

# *Électronique et Composants de Systèmes - ECoSys*

---

**Dr. Djilali IDOUGHI**

*Département de Mathématique Informatique MI*

*Faculté des Sciences Exactes*

*Université A. Mira de Bejaia*

[www.ecosys-mi.weebly.com](http://www.ecosys-mi.weebly.com)

# *Électronique et Composants de Systèmes*

---

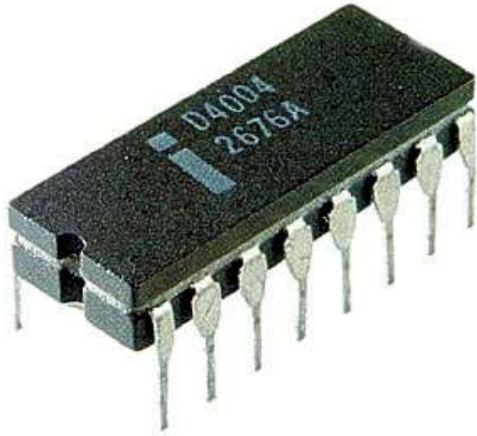
## Chapitre 3. Le processeur

# 1. DESCRIPTION

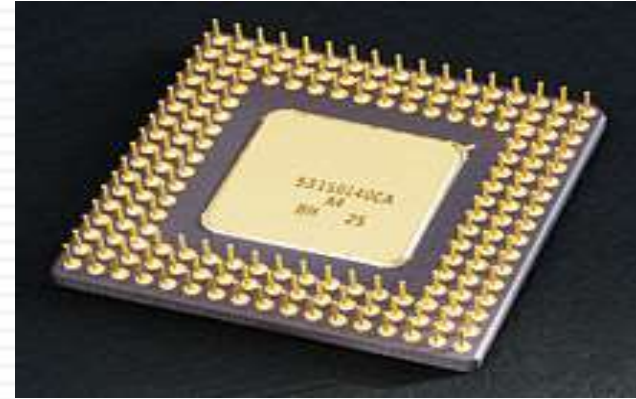
---

- Un processeur
  - Unité Centrale de Traitement, UCT,
  - Central Processing Unit, CPU)
  - est un composant présent dans de nombreux dispositifs électroniques qui exécute les instructions machine des programmes informatiques.
- Un **microprocesseur** est
  - un processeur dont tous les composants ont été suffisamment **miniaturisés** pour être regroupés dans un unique boîtier.
- L'invention du transistor en 1948 a ouvert la voie à la miniaturisation des composants électroniques.
- Les circuits intégrés ont permis la miniaturisation des processeurs.

# 1. DESCRIPTION



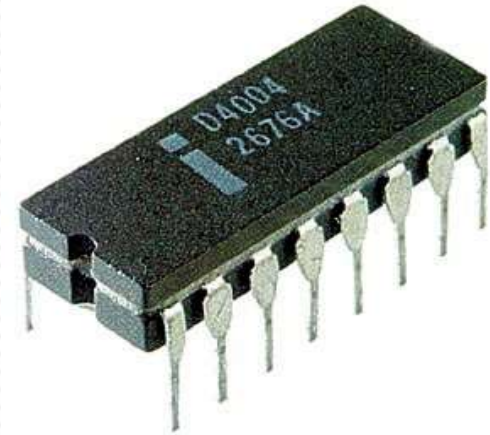
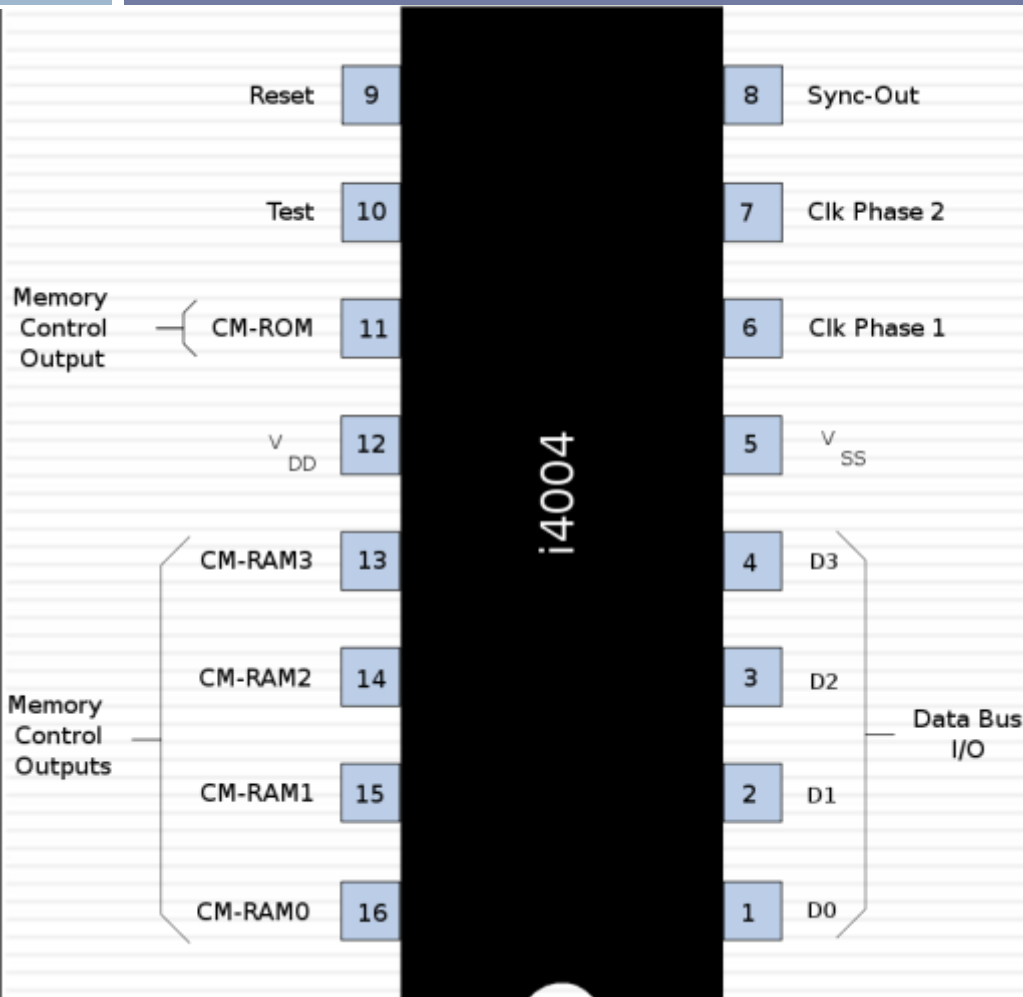
Un Intel 4004 dans son boîtier à 16 broches.



Intel 80486DX2 microprocesseur



# 1. DESCRIPTION



Un Intel 4004 dans son boîtier à 16 broches.



