

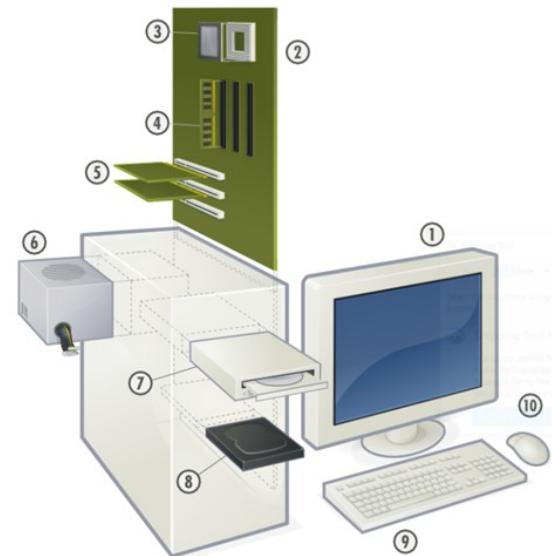
# Architectures Matérielles et Systèmes d'Exploitation

## Architecture von Neumann

### Différents constituants d'une machine<sup>1</sup>

- Identifier les **composantes matérielles** de l'ordinateur (**hardware**) sur ce schéma et compléter le tableau en indiquant le numéro correspondant et lesquelles sont des **périphériques d'entrée ou de sortie**.

Parties matérielles	No	Entrée	Sortie
Souris	(10)	✓	
Lecteur de disques (CD/DVD)	(7)	✓	
Mémoire vive (RAM)	(4)		
Processeur (CPU)	(3)		
Écran ou moniteur	(1)		✓
Disque Dur	(8)	✓	✓
Carte mère	(2)		
Clavier	(9)	✓	
Alimentation électrique	(6)		
Cartes sons, réseaux, etc.	(5)	✓	✓

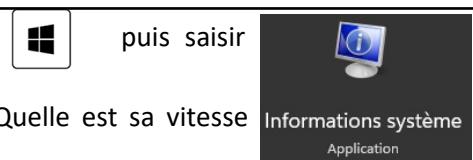


Un ordinateur est une machine qui sert à **traiter des informations**<sup>2</sup> grâce à des programmes. Il peut recevoir, stocker, modifier et afficher des informations.

- Recevoir l'information** : cela se fait avec des appareils appelés **périphériques d'entrée** comme le clavier, la souris, le micro, la webcam, le scanner ou l'écran tactile.
- Stocker l'information** : l'ordinateur utilise sa mémoire. La **mémoire de masse** (disque dur, clé USB...) garde les données même quand l'ordinateur est éteint. La **mémoire vive (RAM)** est utilisée pendant que l'ordinateur fonctionne et a besoin d'électricité.
- Transformer l'information** : c'est le rôle du **processeur (CPU)**. Il lit les instructions et fait les calculs nécessaires.
- Afficher le résultat** : l'information est envoyée vers des **périphériques de sortie** comme l'écran, l'imprimante ou les enceintes audio.

- Ouvrir les informations système de votre ordinateur (touche Windows « information système ») pour répondre aux questions suivantes.

Quel est le processeur de votre ordinateur ? Combien a t'il de coeurs ? Quelle est sa vitesse d'horloge ?



La réponse dépend de l'ordinateur, par exemple AMD Athlon PRO 300 GE , 2 coeurs, 3,4 GHz

Quelle est la taille de la mémoire vive indiquée dans « Mémoire Physique (RAM) installée » ?

La réponse dépend de l'ordinateur, par exemple 4 Go (Gbytes en anglais ! Ne pas confondre avec Gbits)

Quelles sont les caractéristiques du disque dur indiquées dans « Stockage/Disques » ?

