

Histoire et structure des ordinateurs

G. Dewaele

Novembre 2017

Historique de l'informatique

Introduction

Des calculateurs mécaniques aux ordinateurs

Seconde guerre mondiale et naissance de l'ordinateur

Vers l'ordinateur moderne

Structure d'un ordinateur

Modèles d'ordinateurs

Structure d'un ordinateur moderne

Stocker les données

Transmettre les données

Qu'est-ce que l'informatique ?

Informatique : mot valise

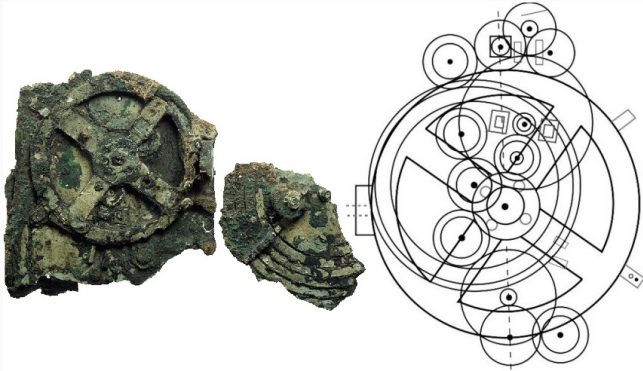
information + **automatique**

→ science du traitement automatisé de l'information

Un *ordinateur* est un dispositif concrétisant cette notion.

La machine d'Anticythère

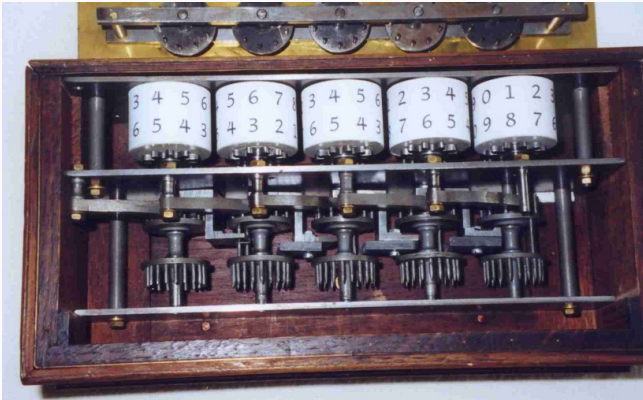
Nommée d'après le lieu de découverte, environ 2000 ans



Détermine la date d'événements astronomiques (éclipses, ...) grâce à un mécanisme contenant plus de 50 engrenages.

La Pascaline

Machine à calculer mécanique (additions, soustractions)



Créée par Blaise Pascal vers 1640.

Les métiers à tisser Jacquard

Cartes perforées automatisant la production de motifs (1801)

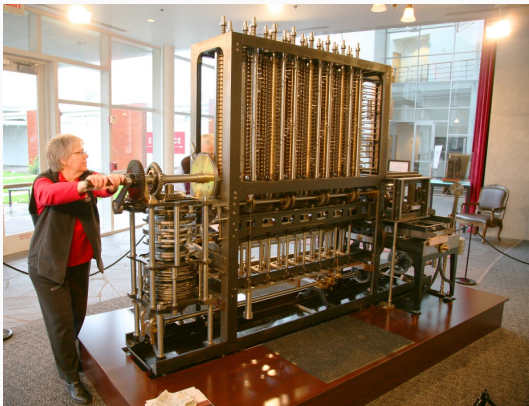


Premiers programmes !

La machine à différences de Charles Babbage

Au XIX^e siècle, grand besoin de tables de logarithmes

Problème : trop d'erreurs (de calcul et de copie), le gouvernement anglais souhaite une machine pour les produire.



La machine analytique de Babbage

C. Babbage préférerait une machine *programmable*, via des cartes perforées, sur le principe des métiers Jacquard.

Il la conçoit et la décrit, mais ne peut achever sa construction.

Ada Lovelace l'aide et conçoit les premiers programmes.

Le fils cadet de C. Babbage la construit en partie vers 1900, et s'en sert pour déterminer des multiples de π (29 décimales).

Une machine complète a été réalisée à la fin du XX^e siècle, avec les techniques de l'époque, elle fonctionne parfaitement.

Naissance de l'ordinateur

La seconde guerre mondiale accélère les choses.

Savoir calculer vite et automatiquement est un avantage :

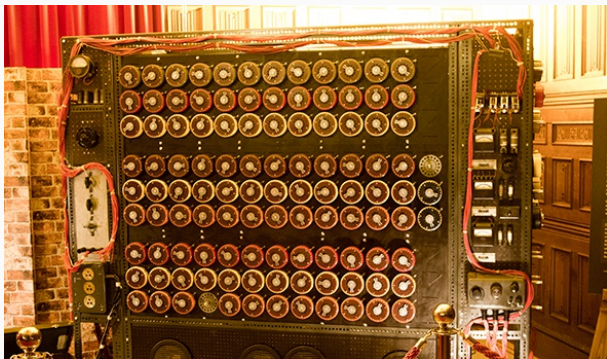
- calculer une trajectoire prend des jours ;
- l'ingénierie (aéronautique...) nécessite beaucoup de calculs ;
- la cryptanalyse, impraticable à la main, enjeu stratégique.