# 1. DESCRIPTION

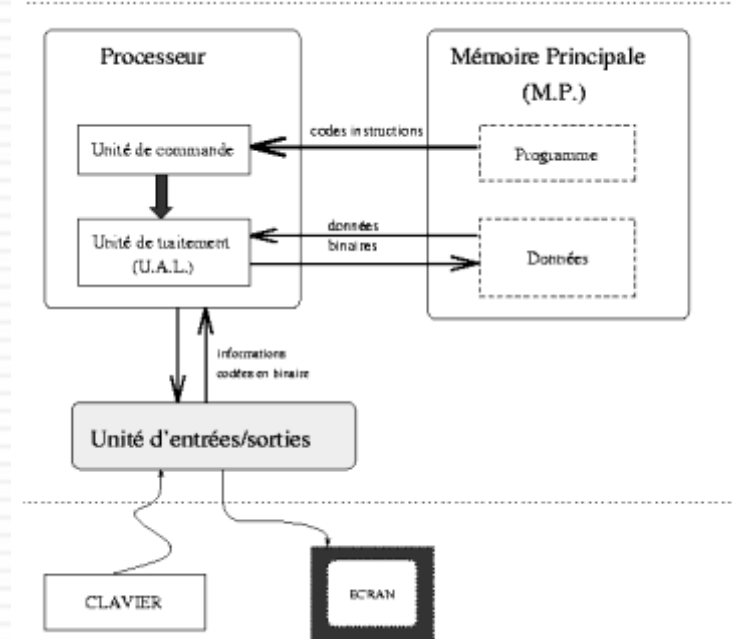
- Leur création a pour origine les travaux de **John von Neumann**,
- 1971 : 1<sup>er</sup> microprocesseur (Intel 4004), 4 bits, cadencé à 108 kHz
- 1974 : 1<sup>er</sup> microprocesseur employé couramment (Intel 8080)
- Les microprocesseurs sont construits avec un très petit nombre de circuits très fortement intégrés (**ULSI** : Ultra Large Scale Integration): une échelle d'intégration définissant le nombre (de 100 000 et plus) de portes logiques dans un circuit intégré.
- Les microprocesseurs sont implémentés sur une seule puce électronique de dimensions réduites (temps de commutation plus courts)
- À mesure que la capacité à fabriquer des transistors extrêmement petits sur un circuit intégré a augmenté, la complexité et le nombre de transistors dans un seul processeur ont considérablement crû.

# 1. DESCRIPTION

- Les processeurs multi cœurs (multicores) récents comportent maintenant plusieurs cœurs dans un seul circuit intégré.
- Leur efficacité dépend grandement de la topologie d'interconnexion entre les cœurs.
- Le processeur est un circuit électronique cadencé au rythme d'une horloge interne, grâce à un cristal de quartz qui, soumis à un courant électrique, envoie des impulsions, appelées « top ».
- La fréquence d'horloge (appelée également cycle, correspondant au nombre d'impulsions par seconde, s'exprime en Hertz (Hz).
- Ainsi, un ordinateur à 200 MHz possède une horloge envoyant 200 000 000 de battements par seconde.

## 2. COMPOSITION D'UN PROCESSEUR

- Un processeur est constitué d'un ensemble d'unités fonctionnelles reliées entre elles:
  - (1) une unité de contrôle ou de commande,
  - (2) une unité d'entrée-sortie,
  - (3) des registres,
  - (4) une horloge.





### 3. UNITÉ ARITHMÉTIQUE ET LOGIQUE : UAL

- L'UAL est un circuit logique chargé d'exécuter les opérations élémentaires permettant les traitements effectués par l'ordinateur.
- L'UAL reçoit des instructions de l'unité de commande, et peut lire et écrire en mémoire.
- L'unité arithmétique et logique réalise les **opérations élémentaires** (addition, soustraction, multiplication, . . .)
- L'UAL regroupe **les circuits** qui assurent les fonctions logiques et arithmétiques de bases ( ET, OU, ADD, SUS,.....).

### 3. UNITÉ ARITHMÉTIQUE ET LOGIQUE : UAL

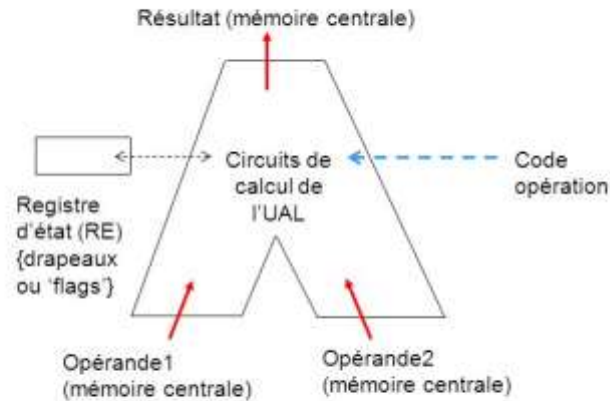
- Les registres sont des petites mémoires internes très rapides, pouvant être accédée facilement.
- Un plus grand nombre de registres permettront au processeur d'être plus indépendant de la mémoire.
- L'UAL comporte un **registre accumulateur** ( ACC ) : c'est un registre de travail qui sert à stocker un opérande (données) au début d'une opération et le résultat à la fin.

### 3. UNITÉ ARITHMÉTIQUE ET LOGIQUE : UAL

- L'UAL comporte aussi un **registre d'état** :
  - Ce registre nous indique l'état du déroulement de l'opération .
  - Ce registre est composé d'un ensemble de **bits**.
  - Ces bits s'appellent **indicateurs** (drapeaux ou flags).
  - Ces indicateurs sont mis à jours ( modifiés ) après la fin de l'exécution d'une opération dans l'UAL.
- Les principaux indicateurs sont :
  - **Retenue** : ce bit est mis à 1 si l'opération génère une retenue.
  - **Signe** : ce bit est mis à 1 si l'opération génère un résultat négatif.
  - **Débordement** : ce bit est mis à 1 s'il y a un débordement.
  - **Zero** : ce bit est mis à 1 si le résultat de l'opération est nul.

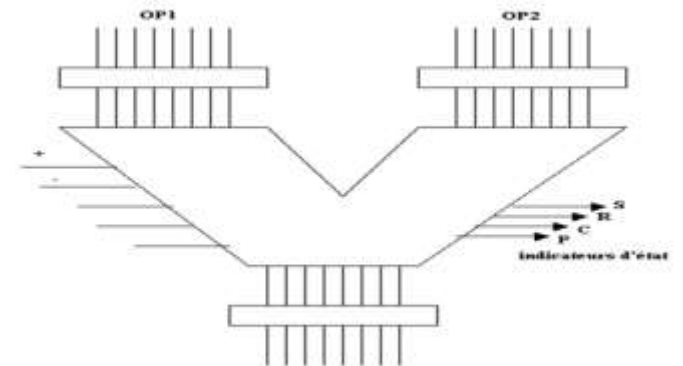
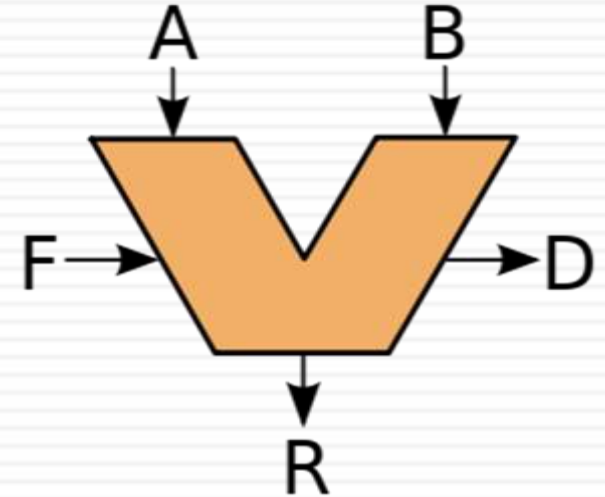
# 3. UNITÉ ARITHMÉTIQUE ET LOGIQUE : UAL

