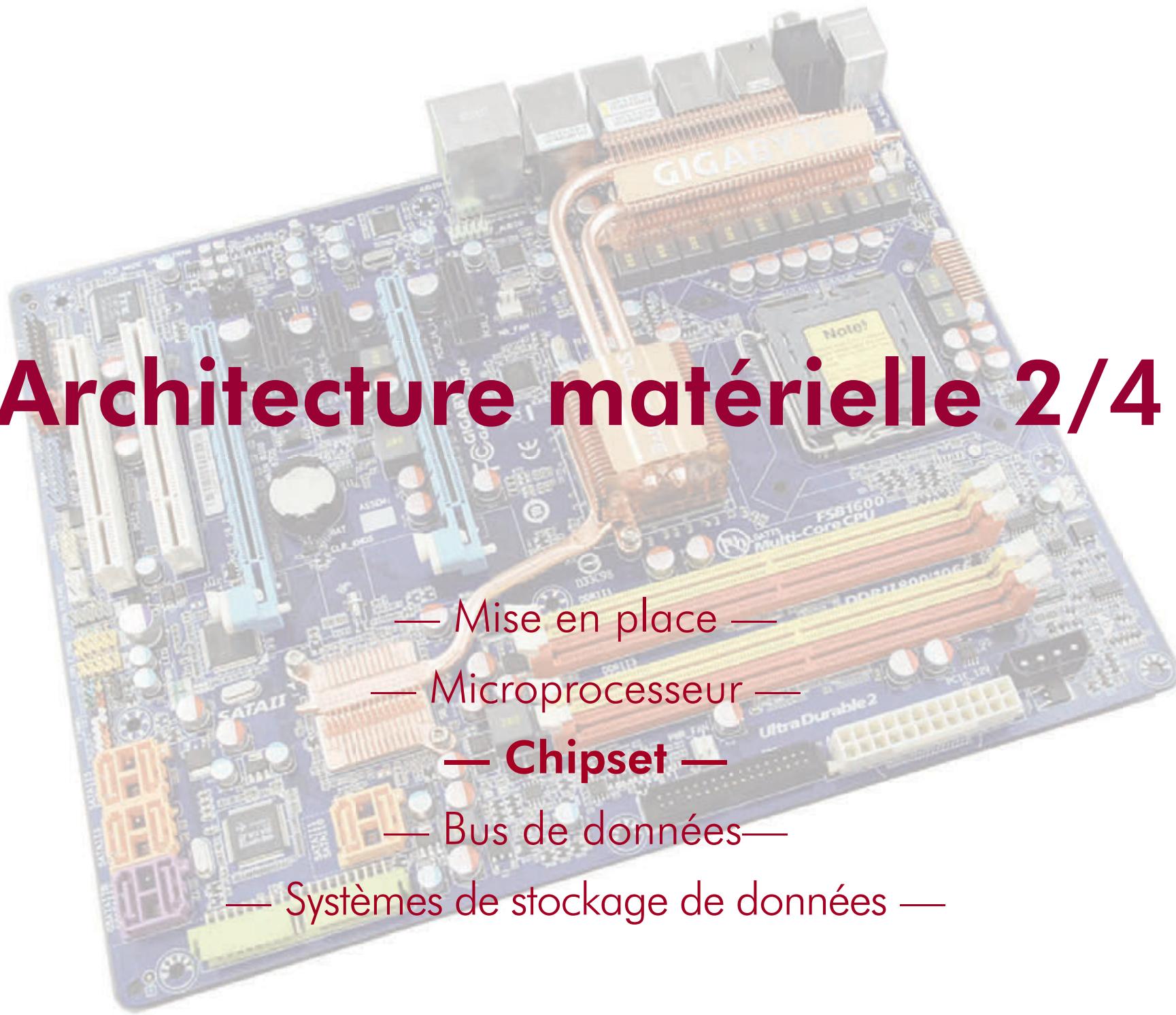
— Mise en place —

— Microprocesseur —

— **Chipset** —

— Bus de données —

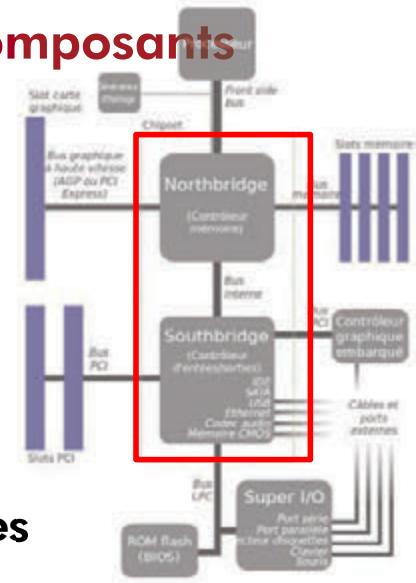
— Systèmes de stockage de données —





Le chipset (jeu de puces) est chargé de la liaison matérielle entre les composants implantés sur la carte mère :

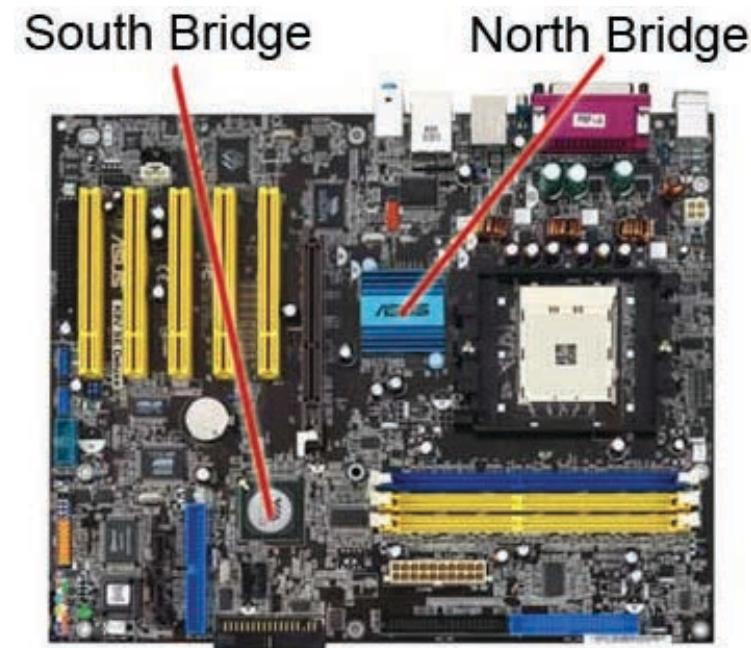
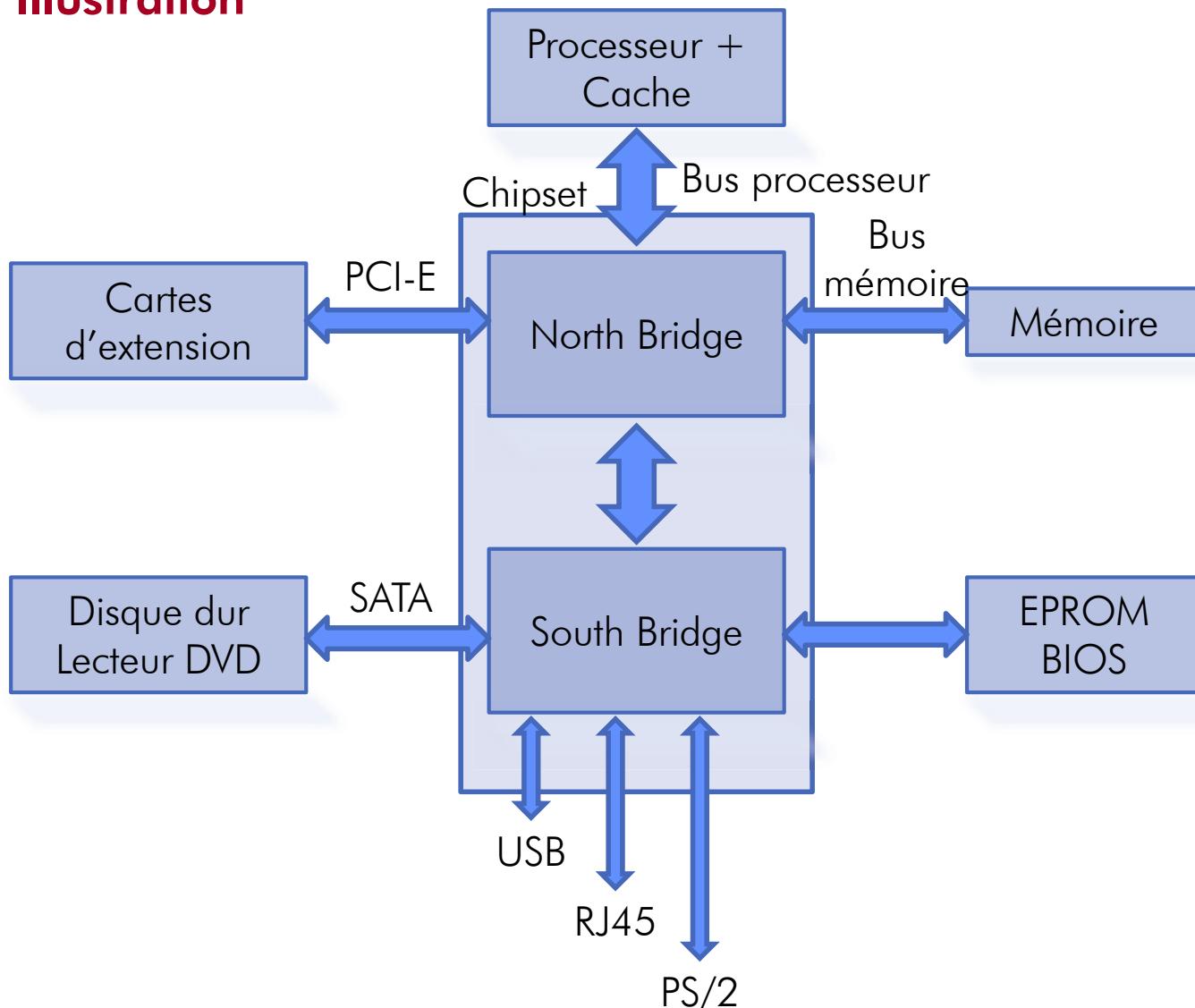
- Chaque chipset est propre à la carte mère, puisqu'il est dépendant des composants implantés
- Il gère les flux de données numériques entre le microprocesseur et les divers composants, les bus informatiques, la RAM, les périphériques (disques durs ou de stockage, réseau, ports de communication, carte graphique, etc.).
- Il comprend deux circuits pour séparer les signaux et transactions rapides de celles plus lentes :
 - Le **northbridge** (SPP) est directement relié au microprocesseur pour gérer les périphériques « rapides », la mémoire1 et la vidéo ;
 - Le **southbridge** (MCP) définit et commande le fonctionnement de tous les bus et dispositifs plus lents que ceux pris en charge par le northbridge : bus PCI, interface PS/2 (clavier et souris), les ports série et parallèle et le contrôleur de disquette.



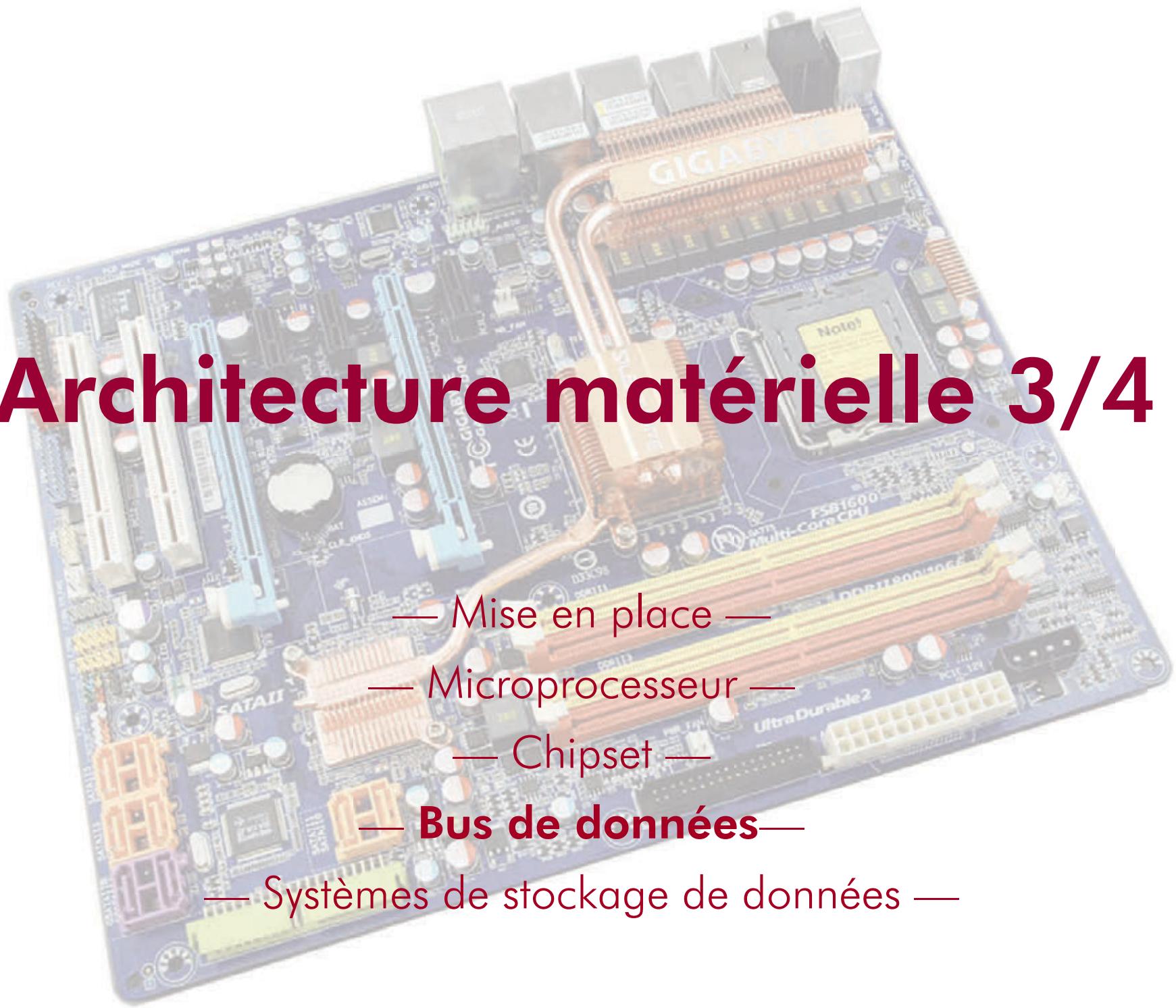


Organisation générale d'un ordinateur personnel (OP) – Chipset (SC)

Illustration



Architecture matérielle 3/4

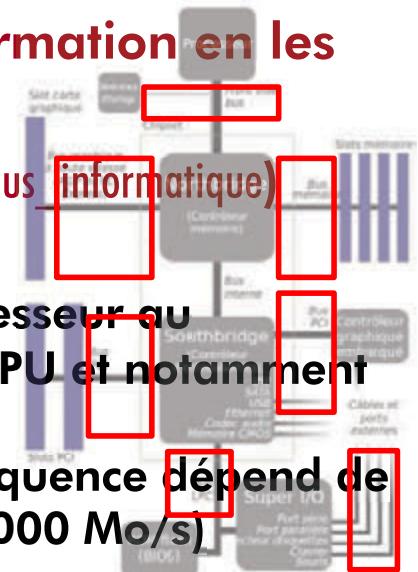


Un bus est un canal de communication des signaux représentant l'information en les composants/sous ensemble d'un système

Ces bus sont disposés sur la carte mère (Cf. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Catégorie:Bus>)

Liste et description succincte des bus de données internes :

