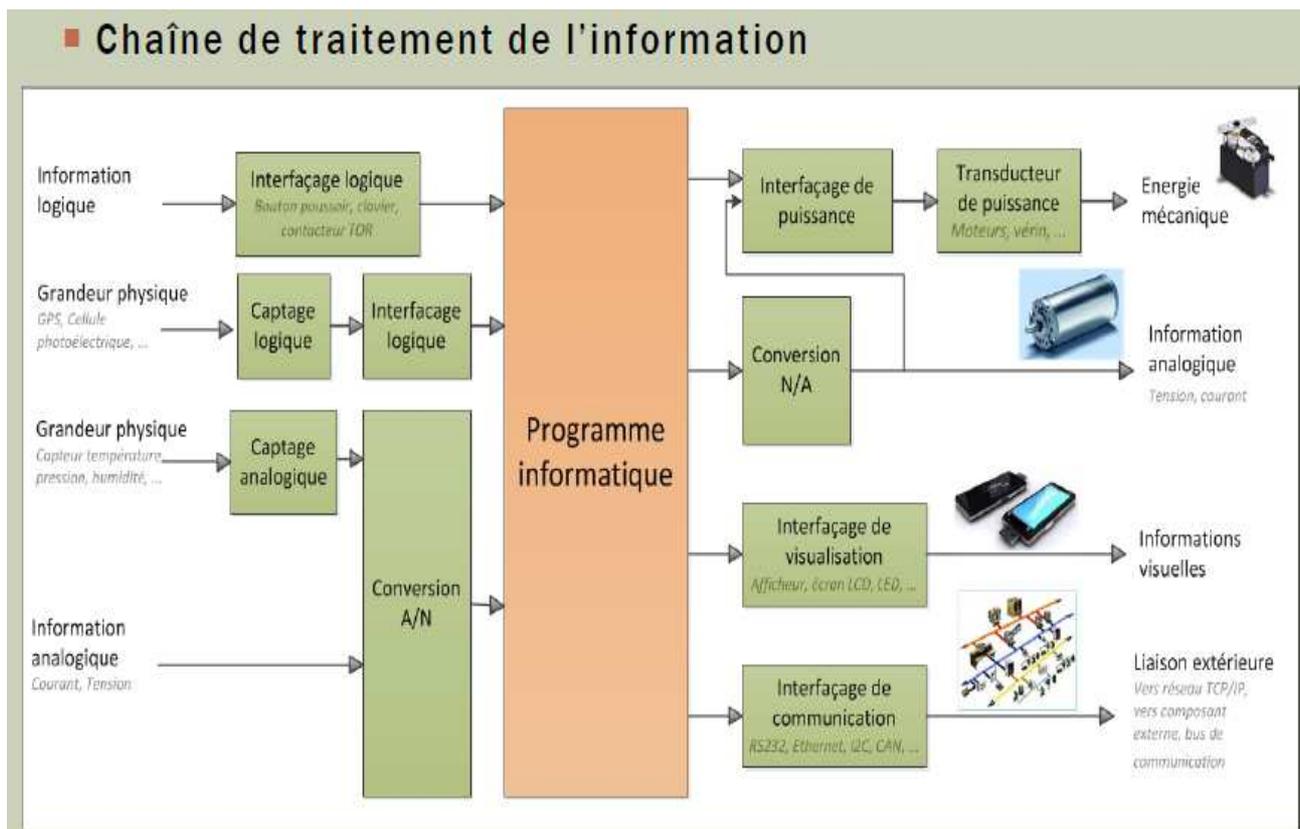


Leçon N°2

INTRODUCTION SUR LES MICROCONTROLEURS

I – INTRODUCTION

Dans la chaîne de traitement de l'information, le programme informatique (firmware ou microcode) réalise une fonction importante et est toujours associée à un composant programmable (hardware) équipé d'éléments de sauvegarde ou de mémorisation : **le microcontrôleur**.