La réponse dépend de l'ordinateur, par exemple 120 Go

1 On peut regarder la vidéo « Composants élémentaires (VF) » (<https://www.youtube.com/watch?v=7MPZqrcLvcw> )

2 Le mot informatique vient d'ailleurs de la contraction des mots information et automatique.

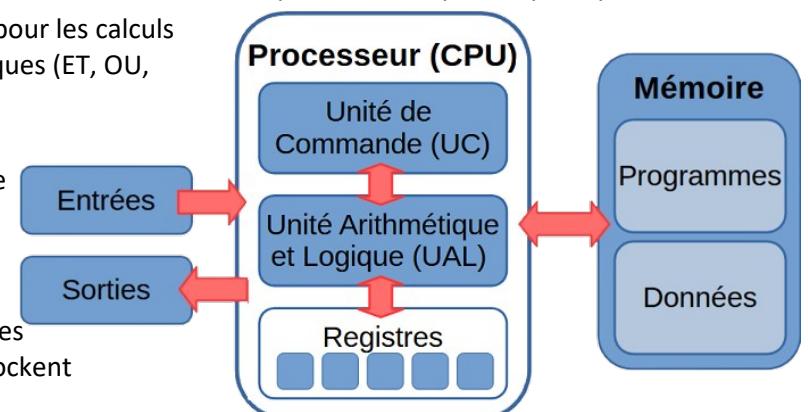
## L'architecture von Neumann

L'architecture de von Neumann, proposée par John von Neumann en 1945, est le modèle fondamental sur lequel reposent la plupart des ordinateurs actuels. Ce modèle révolutionnaire introduit le concept de programme enregistré : **les programmes et les données sont stockés dans la même mémoire.**

Selon le modèle d'**architecture de von Neumann**, un ordinateur s'articule autour de quatre parties distinctes :

1. **Le processeur ou CPU** : C'est le "cerveau" de l'ordinateur. Il se compose de deux parties principales :

- L'**unité arithmétique et logique (UAL)** pour les calculs arithmétiques (+, -, ×, ÷) et opérations logiques (ET, OU, NON, comparaisons) ;
- l'**unité de commande (UC)** coordonne et synchronise toutes les opérations, décode les instructions et gère le séquencement. Elle contient une horloge système qui rythme l'exécution ;
- ainsi que des **registres**, petites mémoires ultra-rapides intégrées au processeur qui stockent temporairement les données.

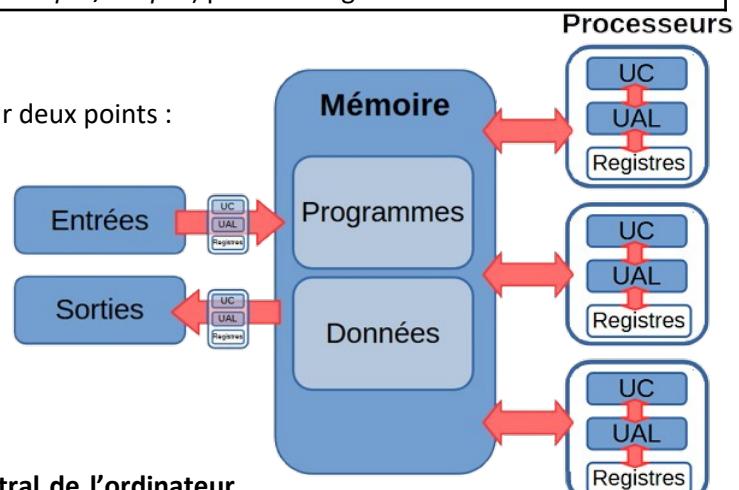


2. **la mémoire** où sont stockés ensemble les données et les programmes.
3. **des bus** qui sont des fils conduisant des impulsions électriques et qui relient les différents composants.
4. **des périphériques d'entrées-sorties (E/S ou I/O pour Input/Output)** pour échanger avec l'extérieur.

## Les architectures multiprocesseurs

Depuis, les ordinateurs ont beaucoup évolué, surtout sur deux points :

- Les entrées et sorties sont maintenant gérées par de petits processeurs spécialisés, comme la carte graphique, qui s'occupe de l'affichage.
- Les ordinateurs possèdent aujourd'hui plusieurs processeurs ou plusieurs **cœurs** dans un même processeur pour avoir plus de puissance sans augmenter la vitesse (une vitesse trop élevée fait chauffer le processeur).



Aujourd'hui, **la mémoire est devenue un élément central de l'ordinateur**, avec beaucoup d'échanges de données en même temps.

## Les périphériques d'entrée-sortie (E/S ou I/O)

Un **périphérique** est un matériel électrique pouvant être raccordé à un ordinateur par une **interface d'entrée-sortie** (VGA, HDMI, USB, RJ45, etc.), le plus souvent par l'intermédiaire d'un **connecteur** dédié.