- **FSB (Front Side Bus)** – Aussi appelé « bus système », il relie le microprocesseur au Northbridge. Il gère les échanges avec les organes proches et rapides CPU et notamment la mémoire vive.
Paramètres : sa taille est celle du bus du uP (8, 16, 32 ou 64 bits), sa fréquence dépend de celle du uP (ex. : 133, 266, 400 MHz) et son débit théorique (~100 à 10000 Mo/s).
 - **Bus mémoire** – Relie le northbridge aux connecteurs (slots) mémoire
 - **ISA (Industry Standard Architecture)** – Bus historique 8, puis 16, bits des PC (IBM, 1981) reliant la CM aux cartes d'extension. Plus utilisé sauf dans des équipements spécifiques.
 - **LPC (Low Pin Count)** – Relie le southbridge aux composants lents (faible bande passante), comme par exemple la mémoire ROM de démarrage, les interfaces E/S, ports série, parallèle, PS/2 (clavier et souris) et contrôleur de disquettes, au travers du composant « super I/O block »
 - **EISA (Extended Industry Standard Architecture)** – Évolution du bus ISA (16 bits) vers un bus 32 bits. Ce standard est apparu en septembre 1988 pour les ordinateurs PC/AT.
 - **PCI (Peripheral Component Interconnect)** – Relie sur la carte mère le southbridge aux connecteurs pour cartes d'extension de type « PCI » pouvant dialoguer entre elles sans intervention du uP (le déchargeant de certaines gestions d'entrées-sorties)





Liste et description succincte des bus de données internes :

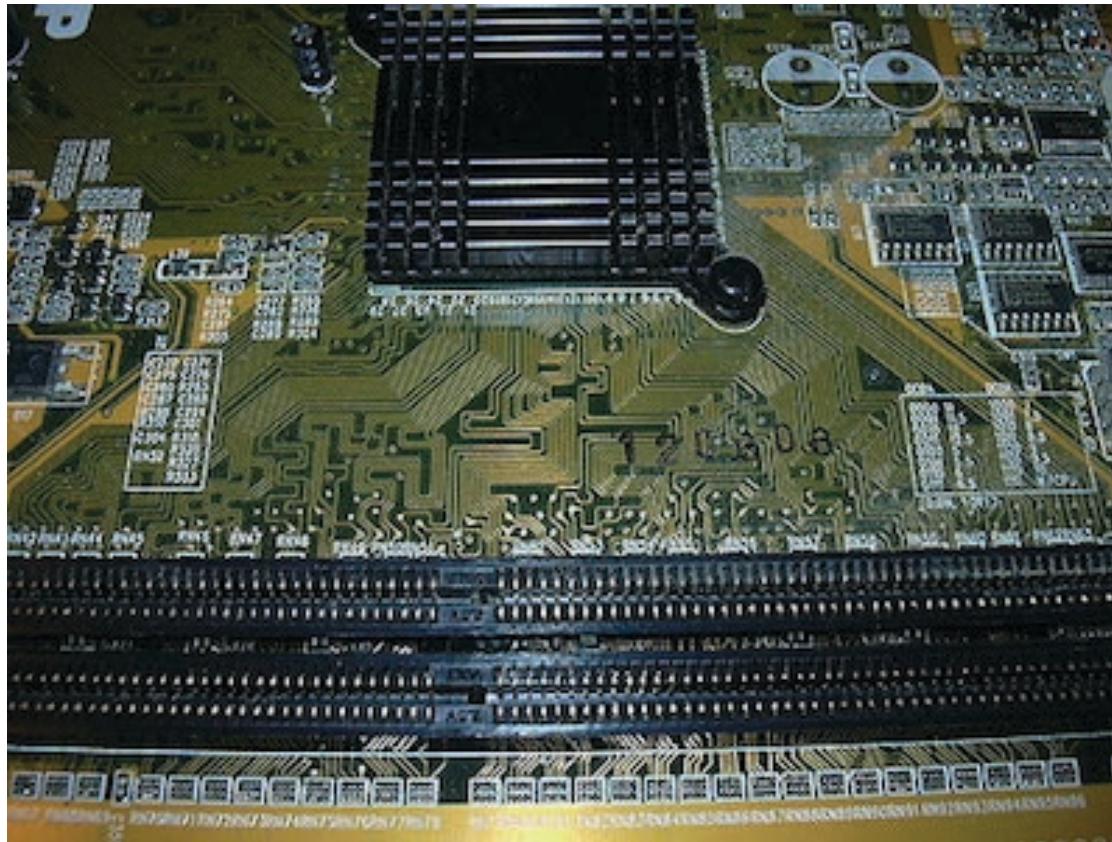
- **ATA (Advanced Technology Attachment) ou PATA (Parallel ATA) – Interface de connexion pour mémoires de masse (disque dur, lecteur de CD-ROM, etc.) conçue à l'origine par Western Digital sous le nom *Integrated Drive Electronics* ou IDE**
Liaison à la carte mère à l'aide d'une nappe souple de conducteurs parallèles
- **IDE (Integrated Drive Electronics) – Cf. ATA**



https://fr.wikipedia.org/wiki/Catégorie:Bus_informatique



Bus mémoire



Le bus mémoire est placé entre le northbridge du chipset (en haut sur la photographie) et les connecteurs mémoire (en bas) : ce sont les fameux « slots » (un connecteur en forme de fente) qui accueillent les barrettes de mémoire

LPC (Low Pin Count)



Le bus LPC aboutit au bloc « super I/O », ici sur une carte mère IBM



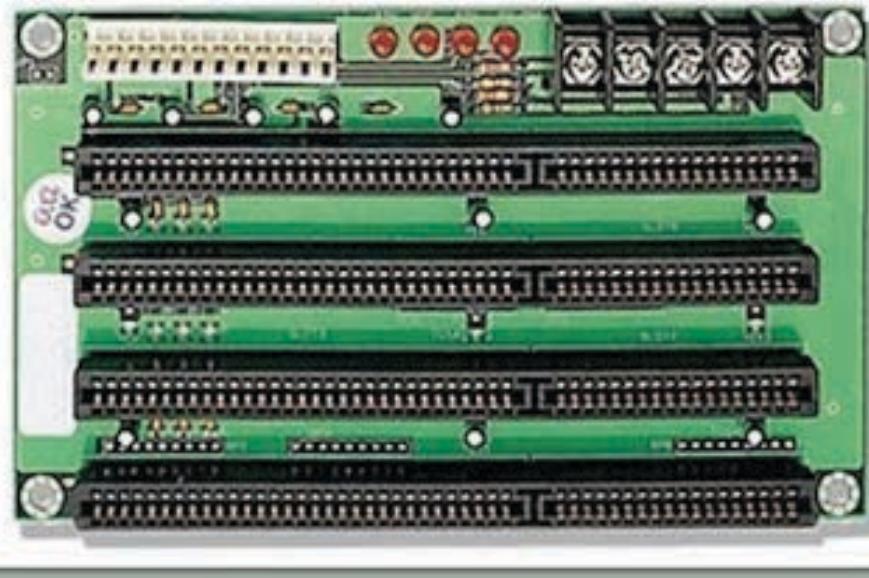
SuperBlock I/O de marque ITE



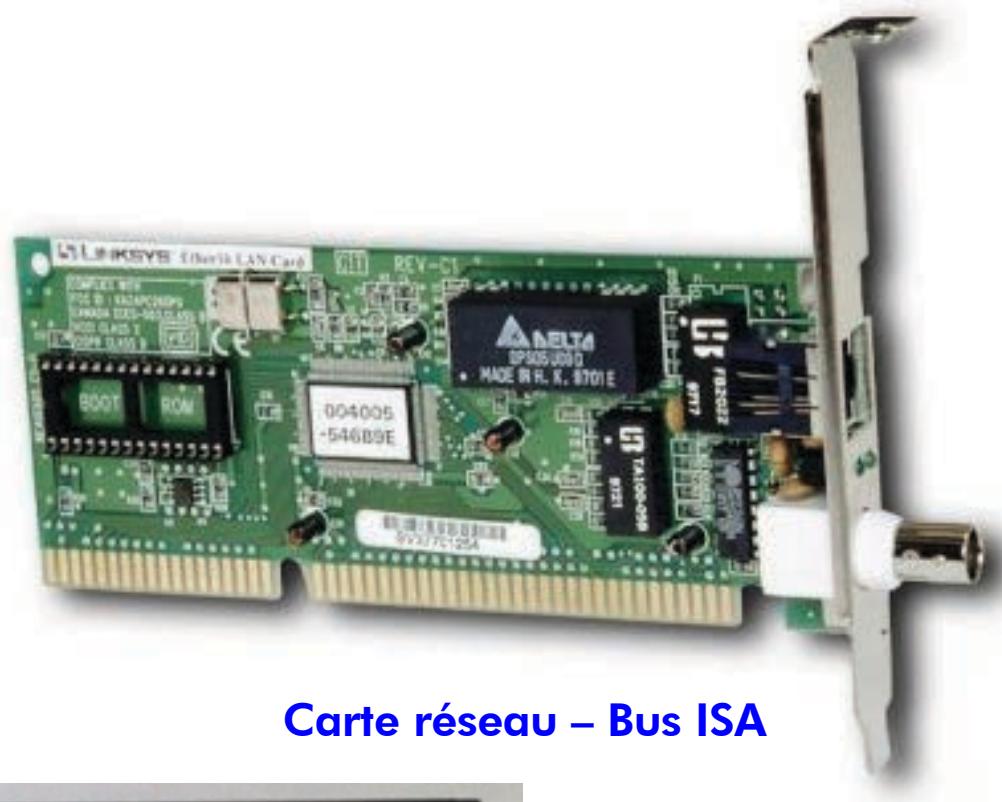
SuperBlock I/O de marque Winbond



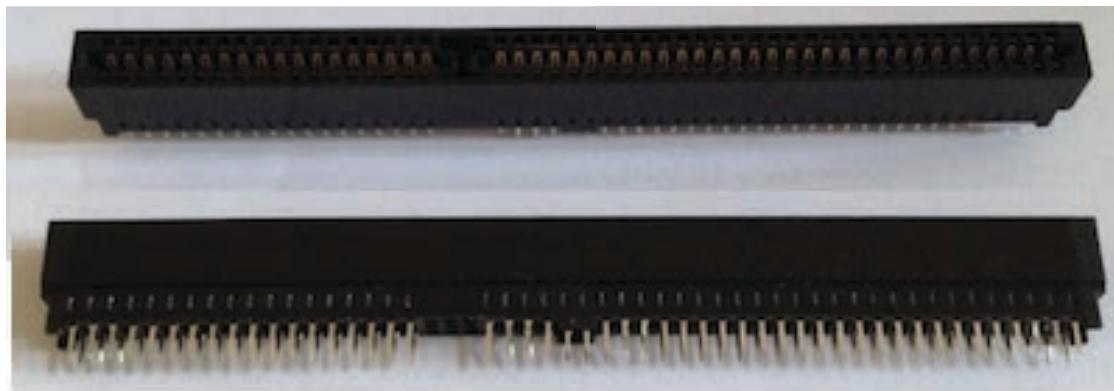
ISA (Industry Standard Architecture)



Connecteurs ISA

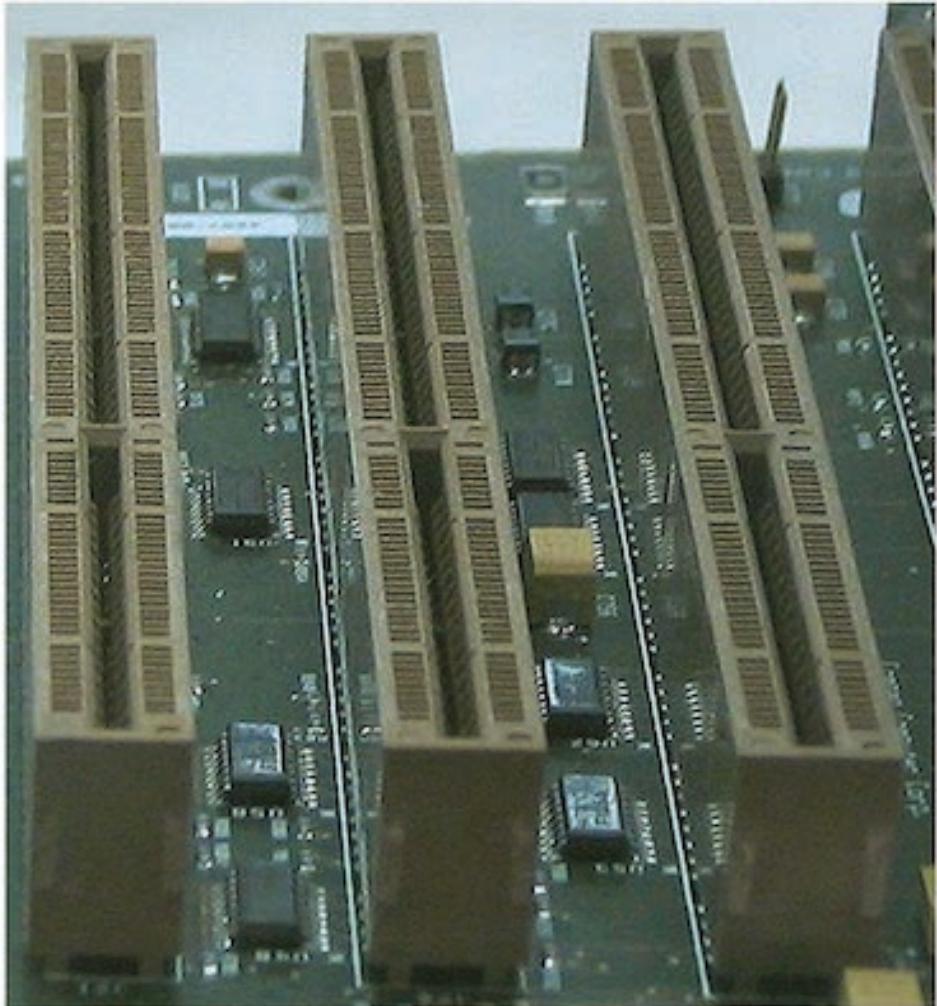


Carte réseau – Bus ISA





EISA (Extended Industry Standard Architecture)



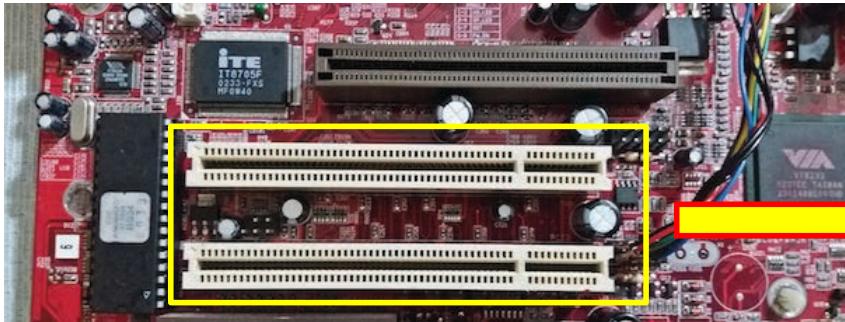
Connecteurs pour cartes EISA
montés sur la carte mère



Carte vidéo EISA (remarquer la double rangée de connexion, typique des connecteurs EISA)



PCI (Peripheral Component Interconnect)



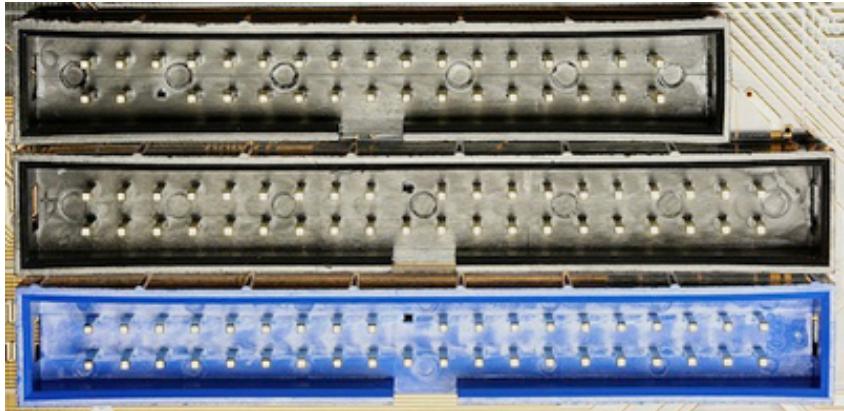
2 connecteurs PCI



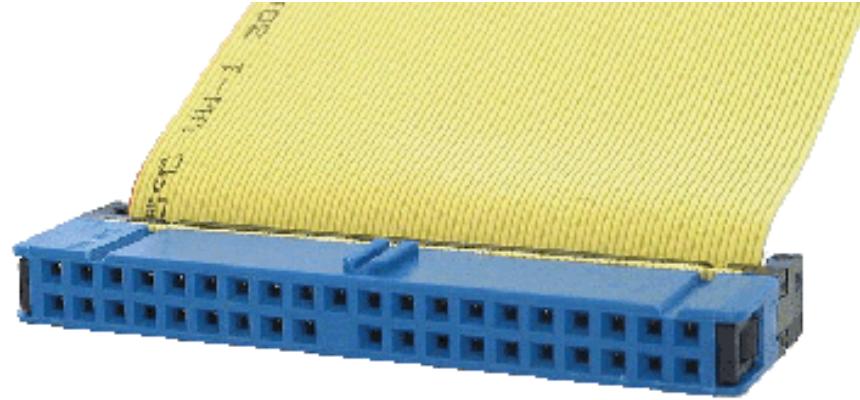
Carte firewire PCI



ATA (Advanced Technology Attachment) / IDE (Integrated Drive Electronics)



Deux ports IDE / Parallel ATA sur une carte mère. Le troisième, plus court, est un port pour lecteur de disquettes : broches mâles.