En 1937, Kurt Pannke, fabricant de calculateurs mécaniques, affirme que l'on a à peu près tout inventé sur les calculateurs, et qu'il n'y a plus rien à trouver.

Il se trompe lourdement, dans les dix années qui suivent, les premiers ordinateurs apparaissent aux quatre coins du monde.

La bombe d'Alan Turing

Appareillage mécanique destiné à casser le cryptage *Enigma*.



Essentiellement des dizaines de machines Enigma assemblées.

Recherche la clé permettant d'obtenir un mot donné par décryptage.

Le Z3 de Konrad Zuse

Réalisé en 1941 par Konrad Zuse.

Détruit en 1943 dans un bombardement.



Le Z3 de Konrad Zuse

Beaucoup de concepts novateurs :

- complètement programmable (rubans perforés) ;
- calcule en binaire et en virgule flottante (22 bits) ;
- électrique (relais) plutôt que mécanique ;
- entrées par clavier et sorties par lampes ;
- mémoire séparée (64 valeurs de 22 bits).

Capable de réaliser cinq opérations ($+$, $-$, $\times$, $\div$, $\sqrt{}$)
à raison d'une opération par seconde environ
et peut effectuer des boucles (mais pas de tests)

Les machines de Zuse pèsent plus d'une tonne et consomment des milliers de watts.

Autres contributions de Konrad Zuse

Les variantes S1 et S2 sont employées dans l'industrie aéronautique.

Le Z4, mis au point difficilement en raison de la situation en Allemagne, est encore plus évolué (plusieurs dizaines d'opérations).

Konrad Zuse propose également le *Plankalkül*, premier *langage de programmation de haut niveau*, avec typage, affectation, opérations conditionnelles, boucles, sous-programmes, opérations logiques, manipulation de listes, exceptions arithmétiques, etc.

Il écrit quantité d'algorithmes (tris, recherches, etc.)

Il étudie la possibilité d'algorithmes pour les échecs et prédit que 50 ans plus tard, un ordinateur battra le champion du monde d'échecs.

L'Atanasoff-Berry Computer

Imaginé en 1937 par John Vincent Atanasoff et Clifford Berry.

Réalisé et testé en 1942.



Capable de calculer en binaire, mais non programmable.

Colossus de T. Flowers, M. Von Neumann et A. Turing

Destiné à casser le code de cryptage *Lorentz*.

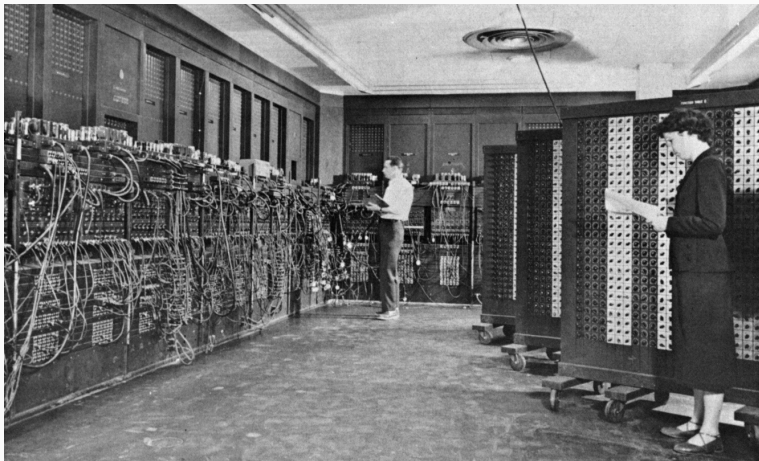
- entièrement électronique (1500 à 2400 tubes à vide)
- fonctionne en binaire
- totalement reprogrammable
- environ 5000 opérations par seconde

Inconnu à l'époque car top-secret, les dix exemplaires furent détruits entre 1945 et 1960 par l'armée britannique.

Quelques plans illégalement conservés ont récemment permis de l'étudier en partie.

Electronic Numerical Integrator Analyser and Computer

Projet lancé en 1943 par le physicien John William Mauchly.



Electronic Numerical Integrator Analyser and Computer

Construit initialement pour le calcul de tables de tir.

- complètement électronique (tubes à vide)
- travaille en décimal
- nécessite un recablage pour la programmation.

Peu innovant mais très rapide pour l'époque (10^5 additions par seconde).

Beaucoup de pannes (lampes, premiers bugs) !

Fait la une de Time et Newsweek.