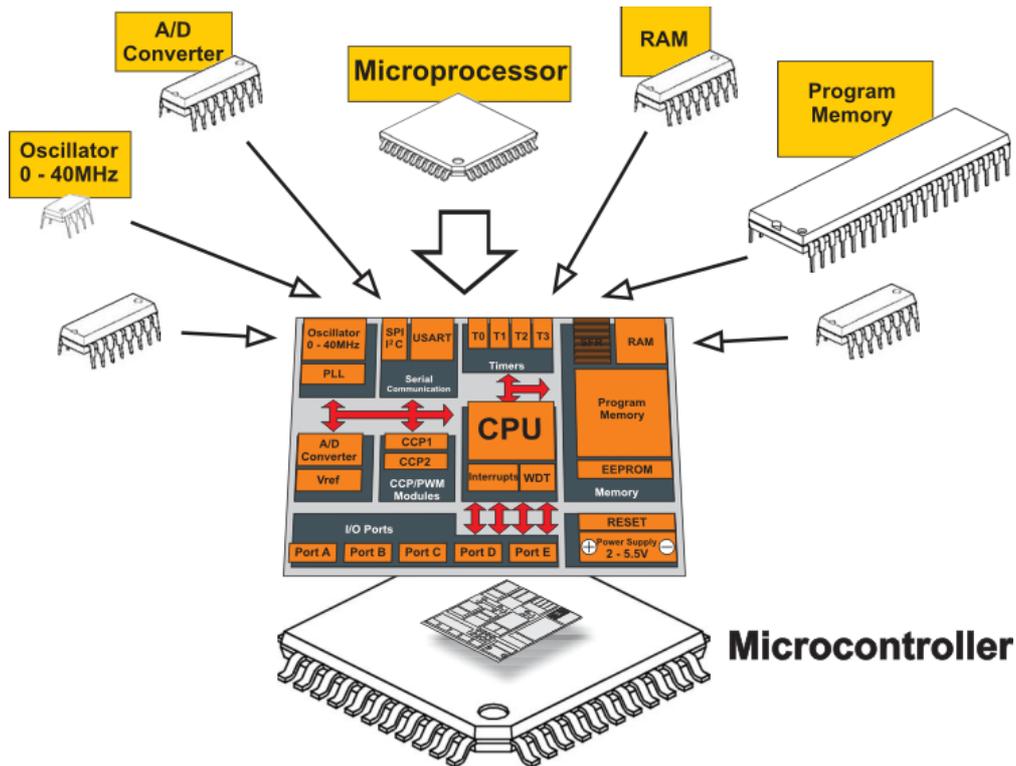


II – MICROPROCESSEUR ET MICROCONTROLEUR

Il y a une différence fondamentale entre un microprocesseur et un microcontrôleur :

- le microcontrôleur intègre dans un même boîtier, un microprocesseur, de la mémoire, et des interfaces entrées/sorties.
- le microprocesseur se présente sous la forme d'un boîtier qui nécessite des éléments externes, comme de la mémoire et des circuits d'interfaces.

Ils sont présents dans la plupart des systèmes électroniques embarqués ou dédiés à une application unique (exemple : téléphone portable).



Il en existe de nombreux modèles :

- 68HC11 de Motorola,
- 8051 de Intel,
- les ARM qui sont très utilisés en électronique embarquée
- et les PIC de Microchip.

III – GENERALITES SUR LES PIC

1. Trois grandes familles

- Base-Line (mots d'instructions de 12 ou 14 bits comme les 12Cxxx, 12Fxxx),
- Mid-Range (mots de 14 bits comme le 16F628, 16F877, etc.),
- High-End (mots de 16 bits).

2. Identification

Prenons l'exemple du PIC : PIC16F877A-I/P., 07514KQ

- Les 2 premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC : 16 = Mid-Range.
- F indique que la mémoire programme est de type FLASH ; on retrouve CR pour ROM (ROM : Read Only Memory) et C pour EPROM (EPROM : Erasable ROM) ou EEPROM (EEPROM : Electrical Erasable ROM).

Remarque :

- ❖ Un composant qu'on ne peut reprogrammer est appelé OTP pour One Time Programming.

- ❖ Les mémoires de type FLASH et EEPROM peuvent être écrites et effacées mais pas la ROM.
- 877A indique le modèle du PIC.
- Parfois, un suffixe supplémentaire comme 20 est indiqué. Il s'agit de la fréquence d'horloge maximale. 20 pour 20 MHz. Les PIC sont des composants statiques, ainsi, on peut abaisser la fréquence d'horloge jusqu'à l'arrêt complet sans perte de données et sans dysfonctionnement.
- I est la gamme de température industrielle (-40°C à +85°C).
- P est le type de boîtier → PDIP, boîtier 40 broches Plastique DIL (Dual In Line).
- 07 est l'année de fabrication 2007 et 51, la semaine 51, donc fin décembre. 4KQ est un code de traçabilité.

3. Architecture interne

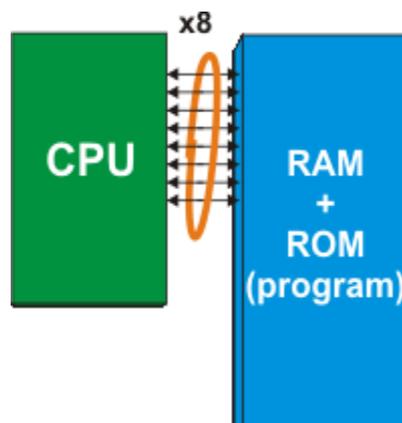
Tous les microcontrôleurs utilisent l'une des 2 architectures nommées Harvard et Von Neumann.

Elles représentent les différentes manières d'échange de données entre le CPU (microprocesseur interne) et la mémoire.