Connecteur ATA sur nappe de liaison : broches femelles

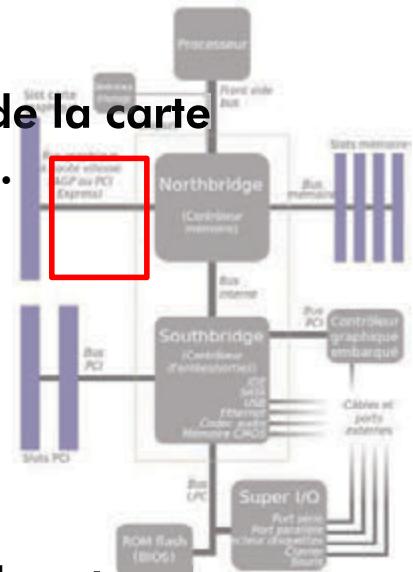


Nappe de liaison IDE multiconnecteur



Bus graphiques internes

- **AGP (Accelerated Graphics Port)** – Relie le northbridge aux connecteurs de la carte graphique. C'est un port rapide développé et introduit par Intel en 1997.

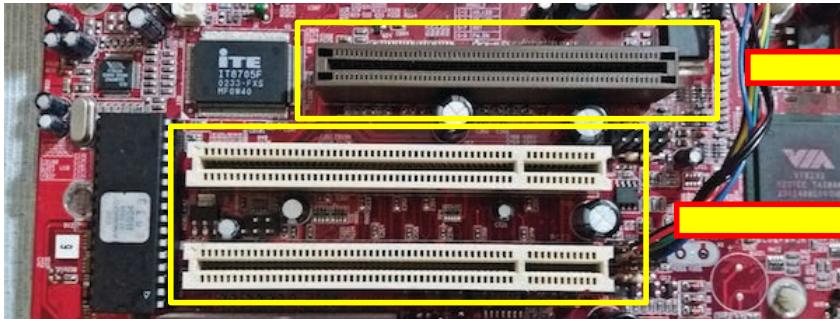


- **PCI express (PCIe)** – Relie le northbridge aux connecteurs de cartes rapides et pas seulement graphiques. Standard améliorant la rapidité de la PCI. Développé et introduit par Intel en 2004 pour remplacer l'AGP.





AGP (Accelerated Graphics Port)



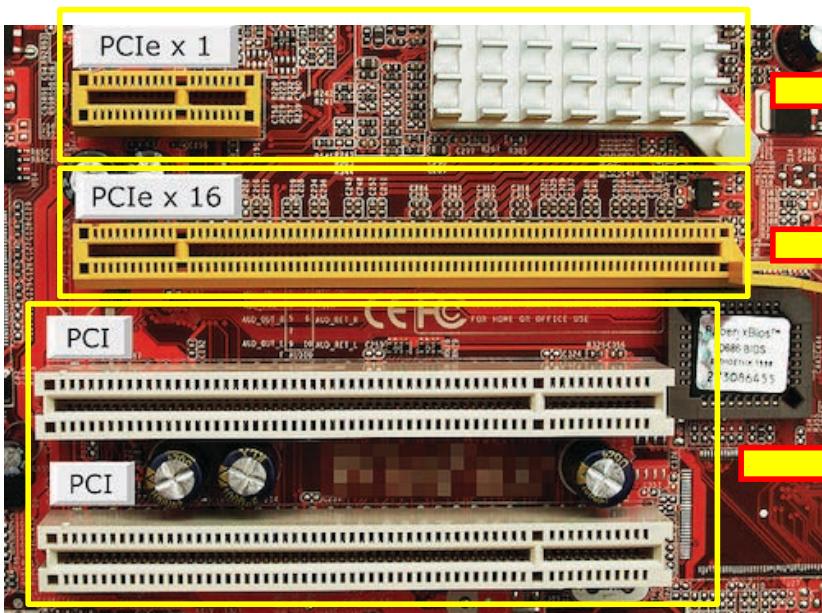
Connecteur AGP

2 connecteurs PCI



Connecteurs AGP

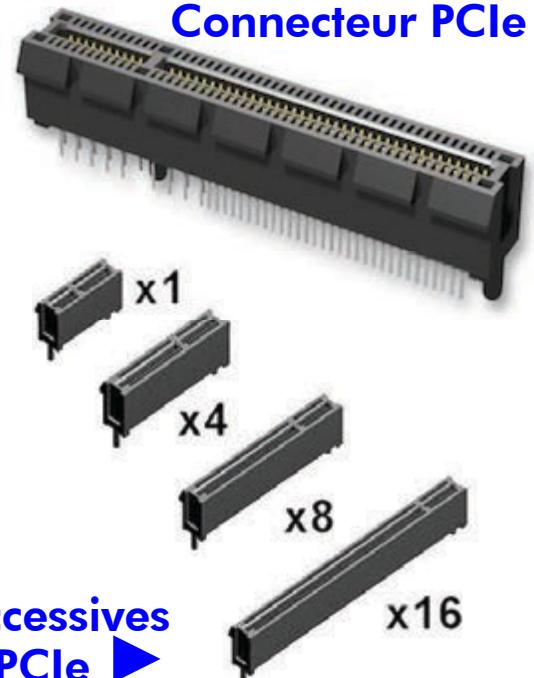
PCI express (PCIe)



Connecteur PCIe
1^{ère} génération

Connecteur PCIe
16x (plus rapide)

2 connecteurs PCI



Générations successives
de connecteurs PCIe ►



Bus de données externes

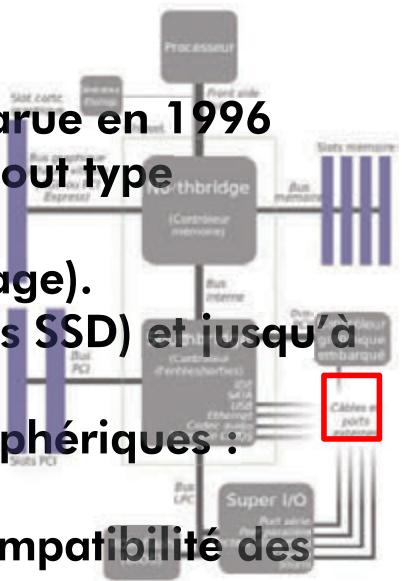


- **PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)** – Dénommé aussi PC Card (16 bits) ou CardBus (32 bits), ce format de carte d'extension ultra-plat née en septembre 1989 est destiné aux ordinateurs portables et à d'autres équipement légers ou portables : ports de communication (COM, parallèle, USB, réseau, modem, etc.). Connexion à chaud pour palier l'absence de certains ports sur les ordinateurs. Interface abandonnée et reprise sous le nom de ExpressCard par le consortium USB-IF.
- **SCSI (Small Computer System Interface)** – Évolution du bus SASI créé par la société Shugart en 1979, standardisé en 1986 (SCSI-1). Améliorations en 1994 (SCSI-2) puis norme SCSI-3 (1996) ; Interface rapide à l'époque, périphériques chainables, mais démarrage à chaud après SCSI-3. Abandon progressif au profit des liaisons série USB et IEEE1394 (Firewire)
- **S(erial)ATA ou SATA (Serial Advanced Technology Attachment)** – Interface interne de communication série assurant les échanges entre la carte mère et tout périphérique compatible avec cette norme : disque dur, lecteur de DVD, etc. Connectable à chaud, débits importants (SATA III à 6 Gbit/s), connectique peu encombrante.
- **eSATA (extrenal SATA)** – C'est la déclinaison externe de l'interface SATA.
- **Série (serial) – RS-232** – Port de COMmunication série (COM) – Norme de communication de type série. Disponible sur presque tous les PC de 1981 à ~2005, communément appelé le « port série ». Ports désignés par COM1, COM2, etc. sous MS-DOS et Windows, d'où le surnom de « ports COM ». Totalement supplanté par le port USB, mais des adaptateurs existent.
Liaison très répandue pour de nombreux appareils devant communiquer entre eux



Bus de données externes (suite)

- **USB (Universal Serial Bus)** – Norme de communication de type série apparue en 1996 pour la connexion de périphériques informatiques à un ordinateur ou à tout type d'appareils communicant (tablette, smartphone, etc.).
Connexions à chaud (quand les appareils fonctionnent et sans redémarrage).
L'alimentation est aussi transportée en basse puissance (clés USB, disques SSD) et jusqu'à 100 W en USB-C.
Généralisation dans les années 2000 pour connecter la majorité des périphériques : souris, clavier d'ordinateur, imprimantes, clés USB et autres.
Tendance à supplanter toutes les interfaces de communication avec la compatibilité des connexions avec la norme Thunderbolt (Cf. plus loin)
Les performances de l'USB, surtout pour les débits, se sont beaucoup améliorées au fil des versions (USB 2.0, 3.0, 3.1...), de 1,5 Mbit/s pour la version 1.0 à 10 Gbit/s théoriques pour la version 3.1
- **Parallèle (port parallèle)** – Le Port permet des communications parallèle (standard IEEE 1284) a été initié sur la base des interfaces parallèles de type Centronics pour les imprimantes (années 80). D'où la dénomination aussi de port LPT (Line Printing Terminal)
Les données sont transmises simultanément par « paquets » de 8 bits (1 octet), ce qui occasionne des connecteurs avec plus de broches (connecteur DB-25).
Interface plus très employée au profit de l'USB





PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)

Aujourd'hui ExpressCard



Carte PCMCIA enfichée dans le logement d'un ordinateur portable



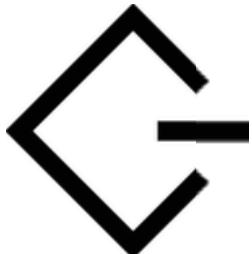
Carte PCMCIA :
port PCMCIA à l'arrière,
4 ports USB 2.0 à l'avant



SCSI (Small Computer System Interface)

Logo SCSI

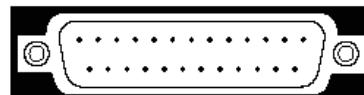
Différents connecteurs SCSI



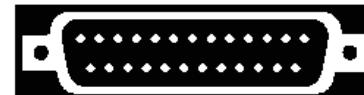
Connecteurs SCSI sur boîtier (SCSI-1)



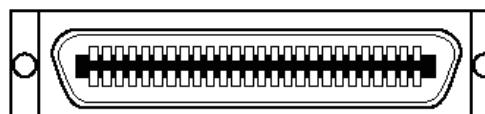
SCSI Connectors, Actual Size



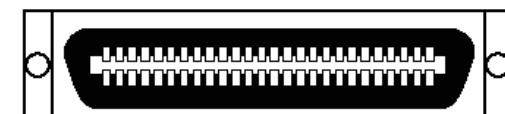
DB-25, Male External



DB-25, Female External



Low-Density, 50-pin, Male External



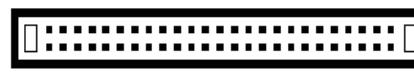
Low-Density, 50-pin, Female External



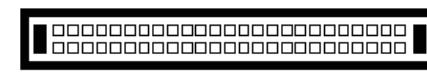
High-Density, 50-pin, Male External



High-Density, 50-pin, Female External



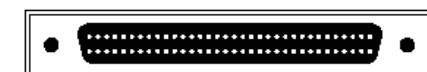
Low-Density, 50-pin, Male Internal



Low-Density, 50-pin, Female Internal



High-Density, 68-pin, Male External



High-Density, 68-pin, Female External



High-Density, 68-pin, Male Internal

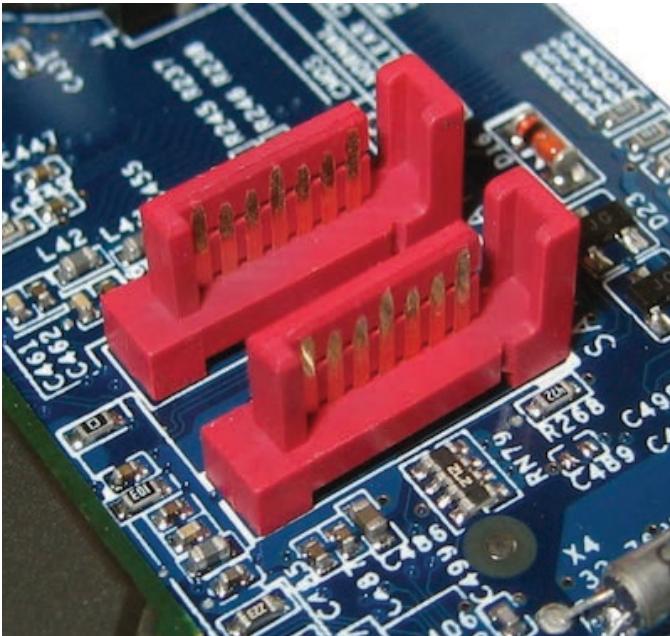


High-Density, 68-pin, Female Internal

Adaptec Terminology	Alternative Terminology
Low-density 50-pin	Centronics 50-pin
High-density 50-pin	Micro DB50 or Mini DB50
High-density 68-pin	Micro DB68 or Mini DB68
Very high-density condensed 68-pin	Ultra Micro DB68



SATA (Serial Advanced Technology Attachment)



Fiche SATA à l'extrémité d'un cordon

Connecteur SATA sur carte mère



Disque dur avec connecteur SATA



Connecteur SATA avec alimentation

Prise eSATA

Spécifications du bus SATA

Revision #	Débit théorique Gbit/s	Débit théorique Mo/s	Débit pratique Mo/s
SATA I ou SATA 150 (2003)	1,5	187,5	150
SATA II ou SATA 300	3	375	280
SATA III ou SATA 600 (2009)	6	750	600



RS 232, COM : port de communication série



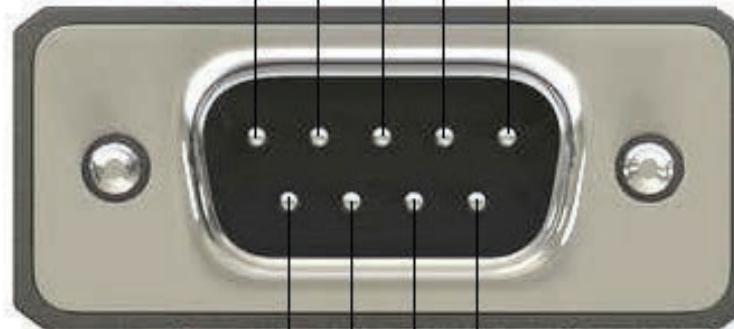
Prise chassis RS-232 mâle
9 broches (DE9)



Fiche RS-232 femelle
9 broches (DE9)