## Unité arithmétique et logique (UAL)



**Nécessite instructions de calcul à 3 adresses mémoire  
(=> mots très longs) :**

code\_opération + adresse\_opérande1 + adresse\_opérande2 + adresse\_résultat



# UAL : Rappel

⇒ Unité chargée

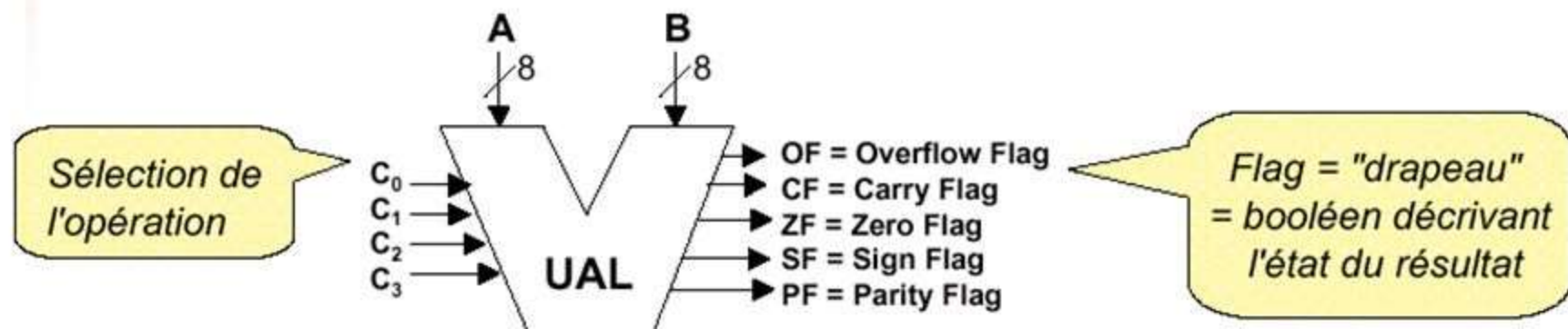
⇒ Des opérations arithmétiques :

⇒ ADD (+), SUB (-), MUL (\*), DIV (:), INC (+ 1), DEC (- 1)

⇒ Des opérations logiques :

⇒ AND, OR, XOR, NOT, CMP

⇒ LSL, LSR, ASR (décalages)



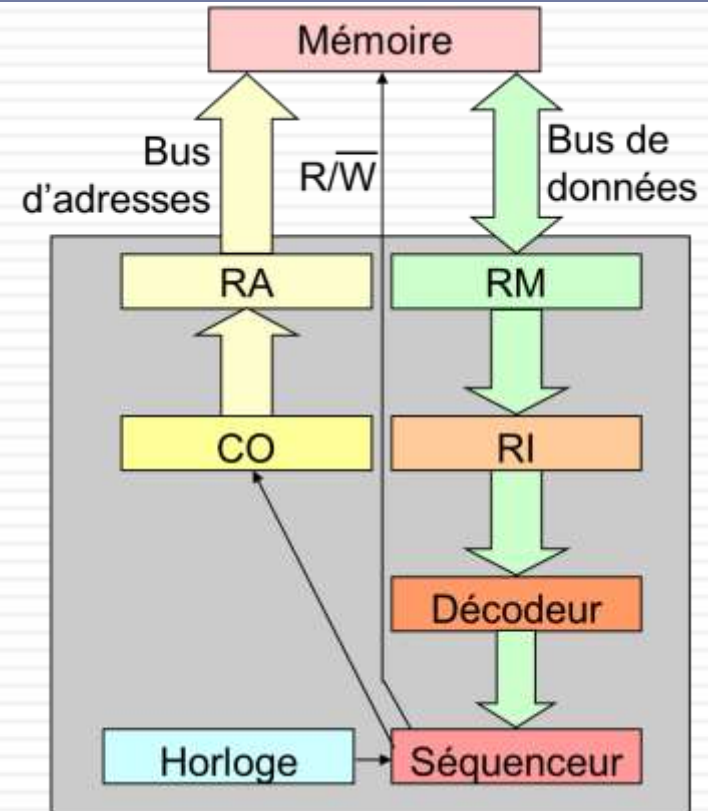
## 4. UNITÉ DE COMMANDE

- Le rôle de l'unité de contrôle (ou unité de commande ) est de :
  - **coordonner** le travail de toutes les autres unités ( UAL , mémoire,... )
  - et d'assurer la **synchronisation** de l'ensemble.
- Elle assure :
  - la **recherche** ( lecture ) de l'instruction et des données à partir de la mémoire,
  - le **décodage** de l'instruction et l'exécution de l'instruction en cours
  - et **prépare** l'instruction suivante.

## 4. UNITÉ DE COMMANDE

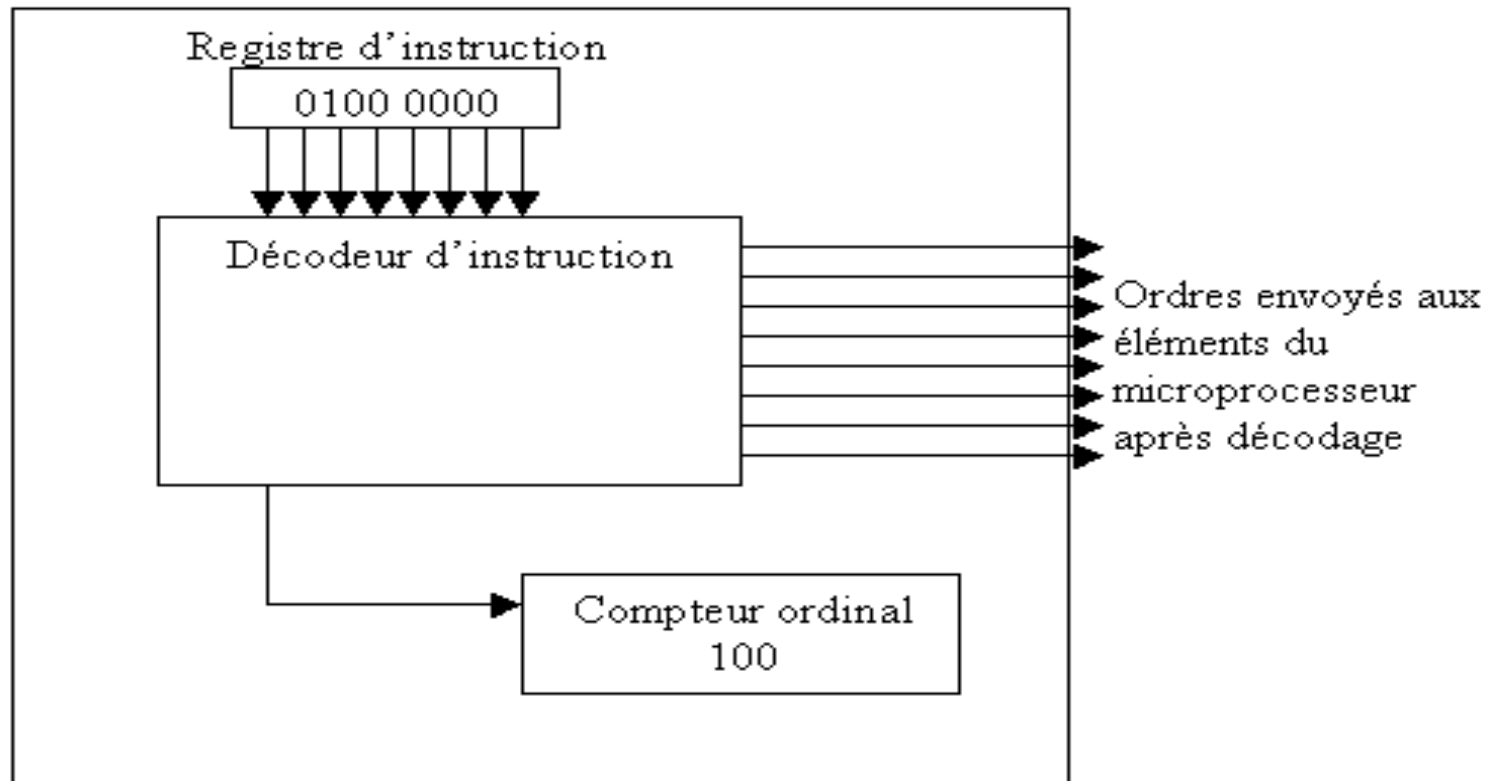
L'unité de contrôle comporte :

- Un **registre instruction** (RI) : contient l'instruction en cours d'exécution. Chaque instruction est décodée selon son code opération grâce à un décodeur.
- Un registre qui s'appelle **compteur ordinal** (CO) ou le **compteur de programme** (CP) : contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter (pointe vers la prochaine instruction à exécuter). Initialement il contient l'adresse de la première instruction du programme à exécuter.
- Un **séquenceur** : il organise (synchronise) l'exécution des instructions selon le rythme de l'horloge, il génère les signaux nécessaires pour exécuter une instruction.