Les interfaces d'entrées-sorties les plus usuelles sont :

- USB qui permet la connexion de périphériques reconnus par l'ordinateur sans le redémarrer ;
- RJ45 qui permet une connexion à un réseau filaire ;
- VGA ou HDMI qui permet la connexion à un écran ;
- SATA qui permet la connexion à un disque dur.

3. Associez chaque image de connecteur à son interface : HDMI    RJ 45    SATA    USB A    USB C    VGA.

RJ 45	HDMI	USB A	USB C	SATA		VGA

## L'unité de commande (UC) et le rôle de l'horloge

**L'unité de commande** ou unité de contrôle (**UC**) lit les instructions dans la mémoire les unes après les autres de façon séquentielle, cadencée par une **horloge**. L'unité est appelée un **cycle** d'horloge.

La **fréquence de l'horloge s'exprime en hertz (Hz)**, c'est le nombre d'opérations que fait le processeur par seconde.

Les processeurs modernes ont généralement une vitesse comprise entre 1 GHz (gigahertz) et 3,8 GHz, les modèles haut de gamme pouvant atteindre des vitesses encore plus élevées. Par exemple 3 GHz correspond à 3 milliards d'opération à la seconde. Mais la fréquence d'horloge n'est pas la seule donnée à prendre en compte pour comparer la performance des CPU.

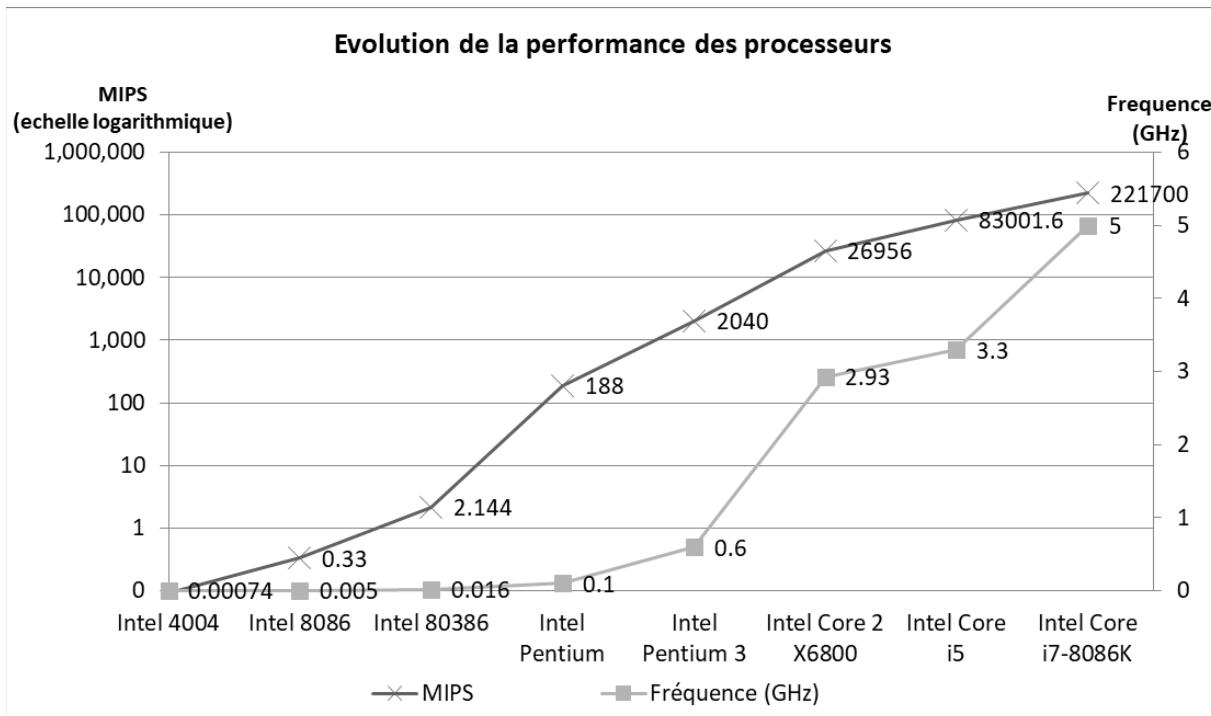
Dans un processeur RISC<sup>3</sup>, 5 cycles sont parfois nécessaires pour traiter une instruction. Pour gagner du temps, le processeur n'exécute pas toujours les instructions de façon séquentielle mais exécute simultanément plusieurs instructions qui sont à des étapes différentes de leur traitement.