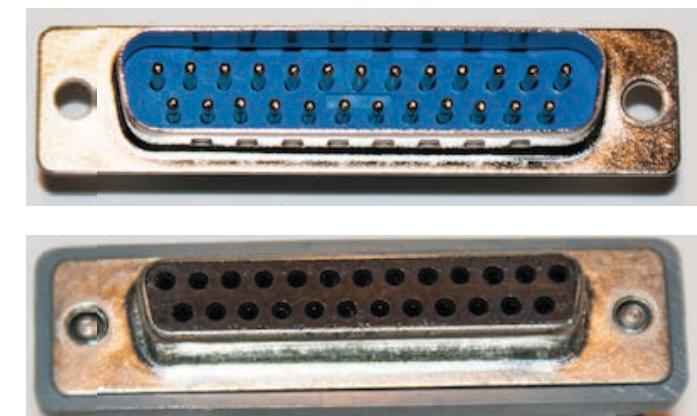
RS232 Pinout

Pin 1: Data Carrier Detect (DCD)
Pin 2: Received Data (RXD)
Pin 3: Transmit Data (TXD)
Pin 4: Data Terminal Ready (DTR)
Pin 5: Ground (GND)



Pin 6: Data Set Ready (DSR)
Pin 7: Request To Send (RTS)
Pin 8: Clear To Send (CTS)
Pin 9: Ring Indicator (RI)

Brochage liaison RS-232



Connecteurs RS-232
25 broches (DE25)
mâle (haut) et femelle (bas)



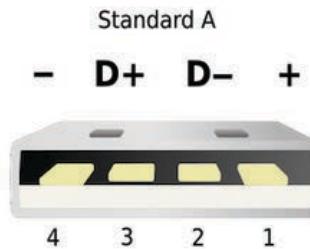
USB (Universal Serial Bus)

Version	USB 1.0	USB 1.1	USB 2.0	Wireless USB	USB 3.0
Bande passante de l'interface	1,5 Mbit/s ou 0,19Mo/s	12 Mbit/s ou 1,5Mo/s	480 Mbit/s ou 60Mo/s	480 Mbit/s ou 60Mo/s	5 Gbit/s ou 600Mo/s

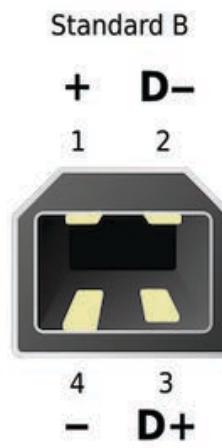
Années d'apparition	1996	1998	2000	2005	2008
Débits (Mbit/s)	1,5 à 12	1,5 à 12	480 (x40)	480	5 Gbit/s (x10)

Types de connecteurs

Type	Port Image	Connector Image
Mini-A	3.0mm x 6.8mm	
Mini-B	3.0mm x 6.8mm	



Type	Port Image	Connector Image
Type A	4.5mm x 12.0mm	
Type B	7.3mm x 8.5mm	

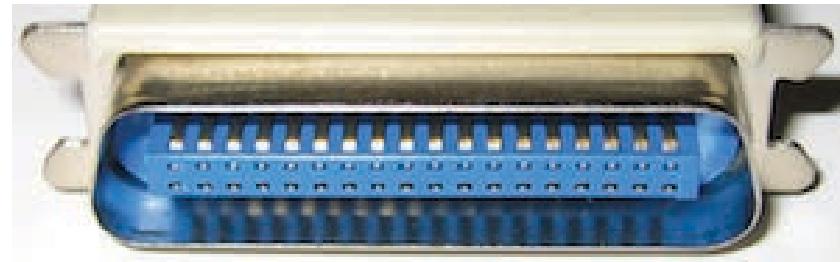




Port parallèle (LPT ou Centronic)



Connecteur DB-25 femelle



Connecteurs Centronics : mâle en haut
(côté PC), femelle en bas (côté
imprimante)



Deux extrémités d'un cordon DB-25
mâle et femelle (ralonge)



Adaptateur
USB vers parallèle

Connexions audio

- C'est assez « standard »
- Prises jack, 3 formats principaux :
 - 6,35 mm (1/4'') ;
 - 3,5 mm (miniature) ;
 - 2,5 mm (subminiature)

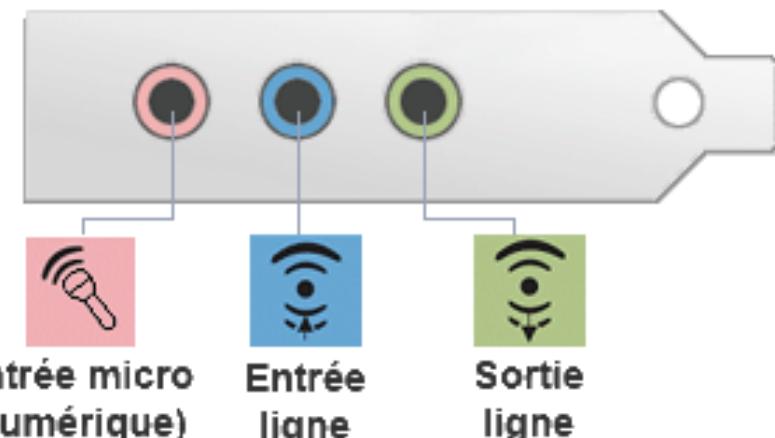


Connecteurs jack 2,5 ; 3,5 et 6,35 mm
Pour enceintes et écouteurs

Des interfaces permettent l'échange avec des systèmes audio plus élaborés :

- Périphériques MIDI
(Musical Instrument Digital Interface)
 - Voir aussi :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Musical_Instrument_Digital_Interface

- Au travers d'une liaison USB ou FireWire





Liaisons graphiques externes

Analogique

Numérique

- CGA (*Color Graphics Adapter*) – Norme d'affichage couleurs analogique et connectique apparue en 1981. Définition de 320×200 pixels en 2 bits (4 couleurs) ou 640×200 sur 1 bit couleur (2 couleurs).
- EGA (*Enhanced Graphics Adapter*) – Norme d'affichage couleurs analogique améliorée (IBM, 1984) située entre le CGA et le VGA (et connectique associée). Trois modes graphiques coexistent : 320×200 et 640×200 en 16 couleurs fixes, le 640×350 en 16 couleurs parmi 64. Supplanté par le VGA.
- VGA (*Video Graphics Array*) – Standard d'affichage analogique pour ordinateurs lancé par IBM en avril 1987 pour ses ordinateurs PS/2 afin d'améliorer les standards CGA et EGA en restant compatible. Le standard XGA (1024×768) dépasse VGA et un consensus est apparu sur le standard SVGA 800×600 peu après cette époque.
- DVI (*Digital Visual Interface*) – Type de connexion vidéo numérique entre une carte graphique et un dispositif d'affichage apparu en 1999. N'améliore le VGA que pour les écrans numériques dont les pixels sont physiquement séparés (et donc indépendants) : écrans LCD, plasma et OLED, mais pas des écrans à tube cathodique. Trois modes sont supportés : numérique uniquement (DVI-D), analogique uniquement (DVI-A, compatible avec le VGA) et numérique et analogique (DVI-I).
- HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) – Norme et interface audio/vidéo totalement numérique pour la transmission de flux chiffrés de données vidéo non compressées et des données audio, compressée ou pas. Destinée au marché grand public dès 2002, elle est essentiellement utilisée dans les équipements multimédias et informatiques par extension.





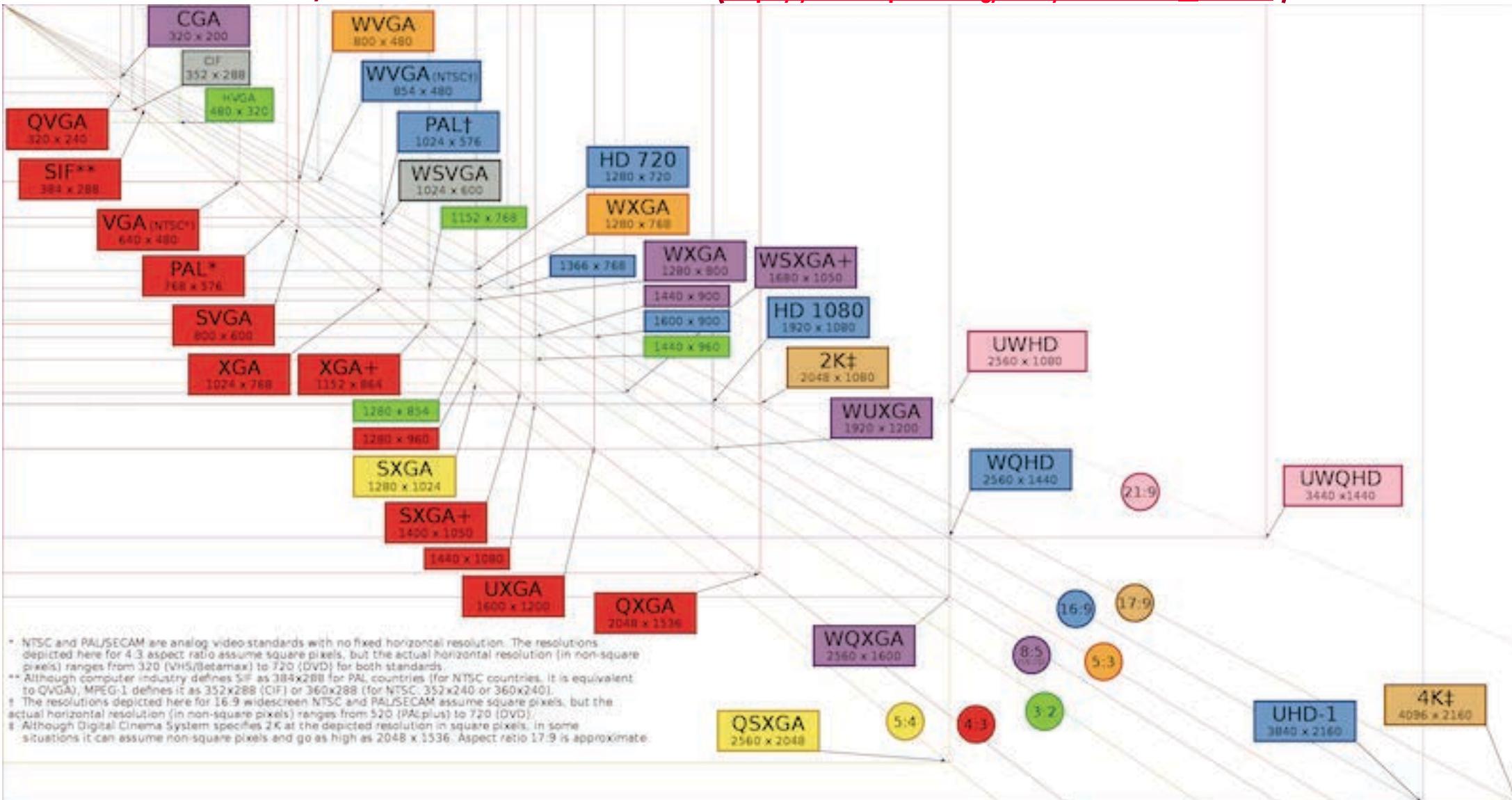
Liaisons graphiques externes

- **DP (Display Port)** – Interface numérique pour écran créée par le consortium « Video Electronics Standards Association » (VESA) apparue en 2006. Les sociétés du consortium (Hitachi Maxell, Koninklijke Philips, Silicon Image et Sony Corporation), agissant dans le multimédia, ont défini cette interface pour relier un ordinateur à ses moniteurs, ou à un home cinema. La perspective est donc clairement le divertissement rand public. La norme évolue régulièrement : version 1.0 en mai 2006, v1.1 en avril 2007, v.1.2 en décembre 2009, la v.1.3 en septembre 2014 et la v.1.4 en mars 2017. Par évolution et compatibilité, le format « mini DisplayPort » du connecteur fait actuellement partie intégrante de la connectique Thunderbolt (Cf. infra).
- **IEEE 1394, ou i-link (Sony) ou FireWire (1995, Apple)** – Interface série multiplexée envisagée dès 1986 véhiculant à la fois des données et des signaux de commandes des différents appareils reliés. Débit de communication élevé permettant l'interconnexion d'équipements vidéos avec de bonnes résolutions. Particulièrement adaptée aux disques durs et aux caméscopes numériques, l'interface permet d'alimenter le périphérique raccordé (parmi 63 périphériques sur le bus) et la connexion à chaud.
- **Light peak (Intel) ou Thunderbolt (Apple)** – Initialement prévue pour des liaisons optiques par fibres, ce standard se décline transitoirement en copper peak pour des connexions avec des cordons avec conducteurs en cuivre. Cette technologie utilise un connecteur USB-C (Cf. USB) pour faire transiter l'alimentation (jusqu'à 100 W) et les données à haut débit (jusqu'à 5 Go/s) vers des périphériques aussi différents que des unités de stockage, des écrans, etc. De plus les périphériques peuvent être chainés (pas de connexion impérative avec l'ordinateur), pour placer deux écrans par exemple avec une seule prise sur l'OP.





Pour information, les définitions d'écran (https://fr.wikipedia.org/wiki/Définition_d'écran)



Connecteurs VGA (Video Graphics Array)

- Type D-sub (DE-15, 3 rangées de 5), 15 broches, ou RGB, HD-15 ou D-sub 15
- Pour les liaisons à un moniteur informatique en analogique
- Existe en variante miniature, le Mini-VGA

Les résolutions sont différentes :

- VGA, de 640x480 pixels (16 couleurs)
à 320x200 pixels (256 couleurs)
- SVGA (Super Video Graphics Array), 1024x768 pixels (16 c)
- XGA (Extended Graphics Array), 1024x768 pixels
- SXGA (Super Extended Graphics Array), 1024x1024 pixels
- UXGA (Ultra Extended Graphics Array), 1600×1200 pixels
- QXGA (Quad eXtended Graphics Array), 2048×1536 pixels



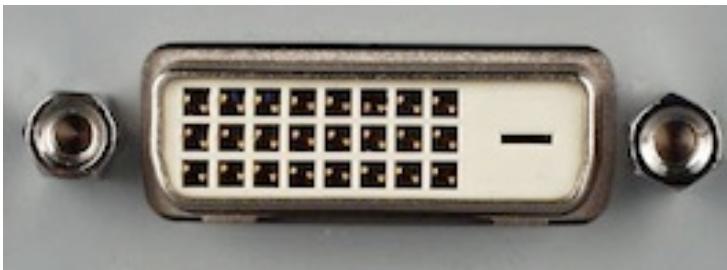
Fiche (mâle)



Connecteur
de châssis (femelle)

Connecteurs DVI (Digital Visual Interface)

- Types DVI-A (DVI-Analog), DVI-D (DVI-Digital), DVI-I (DVI-Integrated) mixte sans conversion analogique-numérique ou réciproquement
- D-sub (DE-15, 3 rangées de 5), 15 broches, ou RGB, HD-15 ou D-sub 15
- Interface analogique ou numérique pour un qualité supérieure à VGA
- Existe en variante miniature, le Mini-DVI



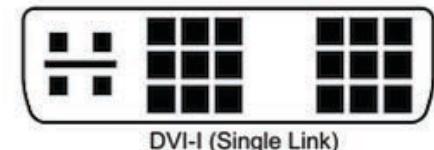
Connecteur châssis (femelle)



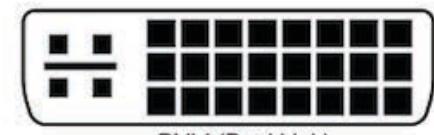
Fiche (mâle)



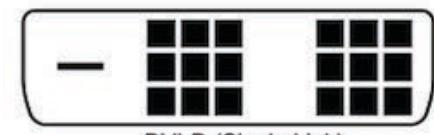
Adaptateur DVI-VGA



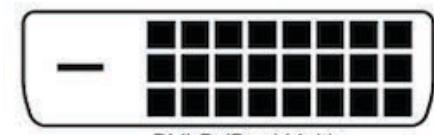
DVI-I (Single Link)



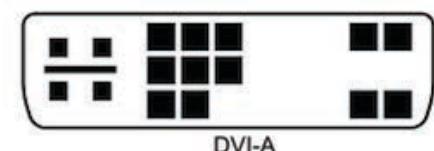
DVI-I (Dual Link)



DVI-D (Single Link)



DVI-D (Dual Link)

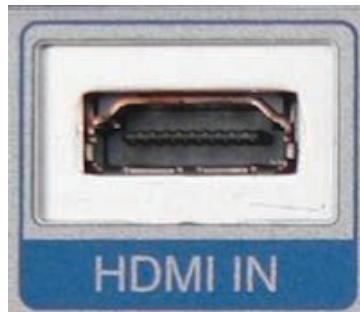


DVI-A

Différents connecteurs

Connecteurs HDMI (High-Definition Multimedia Interface)

- 19 broches pour quatre types de connectique : A (standard), C (mini), D (micro) et E pour l'automobile.
- 29 broches pour la connectique B, à double liaison.