Développement de l'offre commerciale

- 1946 : Univac, premier ordinateur commercial (Utilisé pour le recensement aux USA)
- 1947 : William Shockley, John Bardeen et Walter Brattain (Bell Laboratories) inventent le transistor
- 1953-1954 : premiers langages (COBOL, ForTran)
- 1958 : Jack Kilby (Nobel 2000) et Robert Noyce introduisent le circuit intégré
- 1964 : Douglas Engelbart présente le principe de la souris et de l'interface graphique
- 1969 : création de UNIX chez Bell Laboratories
- 1971 : Intel 4004, premier microprocesseur commercial (=ENIAC)

Mise à disposition du grand public

- 1974-1976 : premiers ordinateurs personnels (IBM 5100, TRS-80, Commodore PET, Apple-I)
- 1978 : premier tableur (Visicalc)
- 1979 : premier traitement de texte (WordStar)
- 1989 : Tim Berners-Lee (CERN) développe l'HyperText Markup Language
- 1990 : premier serveur web et premier site (CERN)
- 1991 : le world wide web devient publiquement accessible

Historique de l'informatique

Introduction

Des calculateurs mécaniques aux ordinateurs

Seconde guerre mondiale et naissance de l'ordinateur

Vers l'ordinateur moderne

Structure d'un ordinateur

Modèles d'ordinateurs

Structure d'un ordinateur moderne

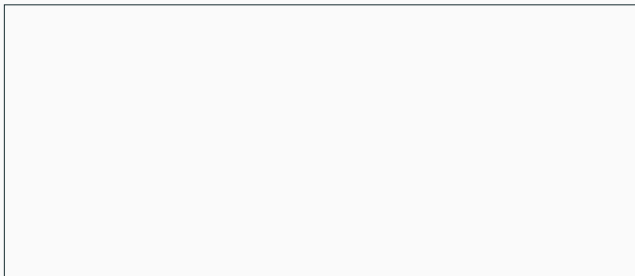
Stocker les données

Transmettre les données

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

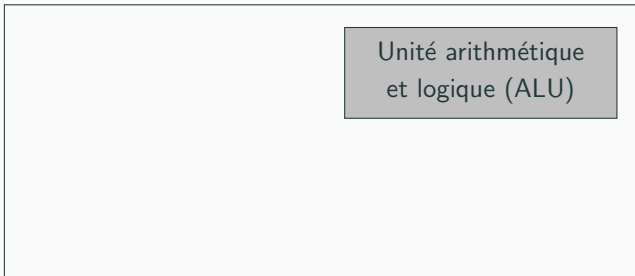


La machine regroupe différents éléments.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

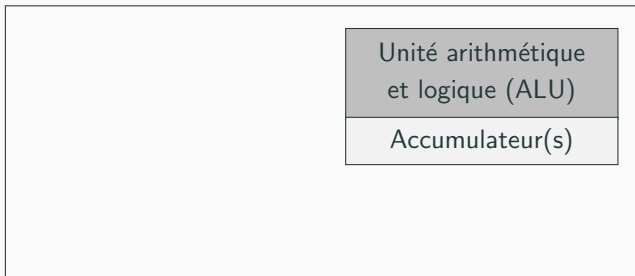


En premier lieu, une unité capable d'effectuer des calculs.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

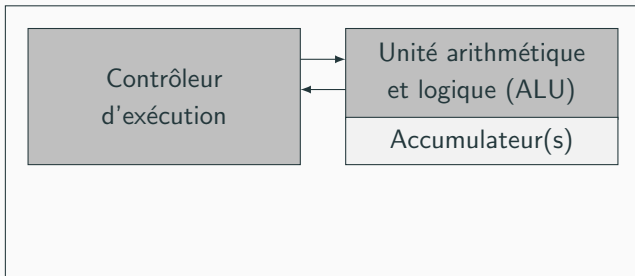


Des accumulateurs (registres) accueillent arguments et résultats.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

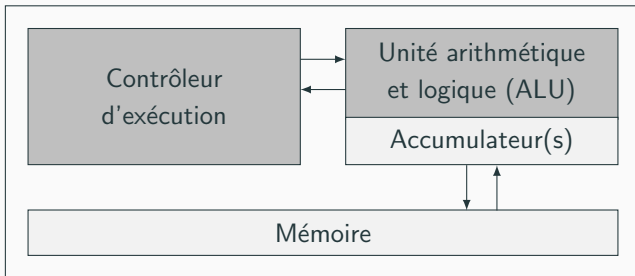


Une unité de contrôle détermine quelles opérations effectuer.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

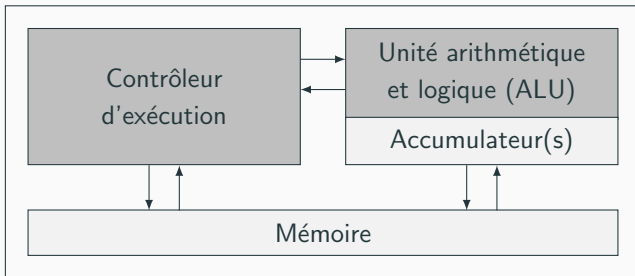


Une mémoire permet de manipuler davantage de données.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

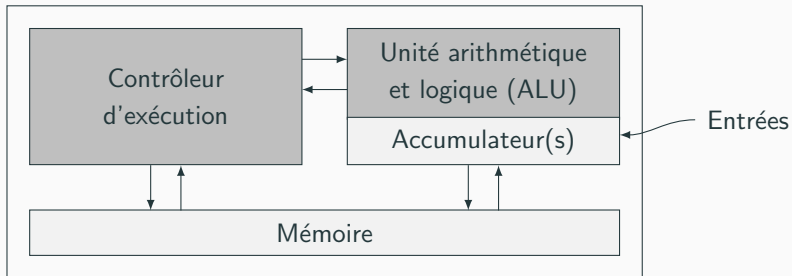


Le programme (modifiable) exécuté s'y trouve également.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.