La performance d'un processeur est souvent mesurée par le **nombre d'instruction par seconde (IPS)** : Il est obtenu en **multippliant la fréquence d'horloge du processeur (en Hz) par son nombre d'instructions par cycle (IPC)**.

On l'exprime généralement en million d'instructions par seconde (MIPS).

4. Calculez le nombre d'instructions par secondes (en MIPS) des processeurs de la table suivante<sup>4</sup> et tracer leurs évolutions (échelle logarithmique):

Processeur	Fréquence	IPC	année	MIPS
Intel 4004	0.74 MHz	0.124	1971	0.092
Intel 8086	5 MHz	0.066	1978	0.33
Intel 80386	16MHz	0.134	1985	2.15
Intel Pentium	100 MHz	1.88	1994	188
Intel Pentium 3	600 MHz	3.4	1999	2 054
Intel Core 2 X6800	2.93 GHz	9.2	2006	27 079
Intel Core i5	3.3 GHz	25.152	2011	83 000
Intel Core i7-8086K	5 GHz	44.34	2018	222 720



3 On distingue deux types d'architecture. Les processeurs CISC (*Complex Instruction Set Computer*) comme ceux d'Intel exécutent la plupart des instructions élémentaires en une période d'horloge, tandis qu'il faut généralement quatre ou cinq périodes d'horloge à un processeur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) comme ceux d'ARM pour le même résultat.

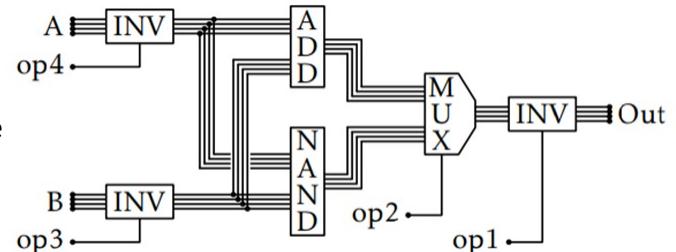
4 Source : [https://en.wikipedia.org/wiki/Instructions\\_per\\_second](https://en.wikipedia.org/wiki/Instructions_per_second)

## L'unité arithmétique et logique (UAL)

L'**Unité Arithmétique et Logique (UAL)** est la partie du processeur qui réalise les calculs et les opérations logiques élémentaires. Selon le processeur, cette unité peut réaliser des opérations plus ou moins complexes, sur des nombres plus ou moins longs.

Considérons par exemple une UAL simpliste<sup>5</sup> pouvant faire des opérations sur des nombres de 4 bits. Dans la suite, nous notons  $\bar{A}$  le complément à 1 de A (NOT A). L'architecture est la suivante :

- INV : renvoie A si  $op = 0$  et  $\bar{A}$  sinon.
- ADD : renvoie la somme des deux nombres.
- NAND : renvoie le résultat de l'opération logique NAND.
- MUX : renvoie A si  $op = 0$  et B sinon



Le code opération opcode est formé des 4 bits op4 à op1. Il sert à déterminer le type d'opération effectuée par l'UAL. Par exemple, avec l'opcode 0000, l'UAL réalise l'opération  $A + B$ .

5. Déterminez quelle opération réalise l'opcode 0010.

A NAND B

Bits	op4	op3	op2	op1
opcode	0	0	1	0

On remarque qu'il est possible pour l'UAL de faire des soustractions. En effet, par définition du complément à 2 :  $-A = \bar{A} + 1$ . Par conséquent  $\bar{A} = -A - 1$

Avec l'opcode 1001, l'UAL réalise donc  $\bar{A} + B$ , ce qui est équivalent à  $-\bar{A} - 1 + B = -(A + B - 1) - 1 = A - B$ .

6. Montrez que l'opcode 0101 permet de réaliser l'opération  $B - A$

$A + \bar{B} = -A - \bar{B} - 1 = -A - (-B - 1) - 1 = B - A$

## La mémoire

### Hiérarchie de la mémoire

On peut prendre pour analogie l'accès à une information écrite sur des feuilles de papiers qui se trouvent 1/ sur votre bureau, 2/ dans votre tiroir, 3/ dans le meuble d'archives dans la pièce voisine, et 4/ dans des cartons au sous-sol. Accéder à une information sur une feuille de votre bureau est bien plus rapide que de descendre au sous-sol, mais par contre il y a beaucoup moins de place sur votre bureau qu'au sous-sol. Il en va de même pour un ordinateur.