Entrée HDMI
standard sur prise
femelle



Not used in
any products



Automotive
Connection System



Standard

A



Dual-Link

B

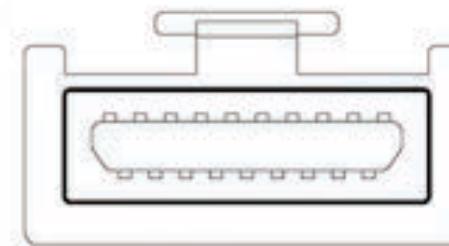


Mini

C



Micro



D



Cordon HDMI

Les différents
connecteurs HDMI

DP : connecteurs display port — (création 2006/2007)

- 2 formats de connecteurs (20 broches) : normal ou « mini »
- Grande variété d'adaptateurs



Deux formats de fiches

Prise châssis mini



Prise châssis normale

Adaptateur DP-DVI



Adaptateur DP-HDMI



Adaptateur DP-VGA

Vidéo et données (haut débit) : IEEE 1394, ou i-link (Sony) ou FireWire (1995, Apple)

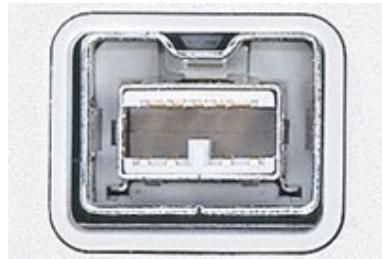
- Normes évolutives : s400 (1995, 400 Mbit/s), s800 (2002, 800 Mbit/s), s1200, s1600 et s3200 (débits en Mb/s) en 2008
- Connecteurs : 4 broches sans alimentation et 6 broches avec alimentation



Cordon FireWire



Logo FireWire



Prise FireWire 800



Prises FireWire 400

Type	Port Image	Connector Image
6-pin		
4-pin		

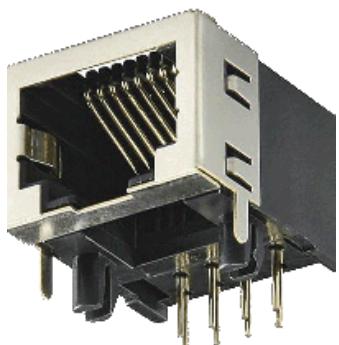
2 types de connexions



Liaison aux équipements du réseau : connexions RJ45

■ 8 conducteurs assemblés en 4 paires torsadées :

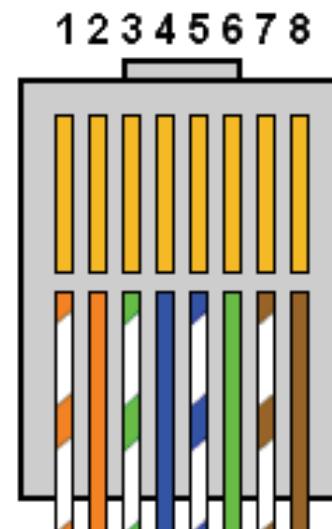
- Deux paires : une pour les données montantes et une descendante (pour le web)
- Une paire pour la voie audio (voix=téléphone)
- Une paire pour la voie images = distribution descendante de la vidéo
- C'est une liaison VDI : voix-données-images



Prise RJ45



Connecteur
RJ45



Repérage RJ45

Constitution
d'un câble
blindé
(4 paires)



Vidéo, son et données (très haut débit) : Light Peak (©Intel) ou Thunderbolt (©Apple)

- Déclinaison en copper link (liaison en fil de cuivre)
- Débit : 10 Gbits/s par périphérique
- Un seul type de connecteur, mais évolution vers l'USB-C



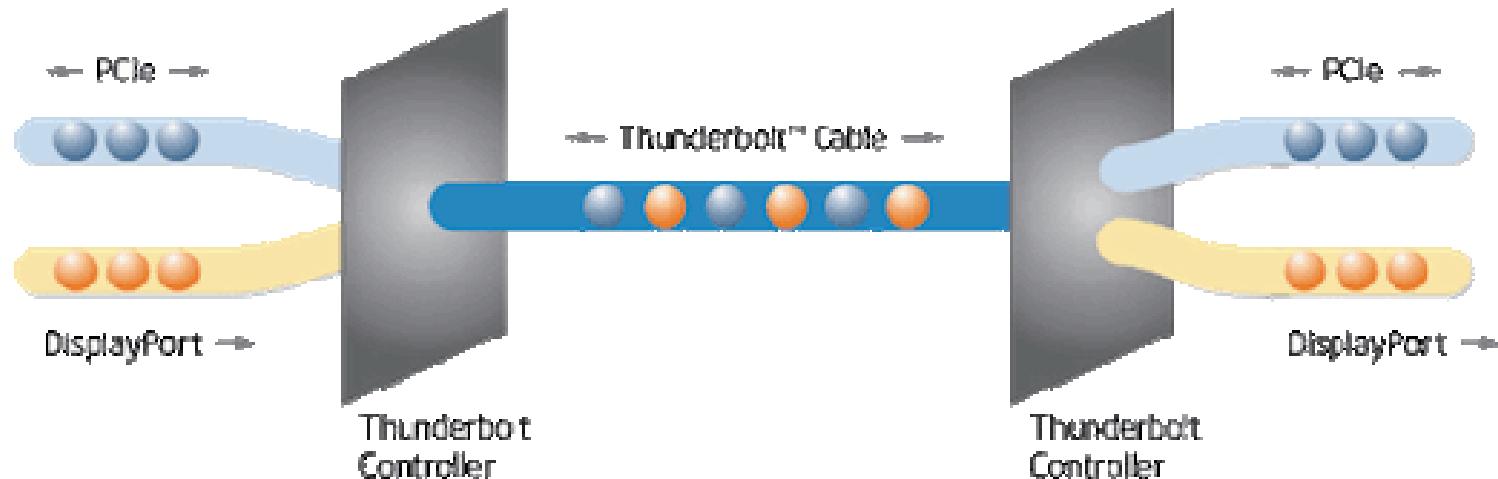
Prise Thunderbolt



Cordon Thunderbolt



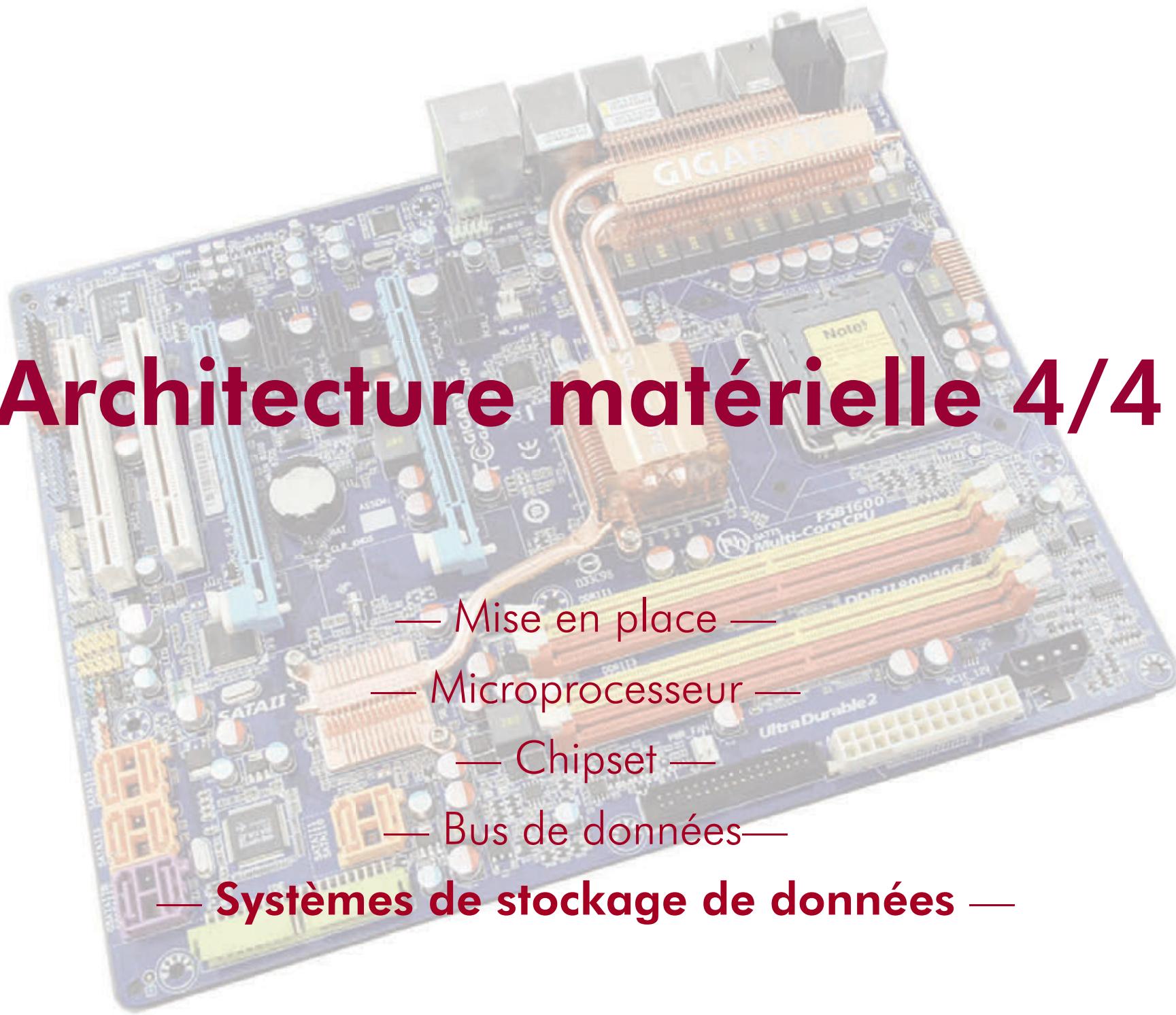
Logo thunderbolt



Principe de la liaison

Architecture matérielle 4/4

- Mise en place —
- Microprocesseur —
- Chipset —
- Bus de données —
- Systèmes de stockage de données —





Classification des systèmes de stockage de données

■ Mémoire morte ou Read Only Memory (ROM)

- Garde l'information même sans alimentation : données écrites une seule fois

■ Mémoire vive ou Random Access Memory (RAM)

- L'information peut être écrite ou effacée, mais disparaît avec l'alimentation

■ Mémoire flash

- Les informations demeurent même sans alimentation. L'effacement nécessite une manipulation particulière : intermédiaire entre la RAM et la ROM

■ Mémoires de masse

- Disque dur magnétique (*hard drive*), ou mécanique en raison du mouvement du support de stockage

La mémorisation (lecture et écriture) est obtenue par changement de la polarisation magnétique du support, un disque en rotation à grande vitesse. La tête d'écriture change la polarisation.

- Disque flash ou SSD (*Solid State Drive*)

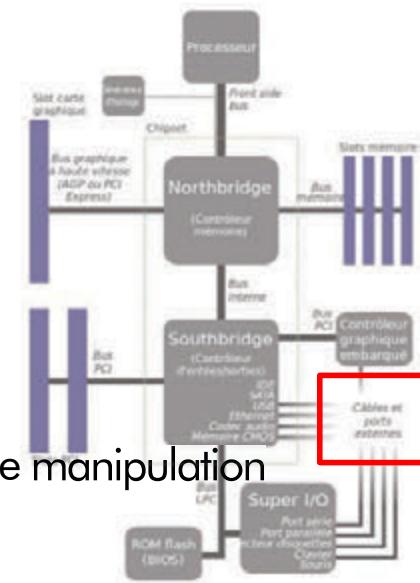
De la mémoire flash stocke les données : aucun mouvement, les opérations de lecture/écriture sont électriques.

- Disques optiques : CD-ROM, DVD-ROM, Blu-ray et CD-R et DVD-R par extension

Stockage réalisé par un disque accueillant des encoches (cuvettes).

La lecture est seule possible car le contenu est fixé par construction (ce sont des ROM)

C'est la variation des grandeurs optiques (différence de phase) qui matérialise les données.





Historiquement, les ROM sont à lecture seule : leur contenu est préservé hors d'alimentation

- Elles sont donc très adaptées pour stocker les programmes et informations de démarrage : BIOS (Basic Input Output System), Setup CMOS, le POST (Power On Self Test).
- Possibilité d'utiliser des variantes, l'EPROM (Erasable Programmable ROM) et l'EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM).
- Temps d'accès : quelques dizaines de nanosecondes (ns)
- Capacité variable selon les types, mais pouvant atteindre la centaine de Go



Le BIOS est contenu dans une ROM



Composant de mémoire ROM



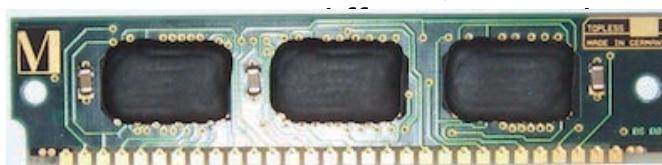
Composant EPROM



Stockage de données – Mémoire vive ou RAM (Random Access Memory)

Les mémoires de type RAM sont dites volatiles, car leur contenu disparaît avec l'alimentation

- Adaptées au stockage d'informations temporaires en mémoire de travail, mémoire cache, etc.
- La capacité actuelle de ce type de mémoire est de l'ordre du Go (giga octet)
- Temps d'accès : quelques nanosecondes (ns) ; elles sont plus rapides que les ROM
- Des circuits imprimés (Cimp) accueillent les composants mémoire (circuit intégrés, CI) pour former des barrette de mémoire, suivant deux formats :
 - SIMM (Single Inline Memory Module, 1982) : connecteur de 30 ou 72 broches, en format 8 bits ou 32 bits. Simple car les connexions sont identiques sur les deux faces du Cimp.
 - DIMM (Dual Inline Memory Module) : évolution des SIMM (plus de capacité), les connexion sont



Barrette SIMM 1 Mo, 30 broches



Barrette DIMM (2x72 broches)



Barrette sur son connecteur



Barrette SIMM 72 broches (1 Mo)



Barrette SODIMM



Les types de mémoires vives

■ En plus du mode de connexion barettes de RAM : SIMM ou DIMM

■ La mémoire vive se décline suivant sa technologie

- Statique (SRAM) : l'information logique (« 0 » ou « 1 ») est détenue par l'état d'un transistor : Passant=interrupteur fermé=niveau logique « 1 » / Bloqué=interrupteur ouvert=niveau logique « 0 »
- Dynamique (DRAM) : l'information logique est détenue par la charge d'un condensateur qui doit être régénérée régulièrement. On parle alors de **rafraîchissement**.

■ Types de mémoire vive statique

- *Static Random Access Memory (SRAM)* ; *Dual Ported Random Access Memory (DPRAM)* ; *Magnetic Random Access Memory (MRAM)* et *Phase-Change Random Access Memory (PRAM)*

■ Principaux types de mémoire vive dynamique (détail sur Wikipedia, Cf. références)

- **DDR SDRAM** pour *Double Data Rate Synchronous Dynamic RAM* : pour la mémoire principale et la mémoire vidéo, elle est synchrone avec l'horloge du système et double (D) les transferts de données par cycles. Technologie utilisée jusqu'au début des années 2000.
- **DDR2 SDRAM** : 2^e génération (2) de DDR SDRAM après le début des années 2000.
- **DDR3 SDRAM** : 3^e génération (3) de DDR SDRAM après fin 2007. Double le débit de la DDR2. Technologie la plus utilisée en 2014-5
- **DDR4 SDRAM** : 4^e génération (4) de DDR SDRAM après fin 2014. Double le débit de la DDR3
- **DDR5 SDRAM** : 5^e génération qui arrivera en 2019 avec une forme réduction de la consommation



Disque dur, parfois abrégé DD, HD ou HDD

- Mémoire de masse magnétique utilisée principalement dans les ordinateurs, mais aussi dans des baladeurs numériques, certains caméscopes, des lecteurs/enregistreurs de DVD de salon, des consoles de jeux vidéo, etc.
- Inventé en 1956 (5 Mo), il connaît un essor considérable après 1983 (20 Mo...10 To) jusqu'à l'apparition des disques flash (après 2015).