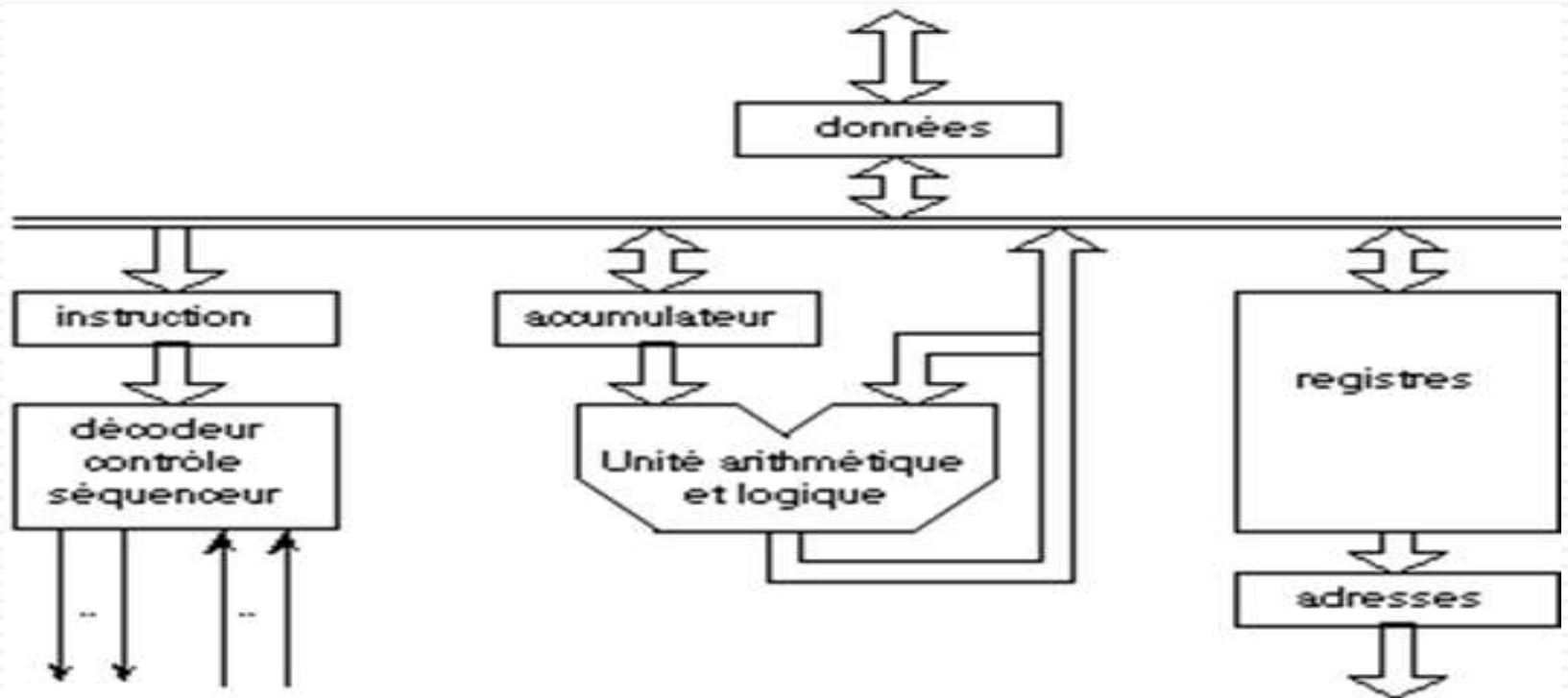
## 4. UNITÉ DE COMMANDE

### Unité de Commande et de Contrôle

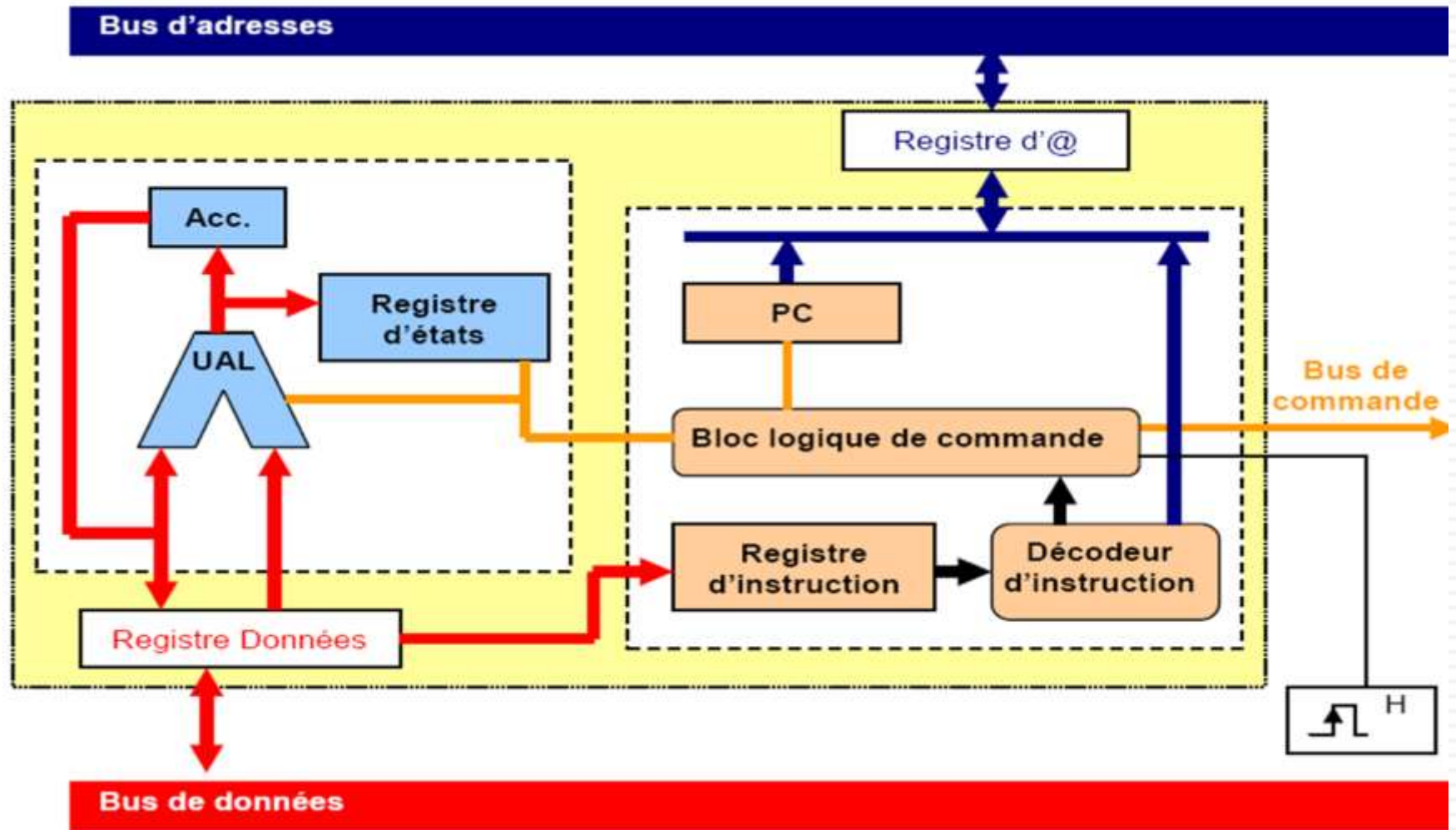