Il existe **plusieurs types de mémoire** dans un ordinateur et les différentes sortes de mémoires qui coexistent se distinguent par leur **capacité** et leur **vitesse**. En voici les principales :

- registre internes du processeur
  - mémoire cache du processeur (Static RAM)
  - mémoire centrale (Dynamic RAM)
  - supports de masse : disques durs, clé USB, etc.
- } RAM

Une mémoire est caractérisée par :

- Sa **capacité** : le volume d'informations que la mémoire peut stocker, par exemple une RAM de 1Go ou un disque dur de 1 To.
- Sa **vitesse** ou **temps d'accès** : l'intervalle de temps qui s'écoule entre la demande de lecture/écriture par le processeur et son exécution. L'accès à un **disque dur est des milliards de fois plus lent que l'accès au cache**.

5 La plupart des UAL ont des bits supplémentaires en sortie permettant de savoir s'il reste une retenue à la fin de la somme (overflow), si le résultat est négatif (les entiers sont représentés en complément à 2), s'il est égal à zéro

## Registres

Un registre est un emplacement de **mémoire interne à un processeur**. C'est la mémoire la plus rapide d'un ordinateur. Les registres sont utilisés pour stocker des opérandes et des résultats intermédiaires lors des opérations effectuées dans l'UAL (Unité Arithmétique et Logique) du processeur.

## Mémoire cache SRAM (*Static Random-access memory*) ou antémémoire

L'accès à la mémoire centrale n'est pas immédiat alors que les échanges entre le processeur et la mémoire sont nombreux. La **mémoire cache située à l'intérieur ou très près du processeur** fait l'intermédiaire entre les registres et la mémoire centrale pour stocker les mots de mémoire les plus utilisés.

## Mémoire centrale DRAM (*Dynamic Random-access memory*)

La mémoire centrale contient **le code et les données des programmes exécutés** par le processeur.

La capacité de la mémoire centrale d'un ordinateur personnel actuel est de 8Go à 16Go. La RAM se présente sous forme de barrettes, un circuit imprimé de forme rectangulaire enfichable sur la carte mère et qui comporte sur ses deux faces des puces mémoires.



Barrettes de mémoire DRAM

## Mémoire de masse

La mémoire de masse désigne **les moyens de stockage permanent de grande capacité** qui permettent de mémoriser de l'information après l'arrêt de l'ordinateur, par exemple les disque durs, clé USB, DVD, etc. Elle est accessible en lecture et écriture et s'apparente à un périphérique d'entrée/sortie. La capacité est mesurée en giga à téraoctets.

- Disque dur magnétique : Constitué de plateaux métalliques recouvert d'une matière magnétisable.
- Le disque SSD : Constitué de **mémoires flash**, il est moins fragile et plus silencieux qu'un disque magnétique.
- Clé USB : Support de masse amovible qui se branche sur l'interface USB et contient de la **mémoire flash**.



**Registres**  
32 ou 64 bits  
1 nanoseconde

**Mémoires caches**  
Quelques Ko  
5 nanoseconde

**Mémoires centrales**  
Quelques Go  
10 nanoseconde

**Mémoires de masse**  
Jusqu'à plusieurs To  
5 millisecondes

Interne au CPU

Intégrés au CPU  
ou très proche

Barrettes de RAM  
sur la carte mère

Disques durs, SSD,  
clé USB, etc.

Mémoires volatiles

Au plus près du CPU

Mémoires permanentes

Capacité croissante - Vitesse décroissante

Au plus loin du CPU

## Mémoire morte ou ROM (*Read Only Memory*)

Il existe aussi la mémoire morte ou ROM qui joue un rôle un peu à part. Permanente et accessible principalement en lecture, elle est utilisée pour stocker les informations nécessaires au **démarrage d'un ordinateur** (BIOS).

7. Le temps d'accès à une mémoire centrale est de 20 nanosecondes. Combien d'information le processeur peut obtenir par seconde ? Le processeur est cadencé à 1 GHz, combien d'opérations peut-il effectuer par seconde ? Comment est gérée cette différence ?

Une mémoire centrale dont le temps d'accès est 20 ns fournit  $1 / 20 \times 10^{-9} = 5 \times 10^7$  informations par seconde.