Vue générale



Plusieurs disques sont superposés. Sur chacun d'eux , deux têtes de lecture/écriture gèrent les deux faces du disque

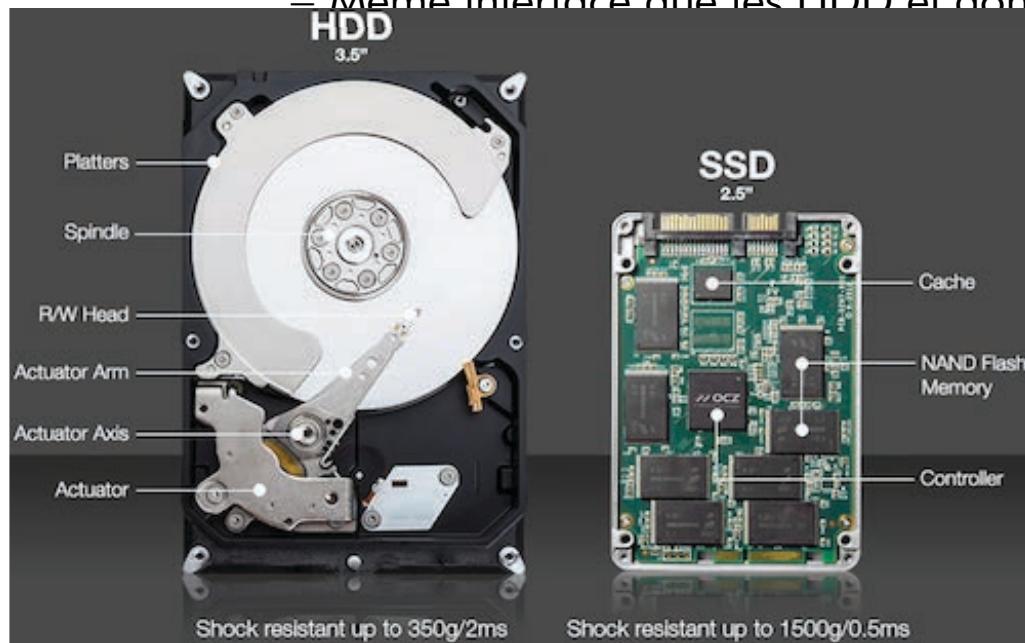


Vue du disque connecté à la carte mère au travers d'un cordon SATA et de son alimentation



Système de stockage de masse où les données sont enregistrées dans la mémoire flash

- Cette technologie (fin années 80) diffère totalement de celle des disques magnétiques.
- Même technologie que les cartes mémoire et clés de stockage, seule la capacité change
- La liste des atouts de cette technologie est très importante (Cf. référence)
 - Débit plus important d'un facteur pouvant atteindre 10 (200 Mo/s vs 2500 Mo/s)
 - Mais environ quatre fois plus cher que les HDD en 2017 (24 cts/Gbit) : ça baisse beaucoup !
 - Même interface que les HDD et donc... (à suivre)



Comparaison HDD/SSD





Support de stockage d'informations numériques appelé aussi Disque Optique Numérique (DON)

- Utilisé dans les domaines de l'informatique (~1994), de l'audio (~1980) et de la vidéo, un DON est un disque plat servant de média amovible, fabriqué en polycarbonate.
- En informatique, les DON sont utilisés comme mémoires de masse dont le système de fichiers est régi par la norme ISO 9660 pour les CD-ROM et DVD-ROM.
- Les CD, les DVD et les Blu-ray sont les disques optiques les plus répandus (et connus).



CD-R



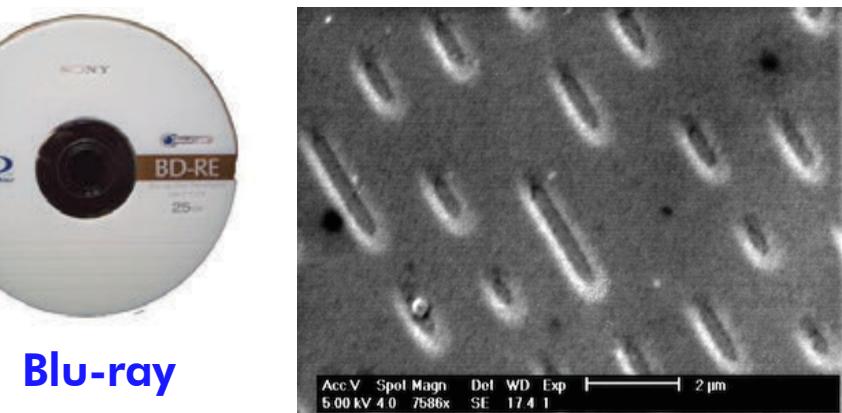
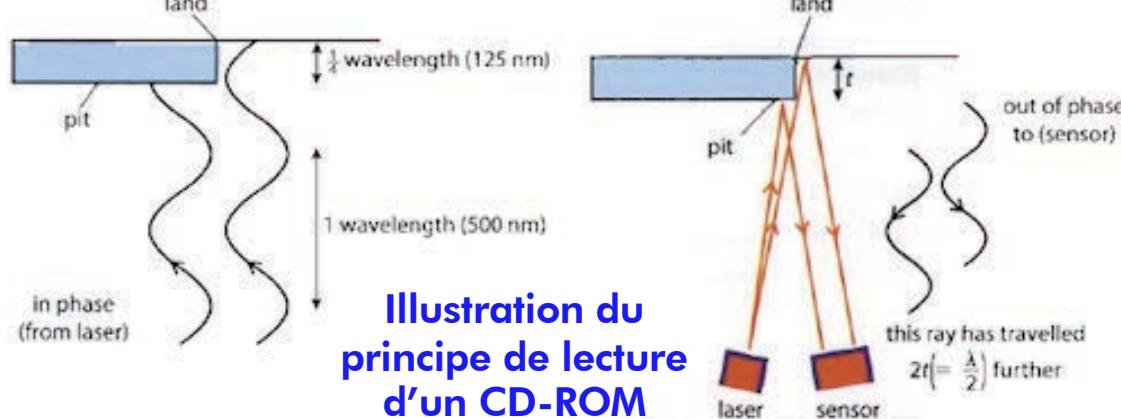
CD-RW



DVD-R



Blu-ray



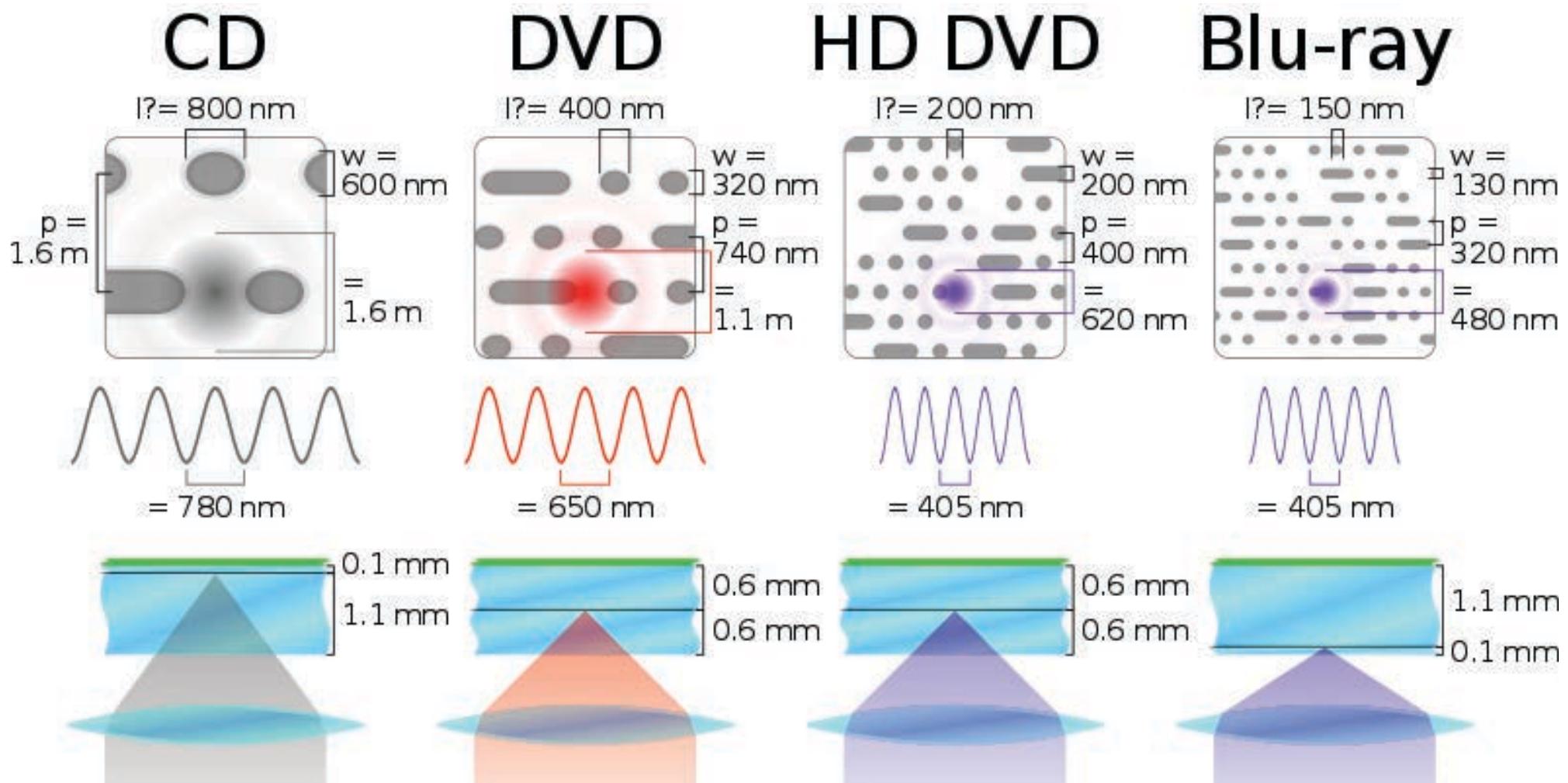
Vue au microscope des cuvettes codant l'information numérique



Lecteur/graveur de CD(-R) et DVD(-R)



Les CD, DVD, HD-DVD et blu-ray dérivent de la même technologie





Stockage de données – Récapitulatif des périphériques de stockage

Stockage et archivage de données

Disque dur externe

De 2 Go à 8 To en 2017



Disque dur interne

De 2 Go à 8 To en 2017



Unité de stockage en réseau ou NAS (Network Attached Storage)



Graveur de DVD externe (4,7 à 18 Go)



Graveur de DVD interne (4,7 à 18 Go)



Clef USB

(Universal serial bus)

De 1 à 256 Go en 2017

(au-delà, s'apparente plus aux SSD)



Disque dur flash ou SSD (Solid-state drive)

De 128 Go à 16 To en 2018



Lecteur de disquettes

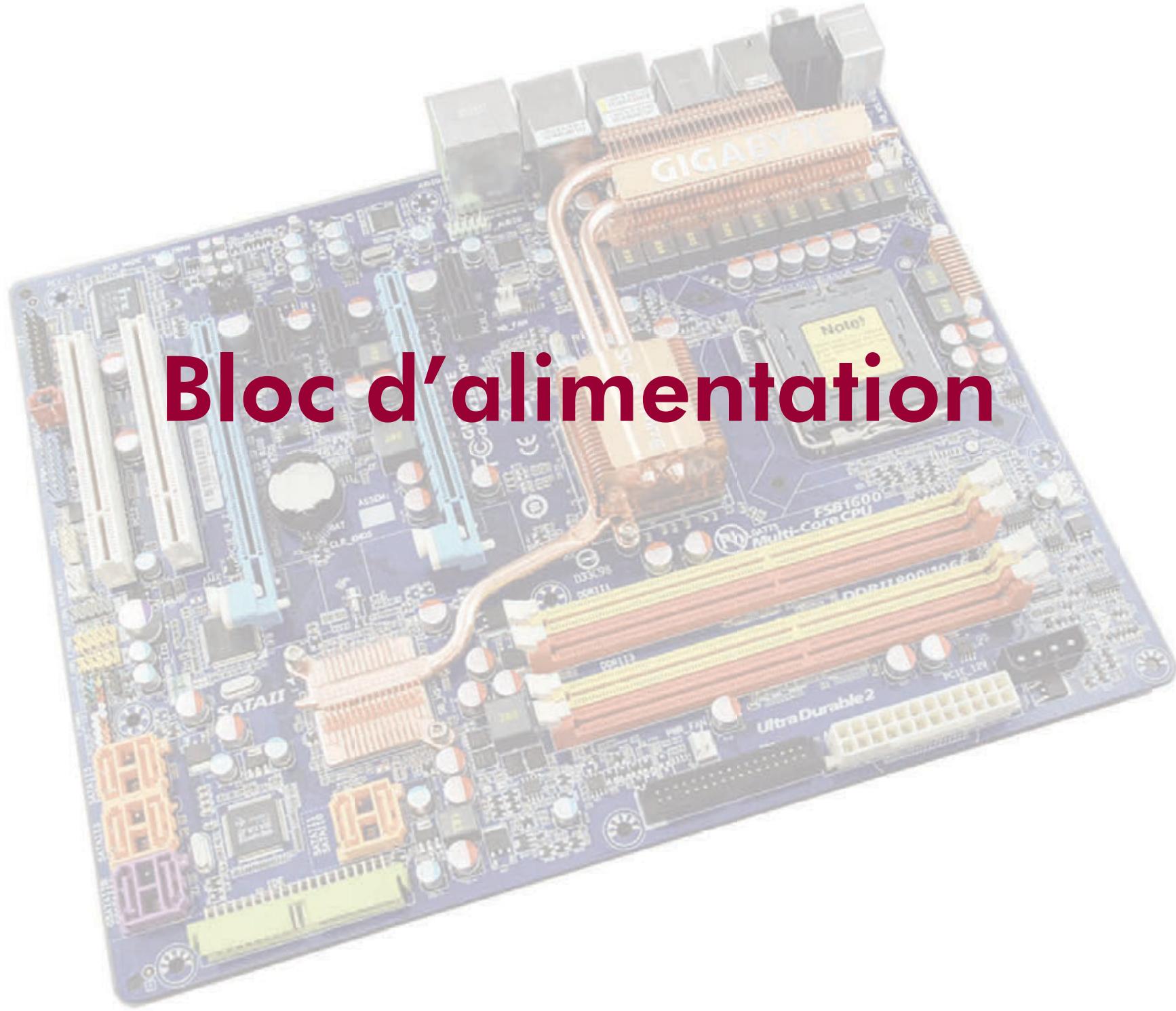
Dépassé depuis le début des années 2000



Cartes mémoire jusqu'à 512 Go



Bloc d'alimentation





La carte mère et les composants abrités, ainsi que les périphériques ont besoin d'énergie électrique

- **Le bloc d'alimentation, power supply unit en anglais, ou PSU, assure cette fonction**
- **Il permet de préparer les tensions (différents niveaux) nécessaires aux organes électriques**
- **La tension est prélevée sur le réseau d'alimentation (ord. fixes) ou sur la batterie (ord. portables)**

Avec l'évolution des structures matérielles et des choix technologiques, deux types prédominent :

- **Les alimentations AT dans les ordinateurs animés par des Pentium et antérieurs (<1997)**
 - Alimentations à découpage (électronique de puissance : découpage de signaux haute fréquence) ;
 - Fournit quatre tensions continues : +5 V, -5 V, +12 V et -12 V par rapport à 0 V ;
- **Les alimentations ATX dans les ordinateurs animés par des Pentium II et Core iX (>1997)**
 - Fournit cinq tensions continues : +5 V, -5 V, +12 V, -12 V et +3,3 V (car la tension uP diminue) ;
- **Ces alimentations s'appuient sur une organisation normalisée des connecteurs :**
 - Différentes couleurs des conducteurs pour éviter les confusions (Cf. illustrations)
 - Des connecteurs supplémentaires, spécifiques aux périphériques hors carte mère (HDD, etc.)