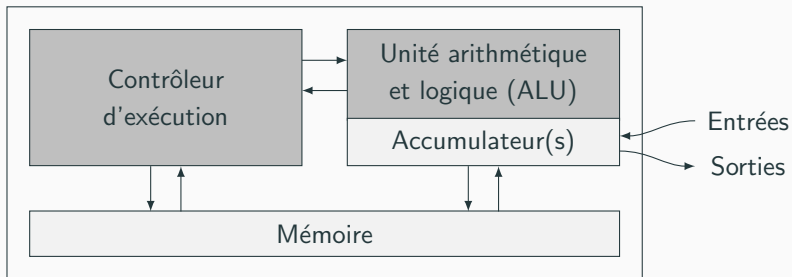


La machine peut accepter des informations extérieures.

Machine de Max Von Neumann

C'est une des premières description des constituants d'un ordinateur.

Des dires de Max Von Neumann, elle serait en partie inspirée d'idées d'Alan Turing.



Et également transmettre ses résultats.

Machine de Max Von Neumann

Elle est en fait quasi-identique au modèle proposé par Konrad Zuse avant la guerre.

Principale différence : le programme, dans la mémoire, est modifiable (K. Zuse était conscient de l'intérêt, mais ses machines ne disposaient pas assez de mémoire pour cela).

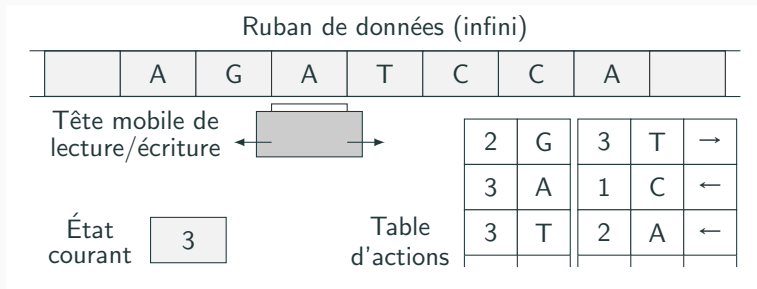
Cette possibilité n'est que rarement utilisée actuellement (par les compilateurs, les interpréteurs... et les hackers !)

C'est toujours la structure des ordinateurs (et microcontrôleurs) actuels.

Machine de Turing

Modèle *abstrait* du fonctionnement d'un ordinateur et sa mémoire introduit par Alan Turing en 1936.

Utilisé pour définir et étudier les algorithmes, leur complexité, leur calculabilité, c'est toujours un fondement de l'informatique théorique.



Machine de Turing

On peut concevoir une machine de Turing pour appliquer un algorithme ou un mécanisme de calcul quelconque.

A. Turing a montré qu'on peut créer une machine de Turing *universelle* capable de simuler le fonctionnement de n'importe quelle machine de Turing.

Dite *Turing-complète*, elle est en mesure de calculer tout ce qui est calculable, les problèmes qu'elles peut résoudre sont exactement les problèmes résolubles par un algorithme.

En dehors de la condition de mémoire infinie, les ordinateurs (et la plupart des langages de programmation) sont généralement capables d'émuler une machine de Turing universelle, et donc de résoudre n'importe quel problème.

Structure (simplifiée) d'un ordinateur

Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Registres

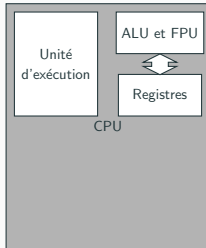
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



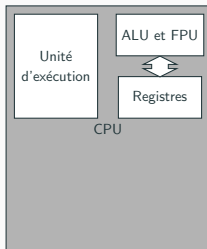
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



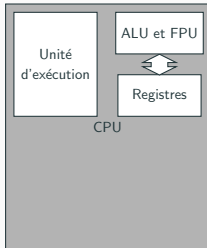
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Écran/moniteur

Réseau filaire

Antenne WiFi

Disque dur

Lecteur optique

Imprimante

Souris

Clavier

Clé USB

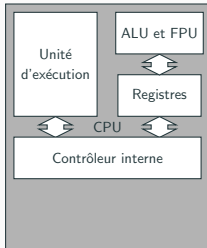
Webcam...