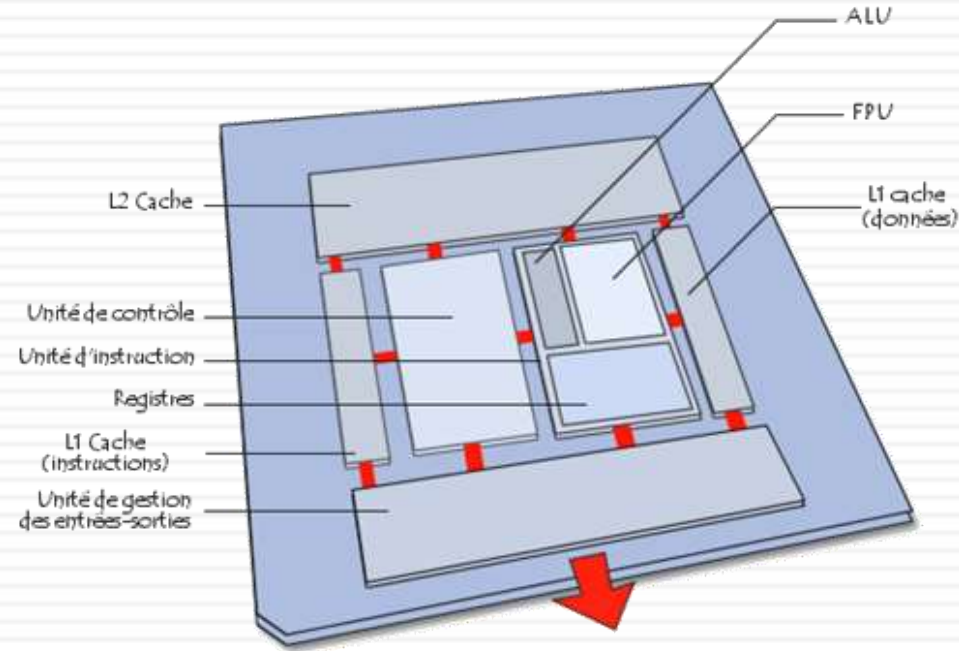
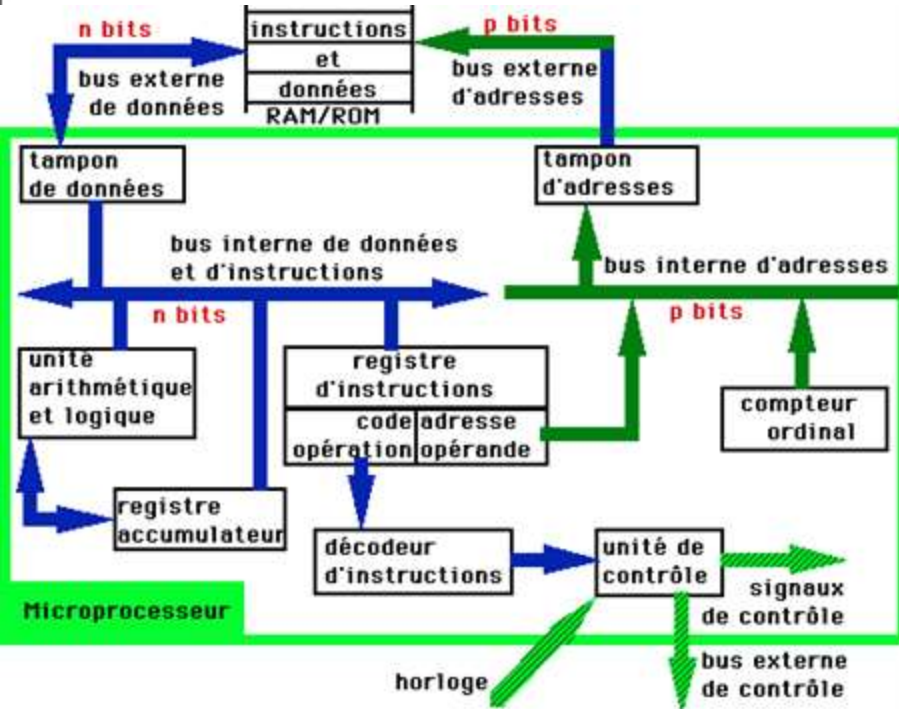
## 5. ILLUSTRATION SCHEMATIQUE UC