Le processeur peut effectuer  $10^9$  actions par seconde. La mémoire cache entre le processeur et la mémoire centrale permet de gérer cette différence.

8. Franck a une clé USB de capacité 8 Go. Il a stocké trois fichiers sur sa clé, de tailles respectives : 1,87 Go ; 4096 Mo et 300 Mo. Il donne sa clé à Manuel pour lui copier un film de 2 Go. Est-ce que Manuel pourra copier le film?

Non.  $1,87 + 4,096 + 0,3 = 6.266$ . Il reste moins de 2 Go de libre sur la clé.

9. Indiquez les caractéristiques qui s'appliquent à chaque support de stockage :

Supports de stockage	Caractéristiques	
	Volatile ou Permanent	Lecture/Ecriture ou Lecture seule
ROM	Permanent	Lecture seule
Registre	Volatile	Lecture/Ecriture
RAM	Volatile	Lecture/Ecriture
Disque dur	Permanent	Lecture/Ecriture
Clé USB	Permanent	Lecture/Ecriture

### Unité de mémoire

L'unité de base de mesure de la mémoire est l'**octet** (égal à 8 bits) et les préfixes usuels (**kilo**, **méga**, **giga**, etc.) sont couramment utilisés.

Cependant, ces derniers sont liés à la base 10 et en réalité assez mal adaptés à un univers de la base 2. C'est pourquoi ont été inventés des préfixes spécifiques à la mesure de la mémoire informatique. Partant du principe que  $10^3 \approx 2^{10}$ , on utilise les préfixes **kibi**, **mébi**, **gibi**, etc. dont la définition est donnée ci-dessous.

Nom	Valeur théorique
1 ko (kilooctet)	$10^3 = 1\ 000$ octets
1 Mo (mégoctet)	$10^6 = 1\ 000\ 000$ octets
1 Go (gigaoctet)	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$ octets
1 To (téraoctet)	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$ octets

Nom	Valeur théorique
1 kio (kibioctet)	$2^{10} = 1\ 024$ octets
1 Mio (mébioctet)	$2^{20} = 1\ 048\ 576$ octets
1 Gio (gibioctet)	$2^{30} = 1\ 073\ 741\ 824$ octets
1 Tio (tébioctet)	$2^{40} = 1\ 099\ 511\ 627\ 776$ octets

Même si ces notations sont assez anciennes (1998), nombreux sont les informaticiens et logiciels à utiliser encore kilo, méga et giga-octets pour désigner en réalité des kibi, mébi et gibi-octets, par exemple ici Windows Disk Manager utilise Go pour Gio.

Type :	Disque local	
Système de fichiers :	NTFS	
Espace utilisé :	85 455 966 208 octets	79,5 Go
Espace libre :	65 989 451 776 octets	61,4 Go
	151 445 417 984 octets	141 Go

11. Un constructeur donne la capacité d'un disque dur de « 8 To ». Calculez la capacité qui sera affiché par un ordinateur exprimée en Tio.

$8 \times 10^{12} / 2^{40} = 7,27$  Tio mais l'ordinateur affichera sans doute « 7.27 To » !

Exemple d'affichage en Go pour Gio

### Bus de communication

Lorsque le processeur exécute un programme il doit pouvoir communiquer avec les autres composants de la machine, notamment avec la mémoire centrale pour lire les instructions du programme ou avec les périphériques pour recueillir des données. Ce sont les bus de l'ordinateur qui permettent cette communication.

Un **bus** est un composant électronique qui permet à différents composants d'échanger des informations. Il peut être vu comme un ensemble de fils permettant de véhiculer de l'information sous forme de bits.

La **bande passante** représente le nombre d'octets véhiculés par seconde par le bus, en Mo/s.

12. Calculez la bande passante d'un bus de largeur 32 bits cadencé à une vitesse de 33Mhz

$$32 \times 33 \times 10^6 = 132 \text{ Mo/s}$$

Il existe, sans entrer dans les détails, 3 grands types de bus :

- Le bus d'adresse permet de faire circuler des adresses (par exemple l'adresse d'une donnée à aller chercher en mémoire).
- Le bus de données permet de faire circuler des données.
- Le bus de contrôle permet de spécifier le type d'action (écriture d'une donnée en mémoire, lecture d'une donnée en mémoire, etc).