Casque

Micro

RAM

Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Écran/moniteur

Réseau filaire

Antenne WiFi

Disque dur

Lecteur optique

Imprimante

Souris

Clavier

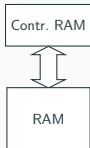
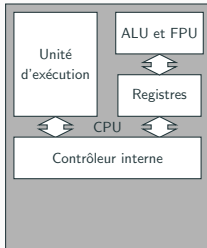
Clé USB

Webcam...

Casque

Micro

Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Écran/moniteur

Réseau filaire

Antenne WiFi

Disque dur
Lecteur optique

Imprimante

Souris

Clavier

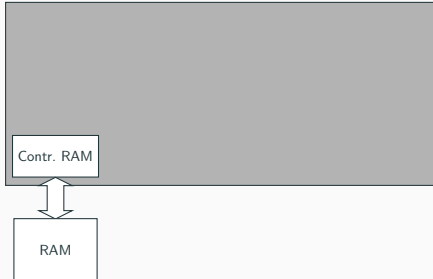
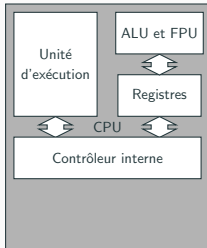
Clé USB

Webcam...

Casque

Micro

Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Écran/moniteur

Réseau filaire

Antenne WiFi

Disque dur
Lecteur optique

Imprimante

Souris

Clavier

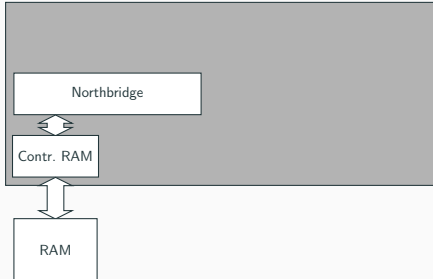
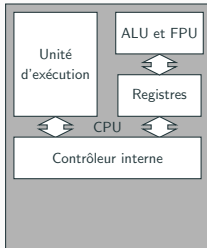
Clé USB

Webcam...

Casque

Micro

Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Écran/moniteur

Réseau filaire

Antenne WiFi

Disque dur
Lecteur optique

Imprimante

Souris

Clavier

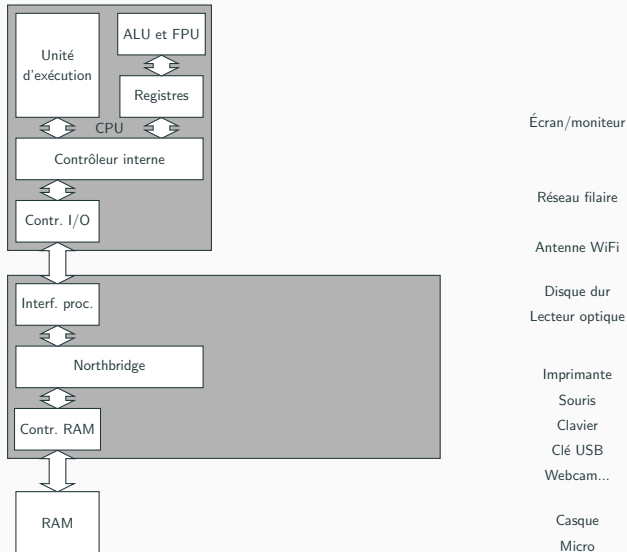
Clé USB

Webcam...

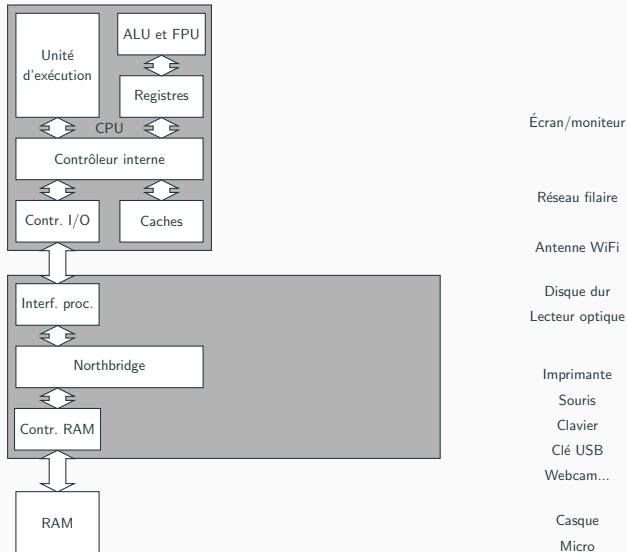
Casque

Micro

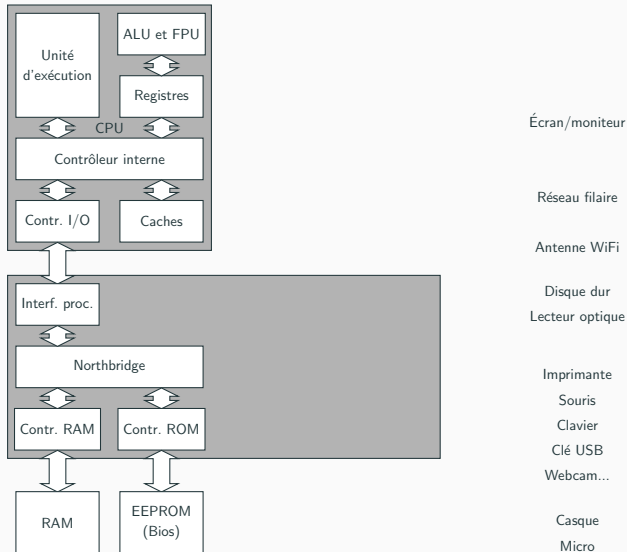
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