# 5. ILLUSTRATION SCHEMATIQUE UC

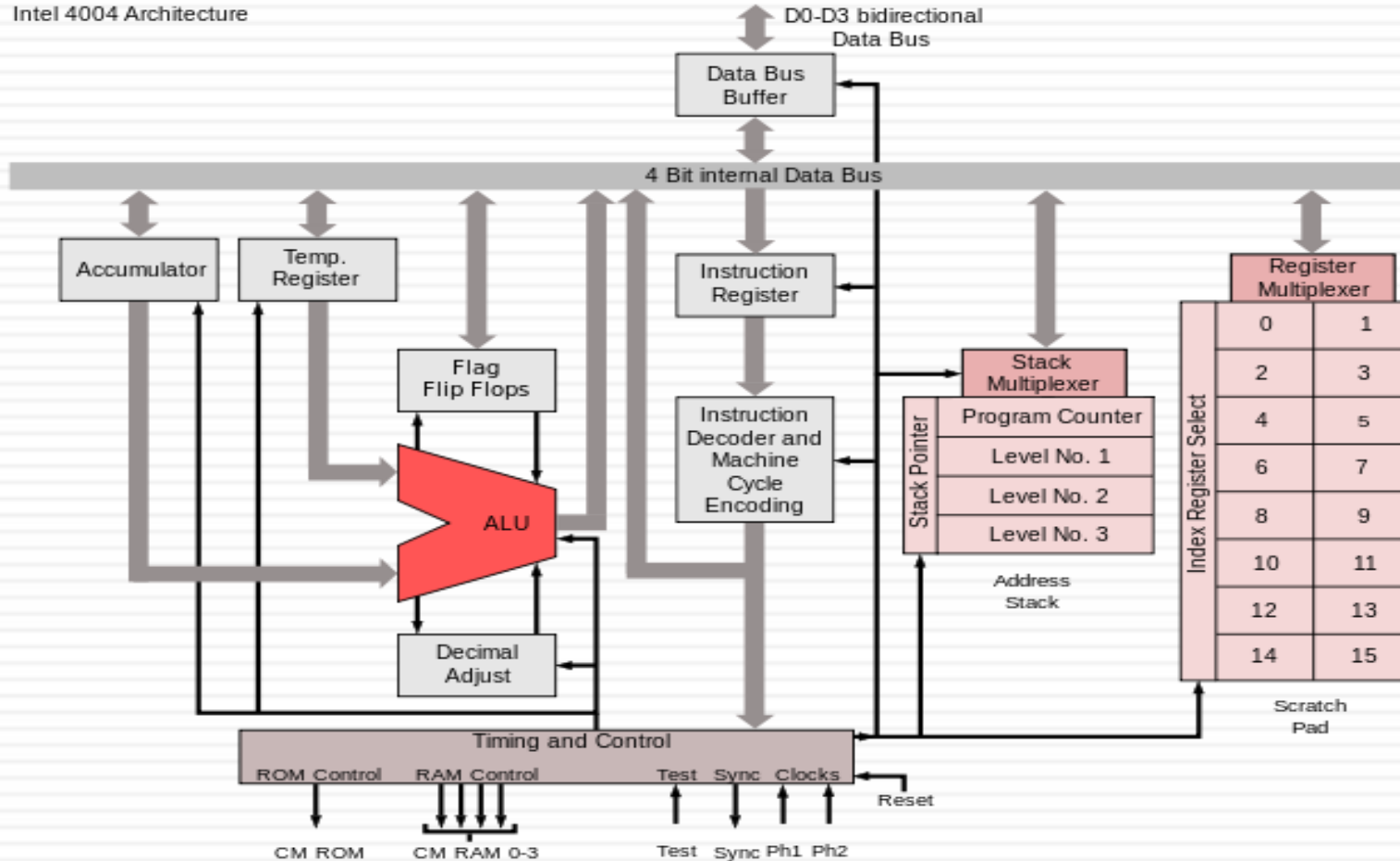


# 5. ILLUSTRATION SCHEMATIQUE UC

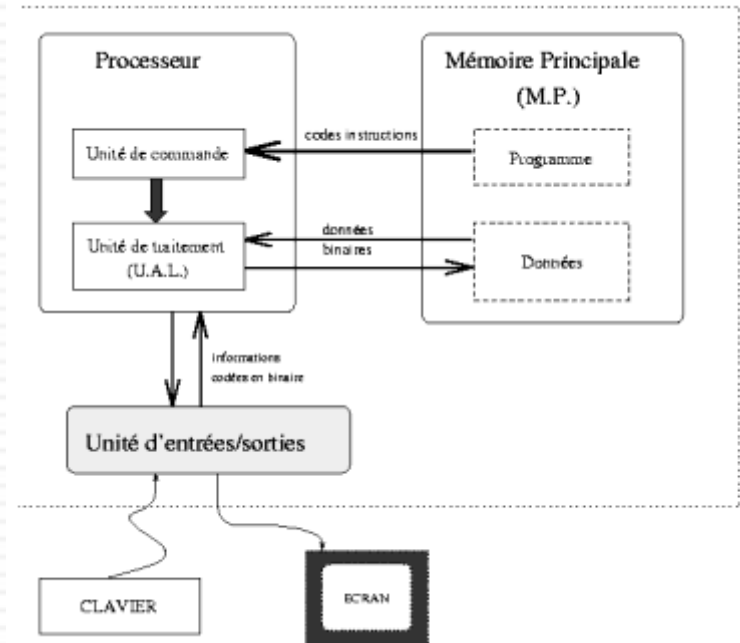
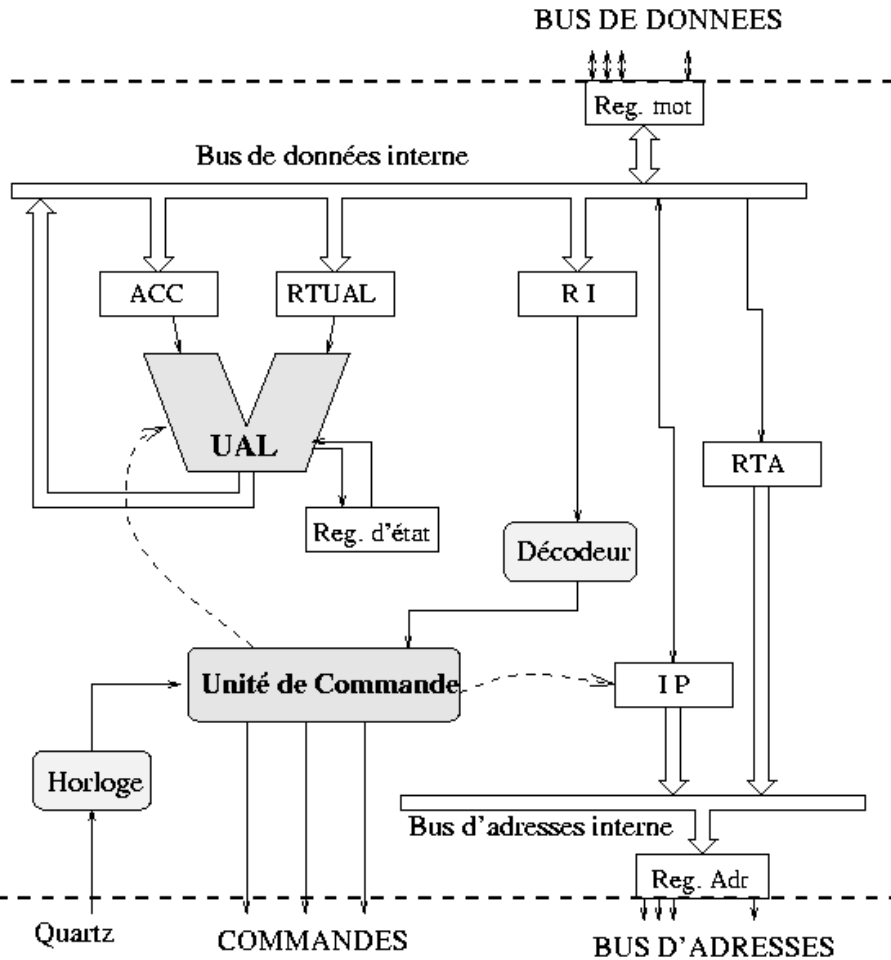