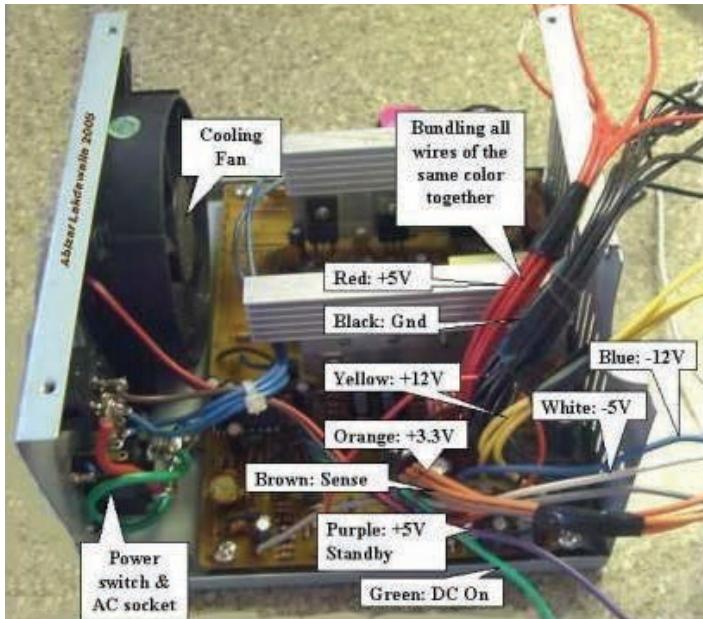
Caractéristiques et contraintes

- **Puissances : de 400 à 450 W en standard, jusqu'à 1500 W pour le graphisme (jeux)**
- **Alimentations présentant de bons rendements (80%) et des pertes modérées (échauffements)**
- **Un ventilateur supplémentaire équipe les boîtiers d'alimentation**

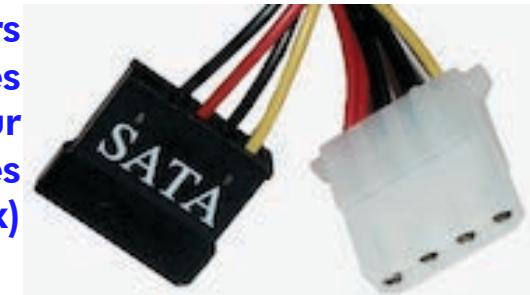


Autour de l'architecture : le bloc d'alimentation

Quelques illustrations relatives au bloc d'alimentation



Connecteurs supplémentaires pour périphériques (SATA et Mollex)



Connecteurs ATX

Organisation d'un boîtier ATX

Couleur	Signal	Pin	Pin	Signal	Couleur
Orange	+3.3 V	1	11	+3.3 V	Orange
Orange	+3.3 V	2	12	+3.3 V sense	Brun
Noir	Masse	3	13	Masse	Noir
Rouge	+5 V	4	14	Power on	Vert
Noir	Masse	5	15	Masse	Noir
Rouge	+5 V	6	16	Masse	Noir
Noir	Masse	7	17	Masse	Noir
Gris	Power good	8	18	Réserve	N/C
Violet	+5 V standby	9	19	+5 V	Rouge
Jaune	+12 V	10	20	+5 V	Rouge

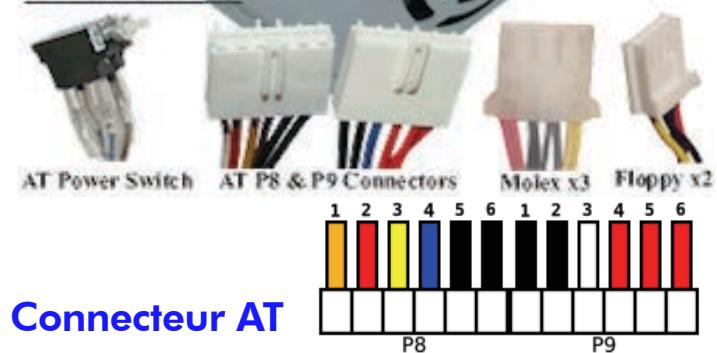
Brochage ATX 20 broches

Couleur	Signal	Pin	Pin	Signal	Couleur
Orange	+3.3 V	1	13	+3.3 V	Orange
Orange	+3.3 V	2	14	-12 V	Bleu
Noir	Masse	3	15	Masse	Noir
Rouge	+5 V	4	16	Power on	Vert
Noir	Masse	5	17	Masse	Noir
Rouge	+5 V	6	18	Masse	Noir
Noir	Masse	7	19	Masse	Noir
Gris	Power good	8	20	Réserve	N/C
Violet	+5 V standby	9	21	+5 V	Rouge
Jaune	+12 V	10	22	+5 V	Rouge
Jaune	+12 V	11	23	+5 V	Rouge
Orange	+3.3 V	12	24	Masse	Noir

Brochage ATX 24 broches



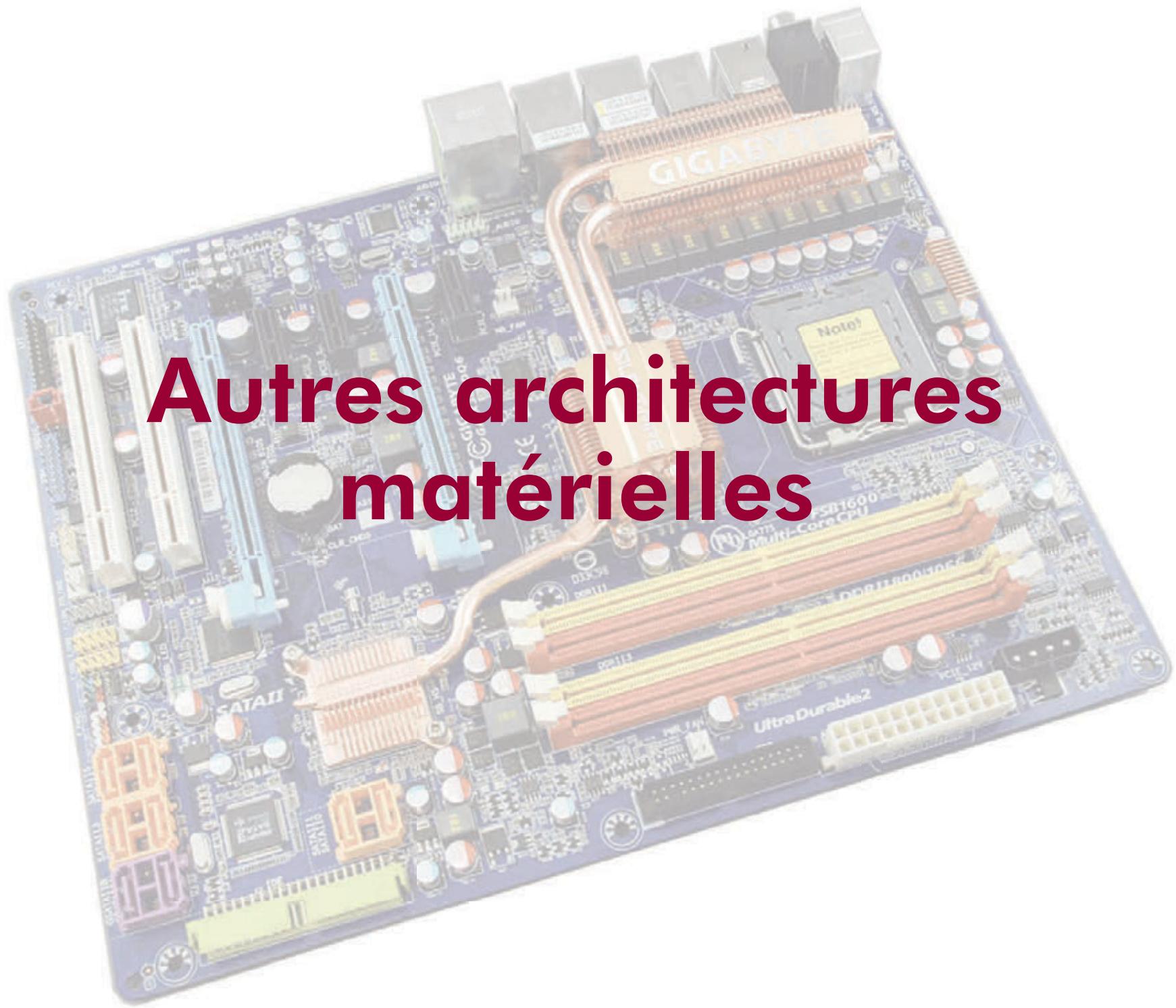
Connectors included:



Connecteur AT



Autres architectures matérielles





L'architecture matérielle dépend du microprocesseur utilisé

■ À chaque ordinateur, son processeur pour l'animer

- Avec sa structure matérielle, son organisation et... ses logiciels et périphériques

■ Mais au même uP, peuvent dépendre différentes architectures

- Cette situation était courante aux débuts de l'informatique personnelle
- Avant l'émergence des ordinateurs de type IBM PC : des centaines d'ordinateur incompatibles coexistaient sur le marché des OP car peu de uP étaient disponibles : globalement Intel et Motorola

Historiquement, retenons quelques noms (le uP est indiqué entre parenthèses)

- Altair 8800 (Intel 8080), Apple II (6800), Tandy RadioShack TRS-80 (Zilog Z80), PET Commodore (Motorola 6805), Atari ST (Motorola 68000), Sinclair ZX8x (Z80), Amstrad (Z80), etc.
- Et quelques systèmes d'exploitation : CP/M (pour uP Intel x80 et Z80), Apple DOS, etc.

Puis deux grands standards ont émergé :

- L'un basé sur l'architecture IBM à base de uP Intel, appelée architecture x86 (80x86, puis Pentium) avec les systèmes d'exploitation PC-DOS, CP/M-86, MS-DOS, puis Windows (Microsoft)
- L'autre basé sur différentes architectures Apple à base successivement de uP Motorola (68xx, 68xxx), puis IBM (PowerPC) et Intel x86 (Core, Pentium) à partir de 2005-2006. Le système d'exploitation évolue avec les ordinateurs successifs (MacOS).



Les ordinateurs successifs essentiels d'Apple sont :

- Apple II : premier ordinateur personnel produit en grande série (de 1977 à 1993) ;
- LISA (une courte période avant le Macintosh, mais abandonné car trop lent pour les performances des composants disponibles sur le marché de l'époque)
- Macintosh : premier ordinateur commercial avec interface graphique et souris-clavier

Convergence : abandon des uP Motorola 68xxx et PowerPC pour Intel x86

- Intervenu en 2006, ce changement radical rend possible l'interopérabilité Apple/IBM-PC (même gamme de processeurs).
- Convergence des matériels et périphériques
 - Avec la convergence des uP, la nouvelle architecture matérielle rend possible
- Convergence des logiciels
 - Émulation possible du système d'exploitation Windows sur les machines Apple avec Bootcamp et le fonctionnement multi OS grâce à la virtualisation.

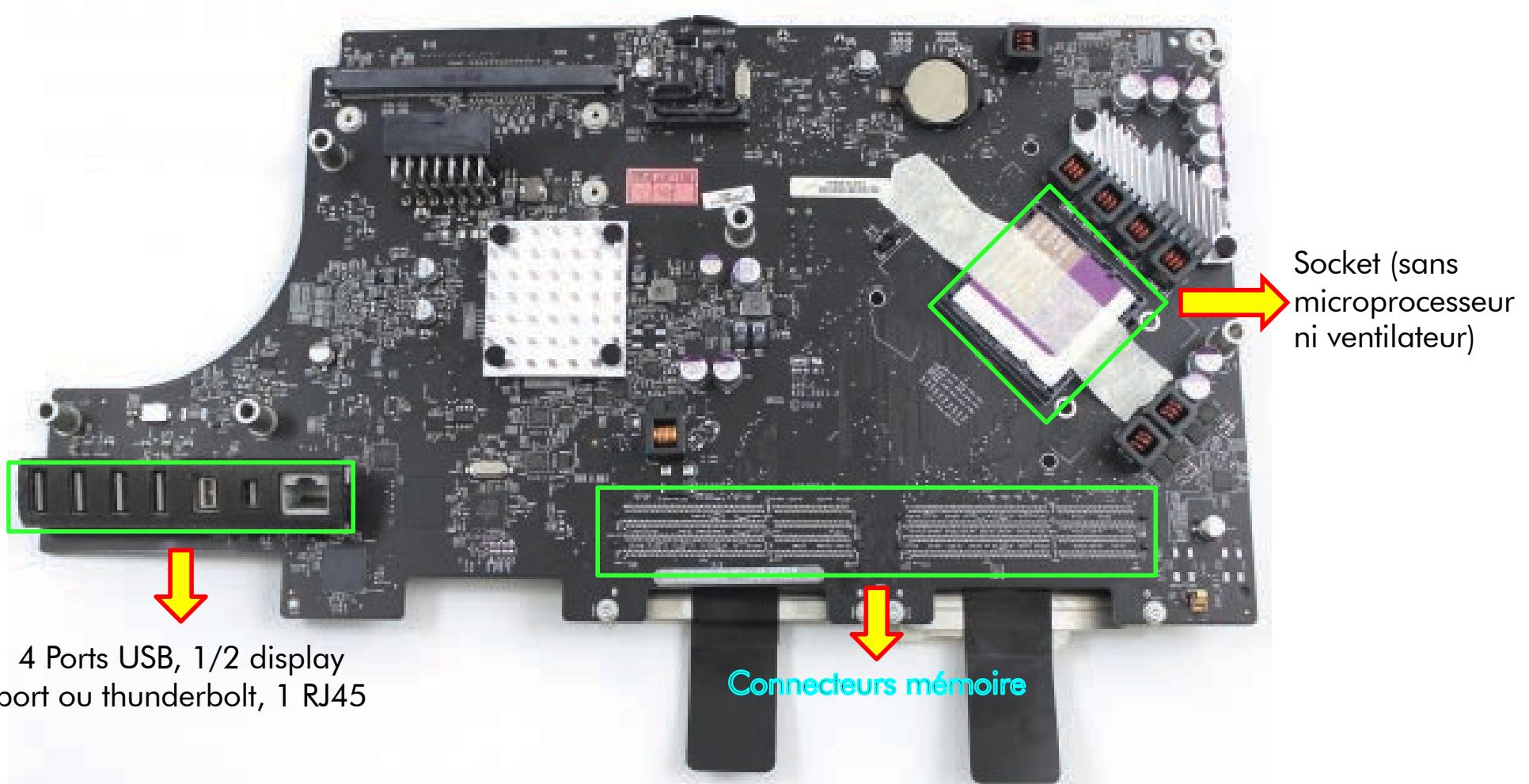
L'architecture Apple d'aujourd'hui est celle du Macintosh, déclinée en :

- Ordinateur de bureau, iMac
- Ordinateur portable, MacBook, MacBook Pro ou MacBook Air
- Station de travail, MacPro et maintenant iMac Pro (avec le même système d'exploitation)