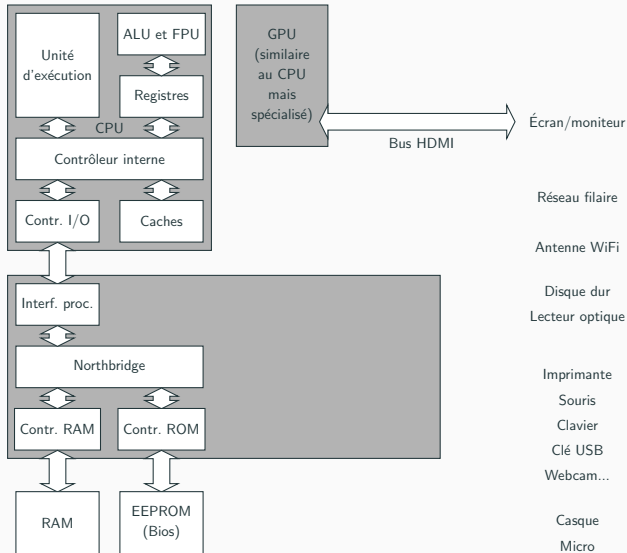
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



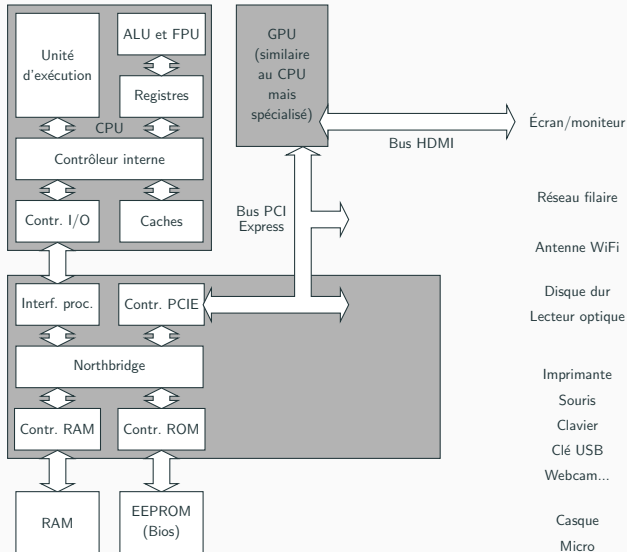
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



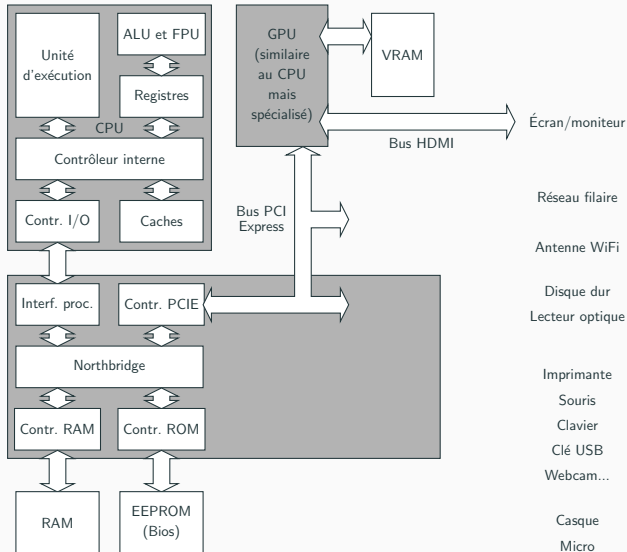
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



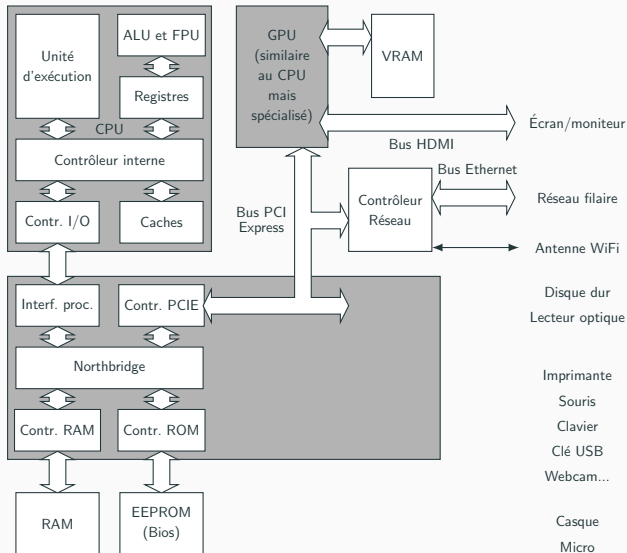
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