# 5. ILLUSTRATION SCHEMATIQUE UC

Intel 4004 Architecture

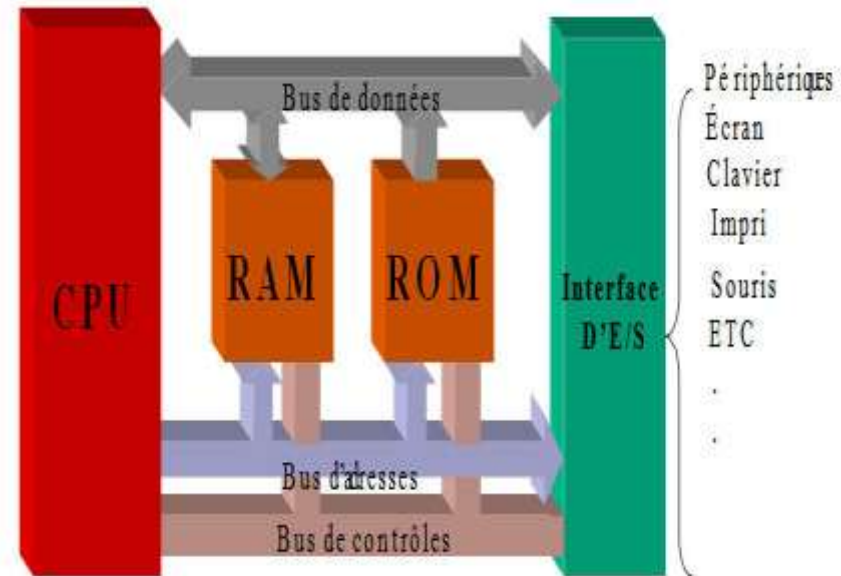


# 5. ILLUSTRATION SCHEMATIQUE UC

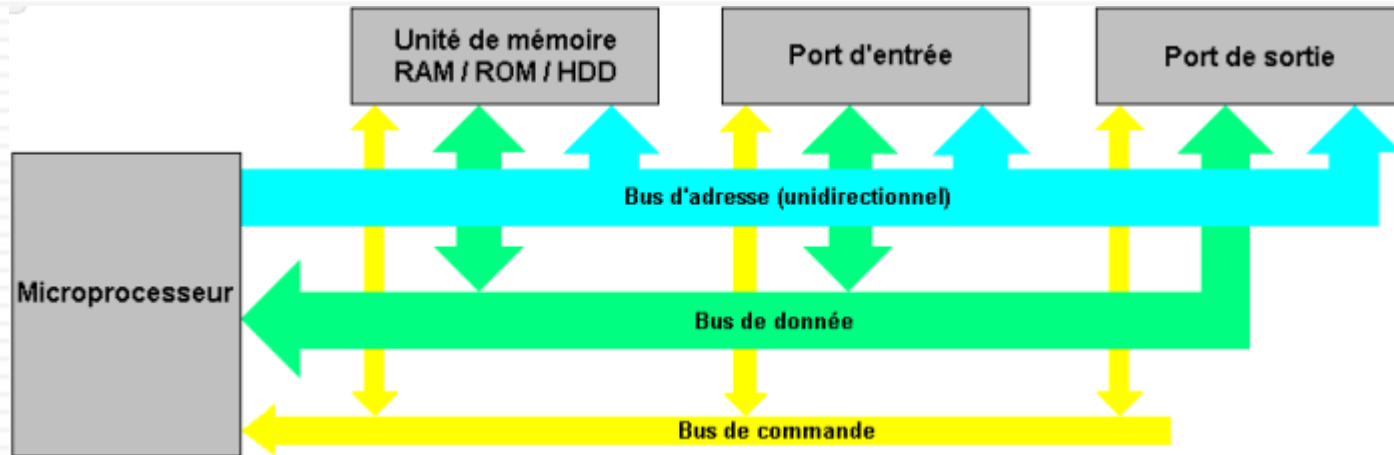


## 6. LES BUS INFORMATIQUES

- Un processeur possède aussi trois types de bus :
  1. bus de données, qui définit la taille des données pour les entrées–sorties, dont les accès à la mémoire (indépendamment de la taille des registres internes) ;
  2. bus d'adresse, qui permet, lors d'une lecture ou d'une écriture, d'envoyer l'adresse où elle s'effectue, et donc définit le nombre de cases mémoire accessibles ;
  3. bus de contrôle, qui permet la gestion du matériel, via les interruptions.



## 6. LES BUS INFORMATIQUES



## 7. LES REGISTRES

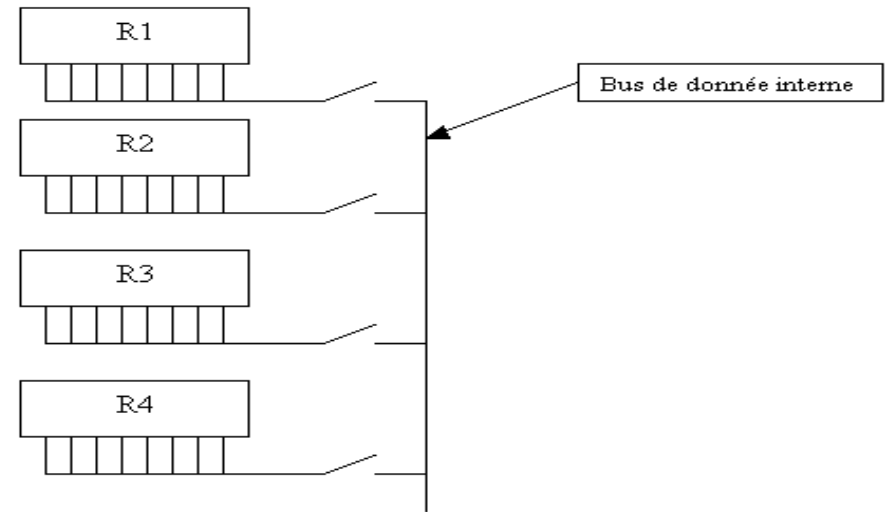
---

- Un registre est une zone de mémoire vive très rapide situé dans le microprocesseur.
- Ils sont utilisés pour stocker les informations nécessaires aux traitements.
- En fait, ils permettent à l'unité de traiter des données sans avoir accès à la mémoire.



# 7. LES REGISTRES

- Il existe plusieurs type de registre dans le microprocesseur.
- Les registres de données
- Les registres d'état
- Les registres pointeurs



représentation schématique des registres

## 8. LES REGISTRES DE DONNÉES

---

- Ils servent de mémoire temporaire pour les calculs.
- Les principaux permettent de stocker les résultats de façon temporaire.
- La majorité des calculs effectués par le microprocesseur utilisent ces registres.
- Les échanges entre les registres et l'UAL se font grâce au bus de données interne au microprocesseur.
- Dans les microprocesseurs x86 d'Intel, les registres de données sont nommés **AL, BL, CL, DL, AX, BX, CX, DX**

## 9. LES REGISTRES D'ETAT

---

- Il regroupe les Flags ou indicateurs d'état.
- Ces indicateurs sont mis à 0 ou 1 en fonction du résultat de l'opération qui vient d'être exécutée.
- Voici deux indicateurs dans le registre d'état :
- Le bit d'état Z (zéro) est positionner à 1 quand le résultat d'un opération est nul.
- Le bit de signe S vaut 1 quand le résultat d'un opération est négative, sinon il vaut 0.

## 10. LES REGISTRES POINTEURS

---

- Ce sont des registres particuliers utilisé par le microprocesseur pour stocker des adresses de valeurs en mémoire centrale.
- Par exemple dans le microprocesseur 8088 de Intel les registres sont nommé DI, SI, BX et BP.
- Le compteur ordinal est le registre de type pointeur le plus important de l'ordinateur car il contient l'adresse mémoire de la prochaine instruction qui doit être exécutée.

# 11. JEU D'INSTRUCTIONS

- Chaque microprocesseur possède un certain nombre limité d'instructions qu'il peut exécuter. Ces instructions s'appellent jeu d'instructions.
- Le jeu d'instructions décrit l'ensemble des opérations élémentaires que le microprocesseur peut exécuter.
- Les instructions peuvent être classifiées en 4 catégories :
  - Instruction d'affectation : elle permet de faire le transfert des données entre les registres et la mémoire
    - Écriture : registre → mémoire
    - Lecture : mémoire → registre
  - Les instructions arithmétiques et logiques ( ET , OU , ADD,....)
  - Instructions de branchement ( conditionnelle et inconditionnelle )
  - Instructions d'entrées sorties.

# 11. JEU D'INSTRUCTIONS

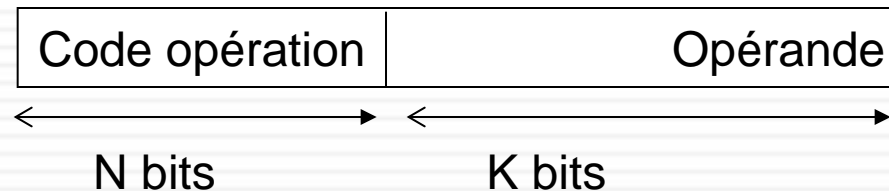
une instruction comporte généralement :

- le temps de chargement de l'instruction (fetch),
- le temps de décodage de l'instruction,
- le temps de chargement des opérandes et de calcul de leur adresse effective,
- le temps d'exécution proprement dit.
- le temps d'écriture du résultat (writeback).

# 11. JEU D'INSTRUCTIONS

## Codage d'une instruction

- Les **instructions et leurs opérandes** ( données ) sont stocké dans la mémoire.
- La taille d'une instruction ( nombre de bits nécessaires pour la représenter en mémoire ) dépend du type de l'instruction et du type de l'opérande.
- L'instruction est découpée en deux parties :
  - **Code opération** ( code instruction ) : un code sur N bits qui indique quelle instruction.
  - **La champs opérande** : qui contient la donnée ou la référence ( adresse ) à la donnée.



## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

---

- Un microprocesseur se caractérise par :
  - La taille des données traitées
  - La fréquence d'horloge
  - Les MIPS
  - Les FLOPS
  - La fréquence du FSB
  - La taille des transistors
  - La puissance dissipée par les transistors



## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

- **LA TAILLE DES DONNÉES TRAITÉES**

- En générale, elle est précisée en bits.
- 8, 16, 32, 64 bits selon le type du microprocesseur.
- Plus la taille des données que le microprocesseur peut traiter est grande, plus le microprocesseur va vite pour faire les calculs.
- Par exemple, pour additionner deux valeurs représentées sur 32 bits, il vaut mieux traiter deux blocs de 32 bits que 4 fois 2 octets avec des retenus.

## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

- **LA FRÉQUENCE D'HORLOGE**

- Elle se mesure maintenant en Gigahertz.
- C'est en fait la fréquence de fonctionnement interne du microprocesseur.
- Par exemple, une fréquence de 2,5 GHz donne une période de 0,4 ns donc un top d'horloge tous les 4 ns, soit.
- Certains microprocesseur ont des fréquences plus faible que d'autre mais ils exécutent les programmes plus rapidement.
- Ceci pour montrer que la fréquence d'horloge ne fait pas toute la rapidité d'exécution d'un microprocesseur.

## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

### • LES MIPS

- **MIPS** signifie *Million d'Instruction Par Seconde*.
- C'est un des premiers critères de la puissance d'un microprocesseur.
- Les instructions sont des opérations simples (calculs arithmétiques sur des entiers, tests,...).
- Les valeurs mesurées en MIPS sont inférieures à la fréquence d'horloge car certaines instructions nécessitent encore plusieurs cycles d'horloge pour s'exécuter.

## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

---

- **LES FLPOS**

- FLOPS signifie *Floating Point Operations Per Second* (opération en virgule flottante).
- C'est une mesure de performance appliquée aux ordinateurs scientifiques dédiés au calcul numérique (nombres réels en virgules flottante).
- Les performances se mesurent en Mflops, Gflops.

## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

---

- **LA FRÉQUENCE DU FSB**
- Le FSB (*Front Side Bus*) est le bus de sortie du microprocesseur.
- Il relie le microprocesseur au chipset et aux autres composants de l'ordinateur.
- La fréquence du FSB est mesurée en MHZ.
- Plus le fréquence est grande et plus le microprocesseur travaille vite avec les autres composants de l'ordinateur.

## 12. CARACTERISTIQUES DES PROCESSEURS

---

- **LA FRÉQUENCE DU FSB**
- Le FSB (*Front Side Bus*) est le bus de sortie du microprocesseur.
- Il relie le microprocesseur au chipset et aux autres composants de l'ordinateur.
- La fréquence du FSB est mesurée en MHZ.
- Plus le fréquence est grande et plus le microprocesseur travaille vite avec les autres composants de l'ordinateur.

# 13. CLASSIFICATION DES PROCESSEURS

On classe les architectures en plusieurs grandes familles :

- CISC (Complex Instruction Set Computer), choix d'instructions aussi proches que possible d'un langage de haut niveau ;
- RISC (Reduced Instruction Set Computer), choix d'instructions plus simples et d'une structure permettant une exécution très rapide ;
- VLIW (Very Long Instruction Word) ;
- DSP (Digital Signal Processor), même si cette dernière famille est relativement spécifique.
  - En effet, un processeur est un composant programmable et est donc à priori capable de réaliser tout type de programme.
  - Toutefois, dans un souci d'optimisation, des processeurs spécialisés sont conçus et adaptés à certains types de calculs (3D, son, etc.).
  - Les DSP sont des processeurs spécialisés pour les calculs liés au traitement de signaux.
  - Par exemple, il n'est pas rare de voir implémenter des transformées de Fourier dans un DSP ;

# 13. CLASSIFICATION DES PROCESSEURS

Un processeur est défini par :

- Son architecture, c'est-à-dire son comportement vu par le programmeur :
  - son jeu d'instructions (en anglais Instruction Set Architecture, ISA) ;
  - la largeur de ses registres internes de manipulation de données (8, 16, 32, 64, 128) bits et leur utilisation ;
  - les spécifications des entrées–sorties, de l'accès à la mémoire, etc.
- Ses caractéristiques, variables même entre processeurs compatibles :
  - sa microarchitecture ;
  - la cadence de son horloge exprimée en mégahertz (MHz) ou gigahertz (GHz) ;
  - sa finesse de gravure exprimée en nanomètres (nm) ;
  - son nombre de cœurs de calcul.



# 1.4. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION DES MICROPROCESSEURS

Date	Nom	Nombre de transistors	Finesse de gravure (nm)	Fréquence de l'horloge	Largeur des données	MIPS
1971	<u>Intel 4004</u>	2 300	10 000	108 kHz	4 bits/4 bits bus	0,06
1974	<u>Intel 8008</u>	6 000	6 000	2 MHz	8 bits/8 bits bus	0,64
1979	<u>Intel 8088</u>	29 000	3 000	5 MHz	16 bits/8 bits bus	0,33
1982	<u>Intel 80286</u>	134 000	1 500	6 à 16 MHz (20 MHz chez AMD)	16 bits/16 bits bus	1
1985	<u>Intel 80386</u>	275 000	1 500		16 à 40 MHz	32 bits/32 bits bus
1989	<u>Intel 80486</u>	1 200 000 (800nm)	1 000 à 800	16 à 100 MHz	32 bits/32 bits bus	20
1993	<u>Pentium (Intel P5)</u>	3 100 000	800 à 250	60 à 233 MHz	32 bits/64 bits bus	100
1997	<u>Pentium II</u>	7 500 000	350 à 250	233 à 450 MHz	32 bits/64 bits bus	300
1999	<u>Pentium III</u>	9 500 000	250 à 130	450 à 1 400 MHz	32 bits/64 bits bus	510
2000	<u>Pentium 4</u>	42 000 000	180 à 65	1,3 à 3,8 GHz	32 bits/64 bits bus	1 700
2004	Pentium 4 D (Prescott)	125 000 000	90 à 65	2,66 à 3,6 GHz	32 bits/64 bits bus	9 000
2006	Core 2 Duo (Conroe)	291 000 000	65	2,4 GHz (E6600)	64 bits/64 bits bus	22 000
2007	Core 2 Quad (Kentsfield)	2*291 000 000	65	3 GHz (Q6850)	64 bits/64 bits bus	2*22 000 (?)
2008	Core 2 Duo (Wolfdale)	410 000 000	45	3,33 GHz (E8600)	64 bits/64 bits bus	~24 200

## 1.4. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES ET ÉVOLUTION DES MICROPROCESSEURS

2008	Intel Core i7 (Bloomfield)	731 000 000	45	3,33 GHz (Core i7 975X)	64 bits/64 bits bus	?
2009	Intel Core i5/i7 (Lynnfield)	774 000 000	45	3 06 GHz (I7 880)	64 bits/64 bits bus	76 383
2010	Intel Core i7 (Gulftown)	1 170 000 000	32	3,47 GHz (Core i7 990X)	64 bits/64 bits bus	147 600
2011	Intel Core i3/i5/i7 (Sandy Bridge)	1 160 000 000	32	3,5 GHz (Core i7 2700K)	64 bits/64 bits bus	
2012	Intel Core i3/i5/i7 (Ivy Bridge)	1 400 000 000	22	3,5 GHz (Core i7 3770K)	64 bits/64 bits bus	
2013	Intel Core i3/i5/i7 (Haswell)	1 400 000 000	22	3,8 GHz (Core i7 4770K)	64 bits/64 bits bus	
2014	Intel Core i3/i5/i7 (Broadwell)	?	14	3,8 GHz (Core i7 5775R)	64 bits/64 bits bus	
2015	Intel Core i3/i5/i7 (Skylake)	?	14	4 GHz (Core i7 6700K)	64 bits/64 bits bus	
2016	Intel Core i3/i5/i7 (Kabylake)	?	14		64 bits/64 bits bus	
2017	Intel Core i3/i5/i7 (Cannonlake)		10		64 bits/64 bits bus	
2018	Intel Core i3/i5/i7(?)		10		64 bits/64 bits bus	