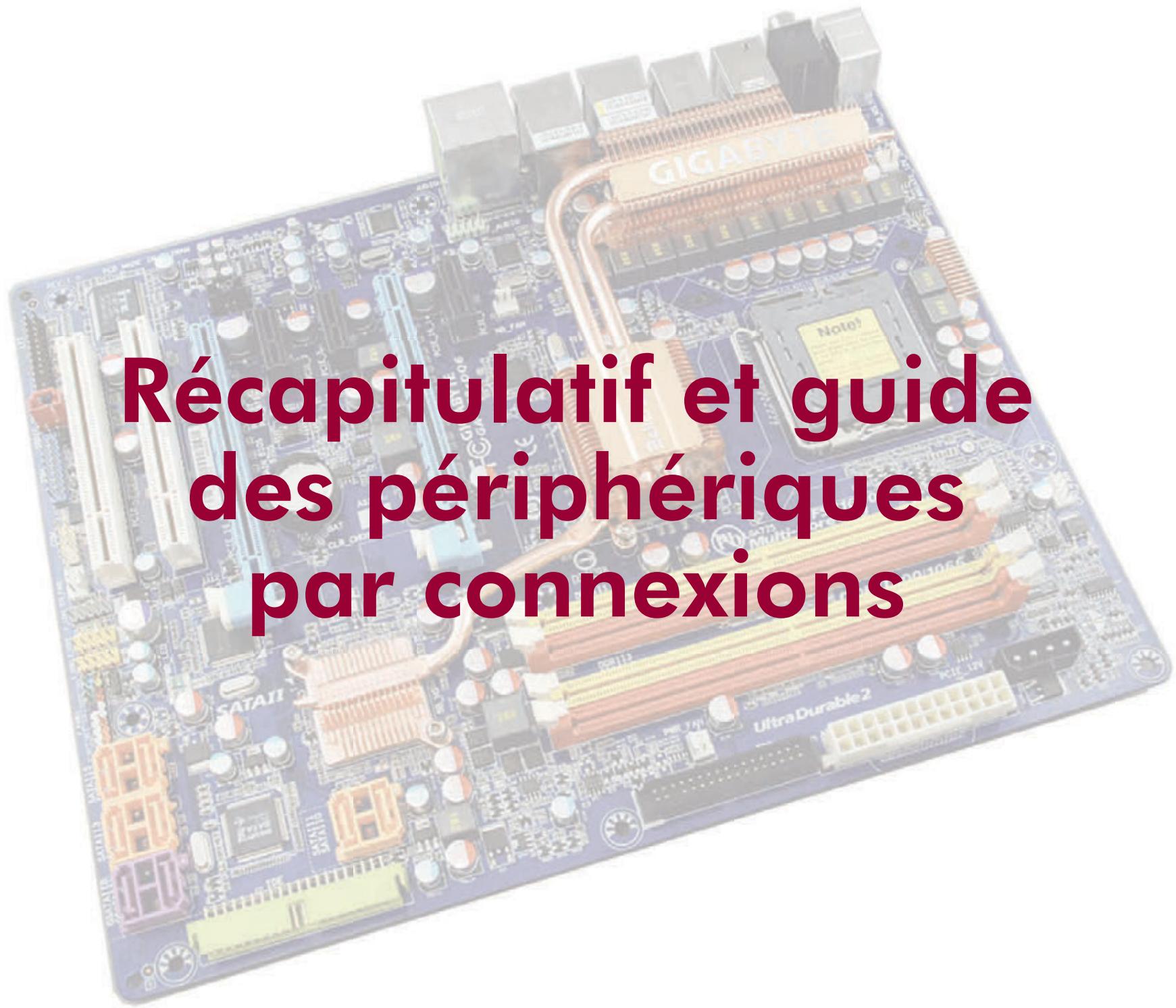


Carte mère d'un ordinateur iMac (27 pouces)

■ La structure matérielle de cette carte mère n'est que partiellement comparable à celle d'un ordinateur « compatible PC »



Récapitulatif et guide des périphériques par connexions





Eléments obligatoires

- Écran : affichage des informations et des résultats
- Clavier : introduction des informations (textes et nombres)
- Unité de stockage des informations (différentes technologies) :
 - Lecteur de disquette (dépassé)
 - Disque dur (classique ou mécanique)
 - SSD (Solid-state drive) ou disque flash

Eléments supplémentaires

- Souris et/ou un pavé tactile (trackpad) ou écran tactile : manipulation interactive de l'interface graphique
- Unité(s) supplémentaires pour le stockage des informations :
 - CD-ROM/RAM (en lecture, en écriture pour l'archivage),
 - disque dur (mécanique),
 - SSD (Solid-state drive) ou disque dur flash (clefs USB de même technologie)
- Second écran (parfois davantage pour les postes de travail spécifiques)
- Lunettes 3D (pour immersion virtuelle en 3D ou en réalité augmentée)

Ordinateur personnel

Périphériques pour d'autres fonctionnalités

- Projecteur vidéo pour activités en groupe
- Imprimante pour éditer des documents sur tous supports papier,
- Scanner (mot anglais, to scan = balayer) pour acquérir des images et textes,
- Caméra pour filmer les scènes proches / utilisateurs.

Périphériques de communication

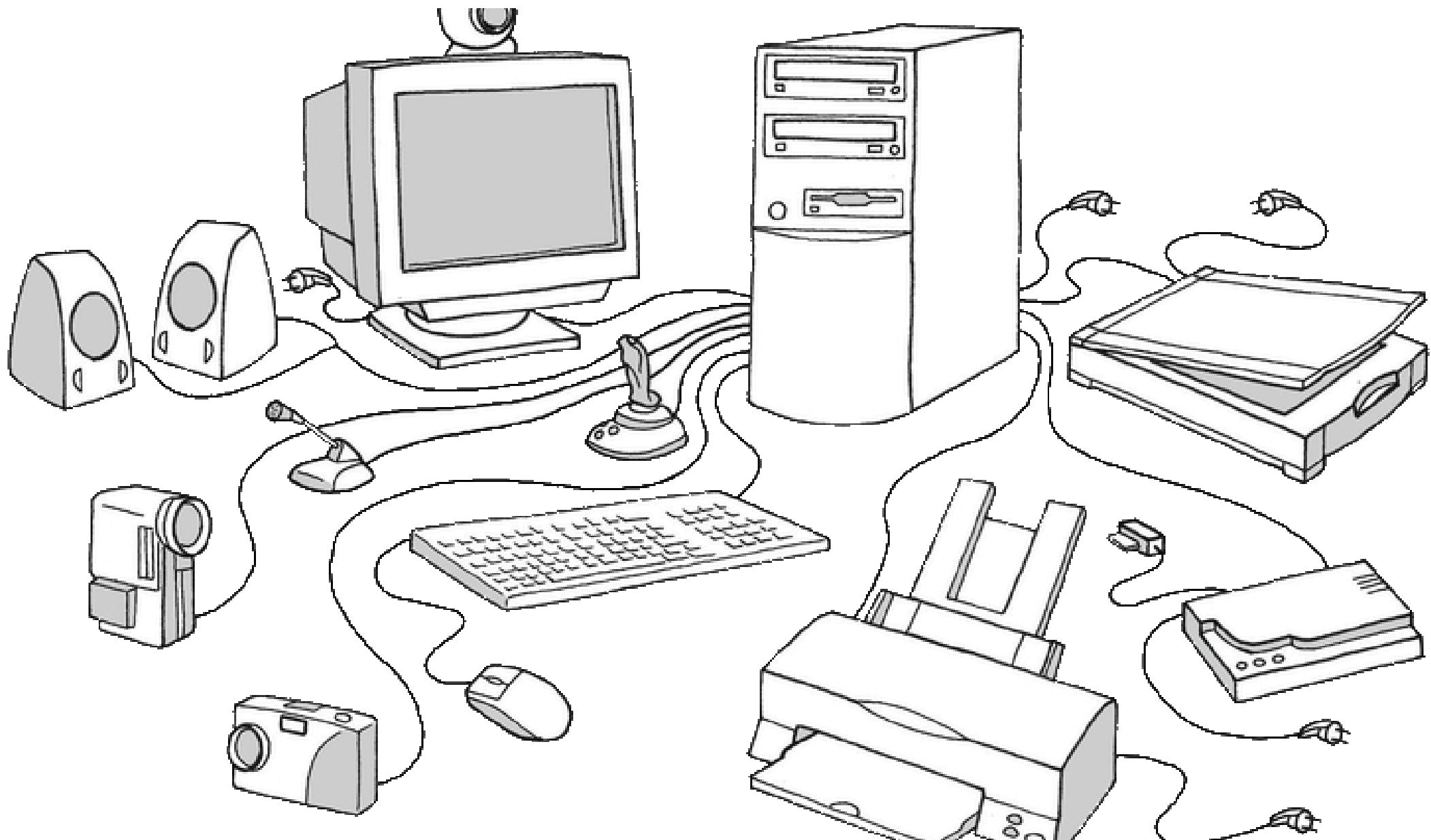
- Modem (échanges par le réseau téléphonique, technologie dépassée)
- Routeur d'interconnexion à un réseau informatique local
 - Filaire (Ethernet)
 - ou sans fil (wi-fi)
- Autres éléments de communication possibles :
 - Concentrateur(s) (hub),
 - Commutateur(s) (switch), etc.

Ces éléments échangent des informations sous forme de signaux électriques

Les signaux transitent par des connecteurs, câbles ou liaisons hertziennes



Ordinateurs et périphériques : illustration





Lecteur de
CD-ROM (cédérom)
ou DVD

Pavé tactile
(trackpad,touchpad)



Manette de jeu (joypad)



Joystick

(existe avec liaison filaire ou sans fil, radio ou Bluetooth)

Clavier



Quelques périphériques de pointage

Palette graphique

(existe avec liaison filaire ou sans fil, radio ou Bluetooth)



Souris

(existe avec liaison filaire
ou sans fil, radio ou Bluetooth)



Quelques périphériques d'acquisition

Des périphériques « naturellement » informatiques



Webcam
(caméra vidéo)



Microphone



Scanner
(de l'anglais to scan=balayer)

Et d'autres interfaçables avec les liaisons standards







Visualisation, saisie et interactions



Pointage et visualisation :
écran tactile



Quelques périphériques d'entrée-sortie

Stockage et archivage de données



Disque dur externe
De 2 Go à 8 To en 2017



Disque dur interne
De 2 Go à 8 To en 2017



Unité de stockage en
réseau ou NAS (Network
Attached Storage)



Graveur de DVD
externe (4,7 à 18 Go)



Graveur de DVD
interne (4,7 à 18 Go)



Clef USB
(Universal serial bus)

De 1 à 256 Go en 2017

(au-delà, s'apparente plus
aux SSD)

Disque dur flash ou SSD
(Solid-state drive)

De 128 Go à 16 To en 2018



Lecteur de
disquettes

Dépassé depuis le
début des années
2000



Cartes mémoire
jusqu'à 512 Go





Périphériques combinés ou multifonctions



Imprimante multifonction :
impression, scanner,
copieur, télécopieur



Copieur en volume



Périphériques de communication

Modem analogique externe
(dépassés depuis le milieu
des années 2000)



Concentrateur (hub)
ou commutateur (switch)

Modem ADSL externe



Baie de brassage



Clef modem wi-fi
(type 1)



Clef modem wi-fi
(type 2)

Carte modem
analogique interne



Modem-routeur wi-fi
(reconnaissable aux antennes)



Périphériques d'entrée « standards » — bluetooth=BT / Wi-fi=W

	DB9 (série)	DIN	PS2	USB	Sans fil
Clavier	✓ (disparu)	✓ (pratiquement disparu)	✓ (en cours de disparition)	✓	✓ (bluetooth)
Souris	✓ (disparu)	✓ (pratiquement disparu)	✓ (en cours de disparition)	✓	✓ (bluetooth)
Palette graphique				✓	✓ (bluetooth)
Pavé tactile, trackpad ou touchpad				✓	✓ (bluetooth)



Périphériques de sortie audio et vidéo — bluetooth=BT / Wi-fi=W

	VGA	DVI	USB	FireWire	HDMI	Thunder-bolt	RJ45	Jack
Enceintes, etc.								✓
Moniteur	✓ (analogique)	✓ (numérique)				✓		
Projecteur vidéo	✓	✓			✓		✓	
Webcam			✓					
Caméra, caméscope				✓	✓	✓		



Périphériques de sortie (autres) — bluetooth=BT / Wi-fi=W

	VGA	DVI	USB	FireWire	HDMI	Thunder-bolt	RJ45	Sans fil	Jack
Imprimantes								✓ (bluetooth, Wi-fi)	✓
Moniteur	✓ (analog.)	✓ (num.)				✓		✓ (bluetooth)	
Projecteur vidéo	✓	✓			✓		✓	✓ (bluetooth)	
Webcam			✓						
Caméra, caméscope				✓	✓	✓ (?)		Sans fil	



Périphériques de stockage — bluetooth=BT / Wi-fi=W

	USB 2/3	FireWire 400/800	Thunder- bolt	SCSI	RJ45	Sans fil
Mémoire flash	✓					
Lecteur/graveur (CD/DVD)	✓	✓	✓ (?)	✓ (de moins en moins répandu)	✓	✓ (Wi-fi)
Disque dur externe (NAS inclus)	✓	✓	✓		✓	✓ (Wi-fi)



Périphériques d'entrée et d'entrée/sortie évolués ou multifonction

	USB	SCSI	RJ45	Sans fil
Scanner	✓	✓ (de moins en moins)	✓	✓ (Wi-fi)
Imprimante multifonction	✓	✓	✓	✓ (Wi-fi)



Wikipédia (1/3)

- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Colosse_\(ordinateur\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Colosse_(ordinateur))
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/ENIAC>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordinateur_personnel
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Micral>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Compatible_PC
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_de_von_Neumann
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chipset>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microprocesseur>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Lista_de_microprocesseurs
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pipeline_\(architecture_des_processeurs\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pipeline_(architecture_des_processeurs))
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Mémoire_cache#Mémoire_cache_des_microprocesseurs
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Microprocesseur_multi-cœur
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hyper-Threading>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_Turbo_Boost
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Moore
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Enveloppe_thermique (pauvre) ou https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_design_power (plus riche)



Wikipédia (2/3)

- Bus FSB : https://en.wikipedia.org/wiki/Front_side_bus (préférable en anglais)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mémoire_\(informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mémoire_(informatique))
- Bus LPC : https://en.wikipedia.org/wiki/Low_Pin_Count
- Bus ISA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Industry_Standard_Architecture
- Bus EISA : https://fr.wikipedia.org/wiki/Extended_Industry_Standard_Architecture
- Interfaces ATA et IDE : <https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel ATA>
- PCI (*Peripheral Component Interconnect*) : https://en.wikipedia.org/wiki/Conventional_PCI ou [https://fr.wikipedia.org/wiki/PCI_\(informatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/PCI_(informatique))
- Bus AGP : https://fr.wikipedia.org/wiki/Accelerated_Graphics_Port
- Bus PCIe : https://fr.wikipedia.org/wiki/PCI_Express
- PCMCIA : https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_Computer_Memory_Card_International_Association
- SCSI : <https://en.wikipedia.org/wiki/SCSI> et http://www.data76.free.fr/doc1/U02E04ConfigurerMaintenirServeurs/DocsServeurs/Scsi/SCSI_ER06.pdf
- SATA : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Serial ATA>
- RS 232, COM : <https://fr.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- USB : https://fr.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- Parallèle : https://fr.wikipedia.org/wiki/Port_parallel



Wikipédia (3/3)

- **CGA** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Color_Graphics_Adapter ou https://en.wikipedia.org/wiki/Color_Graphics_Adapter
- **EGA** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Graphics_Adapter ou https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Graphics_Adapter
- **VGA** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Video_Graphics_Array ou https://en.wikipedia.org/wiki/Video_Graphics_Array
- **DVI** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Digital_visual_interface ou https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_visual_interface
- **HDMI** : https://en.wikipedia.org/wiki/High-Definition_Multimedia_Interface
- **Display port** : <https://fr.wikipedia.org/wiki/DisplayPort>
- **FireWire/i-link** : <https://fr.wikipedia.org/wiki/FireWire>
- **Light Peak/Thunderbolt** : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Thunderbolt_\(interface\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thunderbolt_(interface)) ou [https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderbolt_\(interface\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Thunderbolt_(interface))
- **RAM** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mémoire_vive
- **DRAM** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mémoire_vive_dynamique (étendre à DDR1 ... DDR5)
- **SIMM** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Single_Inline_Memory_Module
- **DIMM** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Dual_Inline_Memory_Module
- **DD ou HD** : https://fr.wikipedia.org/wiki/Disque_dur
- **Disque flash ou SSD** : https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_drive
- **Disque optique** : https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_disc (site en anglais plus riche)
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Chronologie_de_l'informatique



Autres références

- Document et diaporama « Architecture des ordinateurs » réalisés pour l'UPSTI par François Médevielle
- Site personnel de Alain Tisserant (Mines de Nancy) : <http://www.tisserant.org/cours/architectures/>

Lectures

- The Conversation – 21/08/2017 – Lecture conseillée.
<https://theconversation.com/linformatique-toute-une-histoire-82622>



That's all Folks!

Fin de
« Architecture des
ordinateurs personnels »
— Version complète —

Avez-vous des (d'autres) questions ?