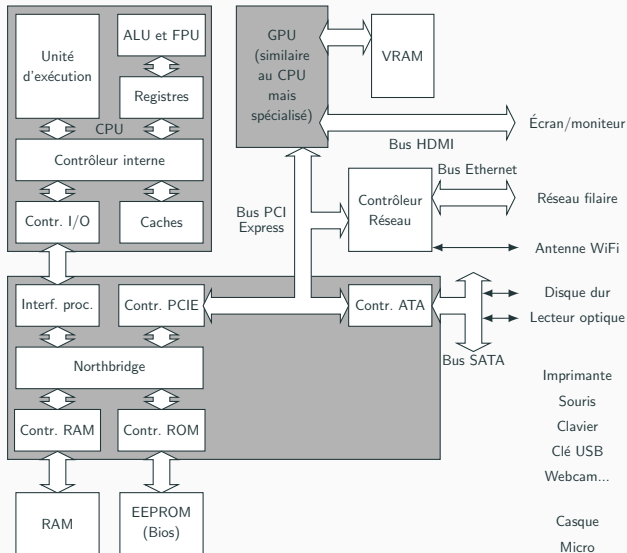
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



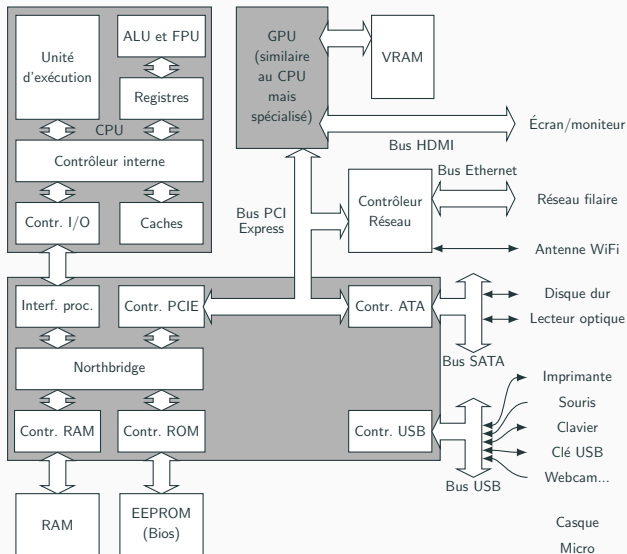
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



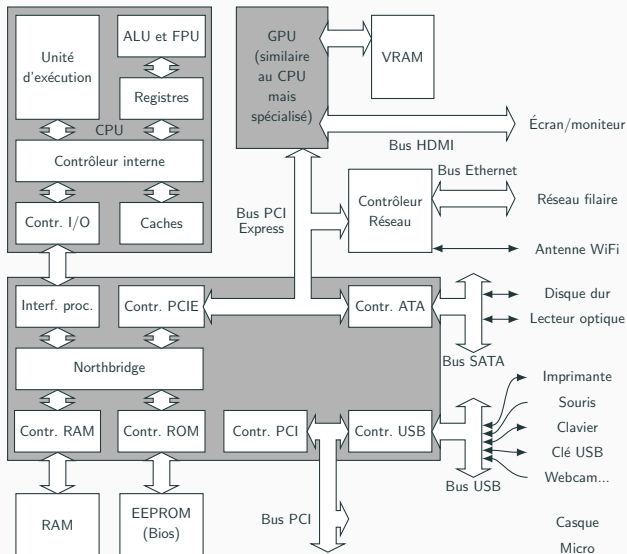
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



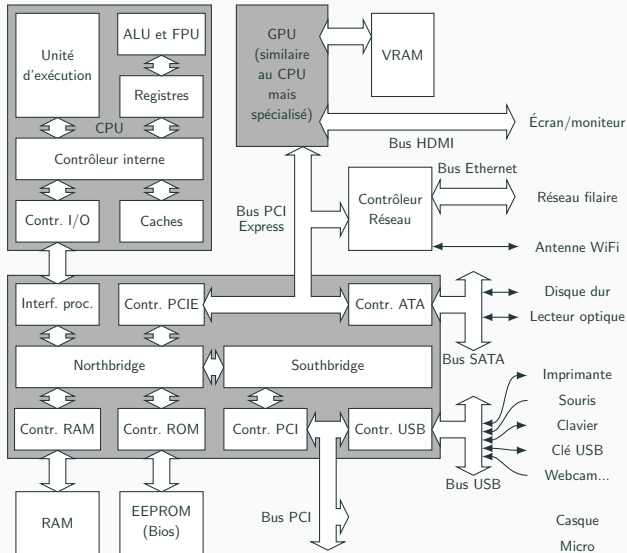
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



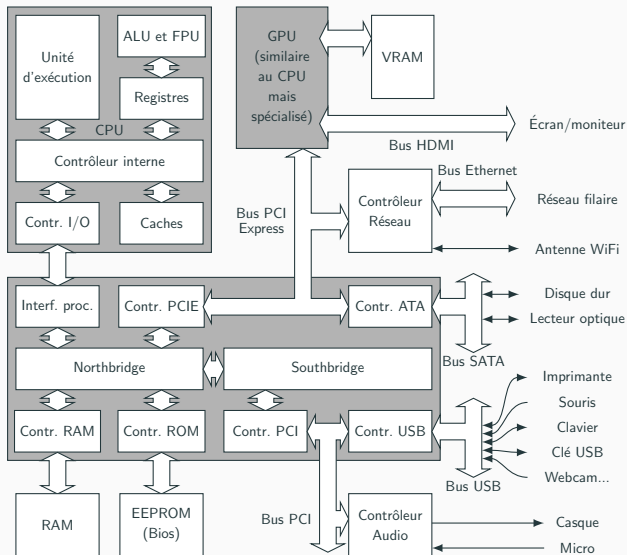
Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Structure (simplifiée) d'un ordinateur



Structure (simplifiée) d'un ordinateur



On dispose de nombreux endroits pour stocker des données :

Type de mémoire	Quantité	Temps d'accès
Registres	$\equiv 10 - 100$	$< 1 \text{ ns}$
Cache	$\equiv 10^5 \text{ octets}$	$\simeq 10 \text{ ns}$
Mémoire vive	$\equiv 10^9 \text{ octets}$	$\simeq 50 \text{ ns}$
Disques durs	$\equiv 10^{12} \text{ octets}$	$\simeq 5 \text{ ms}$
Réseau	$\equiv 10^{21} - 10^{24} \text{ octets}$	$\simeq 20 \text{ ms}$

Les temps d'accès correspondent ici à un accès aléatoire, ils peuvent diminuer fortement en cas de transferts séquentiels de données.

On peut distinguer différents types de mémoire, selon l'usage :

- la mémoire **vive**, accessible en lecture et en écriture, dans laquelle on range les données en cours de traitement et les programmes en cours d'exécution ;
- la mémoire **de masse**, qui sert d'espace de stockage à plus long terme ;
- la mémoire **morte** (ou ROM, *Read-Only Memory*), qui contient des données « immuables » comme la séquence d'amorçage de l'ordinateur.

Les types de mémoire

On peut aussi considérer la pérennité du stockage et distinguer :

- la mémoire **volatile**, dont les données disparaissent lorsque l'alimentation cesse ;

(certains technologies de mémoire nécessitent même un rafraîchissement périodique des données)

- la mémoire **rémanente**, dont les données sont préservées en cas de rupture de l'alimentation.

Généralement, la mémoire vive est volatile, tandis que la mémoire de masse est rémanente.

Organisation de la mémoire

La mémoire peut être vue comme un ensemble de « cellules » numérotées (leur « adresse ») pouvant contenir des valeurs numériques, des caractères, des instructions... :

adresse	mémoire
	⋮
49748	-103
49749	27
49750	-8
49751	101
49752	-121
49753	-46
49754	42
	⋮

Les types de mémoire

Les mémoires, enfin, diffèrent par la façon dont on accède aux données :

- les mémoires à **accès direct** (ou RAM, *Random Access Memory*) permettent un accès direct à n'importe quelle case ;
- les mémoires à **accès séquentiel** (ou SAM, *Sequential Access Memory*) imposent que l'on accède aux cases dans l'ordre.

La mémoire vive est virtuellement toujours à accès direct (même si avec certaines technologies des accès séquentiels peuvent être plus rapides), aussi le terme RAM désigne parfois abusivement la mémoire vive.

Transmettre les données

Les données se déplacent d'un point à un autre de l'ordinateur à travers des **bus**.

Le principe est le même qu'une lettre. On doit avoir :

- une donnée à transmettre ;
- un destinataire



Composantes d'un bus informatique

Un bus informatique regroupe donc :

- un bus de **données**, qui transmet la donnée proprement dite ;
- un bus d'**adresse**, qui indique le destinataire de la donnée ;
- un bus de **contrôle**, qui joue le rôle de chef d'orchestre et donne notamment le « top » pour la transmission.

On peut distinguer deux types de bus informatiques :

- les bus **parallèle**, où l'intégralité de l'adresse et de la donnée sont transmises d'un seul coup (port parallèle, bus ISA, PCI, P-ATA...);
- les bus **série**, où adresses et données sont transmises morceau par morceau (port série, USB, Firewire, PCI-Express, S-ATA...).

Avantages des bus série

Les bus série nécessitent nettement moins de cables.



Paradoxalement ils permettent souvent des débits plus élevés.

(les différents cables d'un bus parallèle, proches, se perturbent mutuellement, limitant le débit).