3.1. Architecture Von Neumann

L'architecture **VON NEUMANN** employée par la plupart des microcontrôleurs actuels (**INTEL80XX**, **Motorola HC05**, **HC08** et **HC11**, ou **ZILOG Z80**) est basée sur un bus de données unique. Celui-ci véhicule les **instructions** et les **données**.

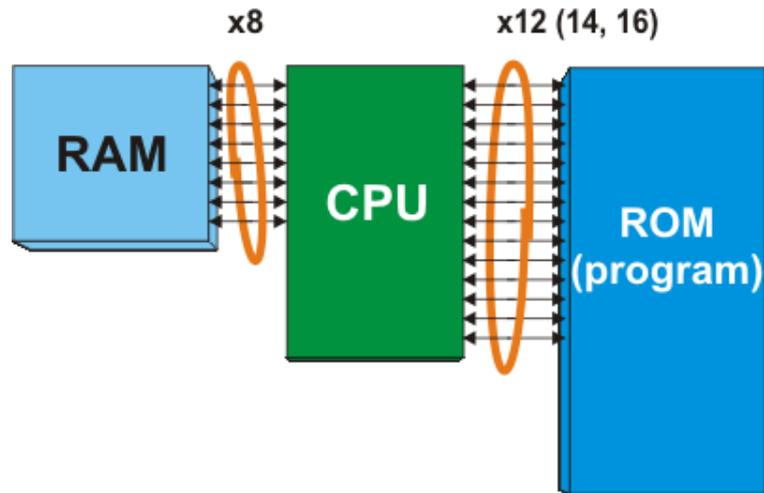
1 bloc mémoire et 1 bus de données sur 8 bits (1 octet). Toutes les données sont échangées sur ce bus qui, surchargé, rend la communication très lente.



3.2. Architecture Harvard

L'architecture **HARVARD** utilisée par les microcontrôleurs **PIC** est basée sur deux bus de données. Un bus est utilisé pour les **données** et un autre pour les **instructions**.

2 blocs mémoire distincts et 2 bus différents : 1 bus 8 bits pour communiquer avec la RAM, 1 bus 14 bits pour communiquer avec la ROM, qui contient le programme.



Le CPU peut lire une instruction (en ROM) et accéder à la mémoire de données (en RAM) en même temps.

Remarque : la mémoire RAM (Random Access Memory) est utilisée pour stocker temporairement les données utilisées dans le programme ; ces données sont en effet perdues lors d'une coupure de courant.

Avantages et inconvénients

	VON NEUMANN (MOTOROLA, INTEL, ZILOG...)	HARVARD (MICROCHIP PICs)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Jeu d'instructions riches - Accès à la mémoire facile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Jeu d'instructions pauvre, mais facile à mémoriser. - Le codage des instructions est facile, chaque instruction est codée sur un mot et dure un cycle machine. - Le code est plus compact.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Le temps pour exécuter une instruction est variable. - Le codage des instructions se fait sur plusieurs octets. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le jeu d'instruction est très pauvre, par exemple pour effectuer une comparaison il faut faire une soustraction. - Les accès aux registres internes et la mémoire sont très délicats.

4. Jeu d'instructions

Toutes les instructions compréhensibles par les microcontrôleurs forment ce que l'on appelle le jeu d'instructions.

On distingue 2 types :

- composants dits RISC (Reduced Instructions Set Computer), par exemple les PIC. Dans ce cas, le microcontrôleur reconnaît et exécute seulement des opérations simples (addition, soustraction, etc.) et des opérations plus complexes sont réalisées en les combinant.

Tous les PIC Mid-Range ont un jeu de 35 instructions.

- composants dits CISC (Complex Instructions Set Computer).

Les microcontrôleurs de ce type possèdent 200 instructions différentes et peuvent réaliser de nombreuses opérations à grande vitesse. Les instructions sont plus complexes.

Remarque :

La taille mémoire spécifiée pour un PICs s'exprime en **Kilo Mots (14 bits pour la famille 16F87X)** et non en **kilo octets**. Comme chaque instruction est codée par un mot de **14 bits**, comparées aux microcontrôleurs classiques (**1, 2 ou 3 octets par instruction**), les **PICs** ont un code plus compact et ils utilisent moins de mémoire.

5. Nombre d'instructions par secondes

Les PIC stockent et exécutent chaque instruction en 1 cycle d'horloge. On peut atteindre de très grandes vitesses. L'horloge est la fonction qui cadence le fonctionnement des microcontrôleurs en délivrant un signal de fréquence fixe. On utilise généralement un quartz.

Exemple :

Avec un quartz de 4MHz, la fréquence du signal est d'abord divisée par 4 ; c'est ce signal de 1MHz qui cadence les opérations et qui permet d'obtenir la durée d'1 cycle, soit 1 million de cycles par seconde.

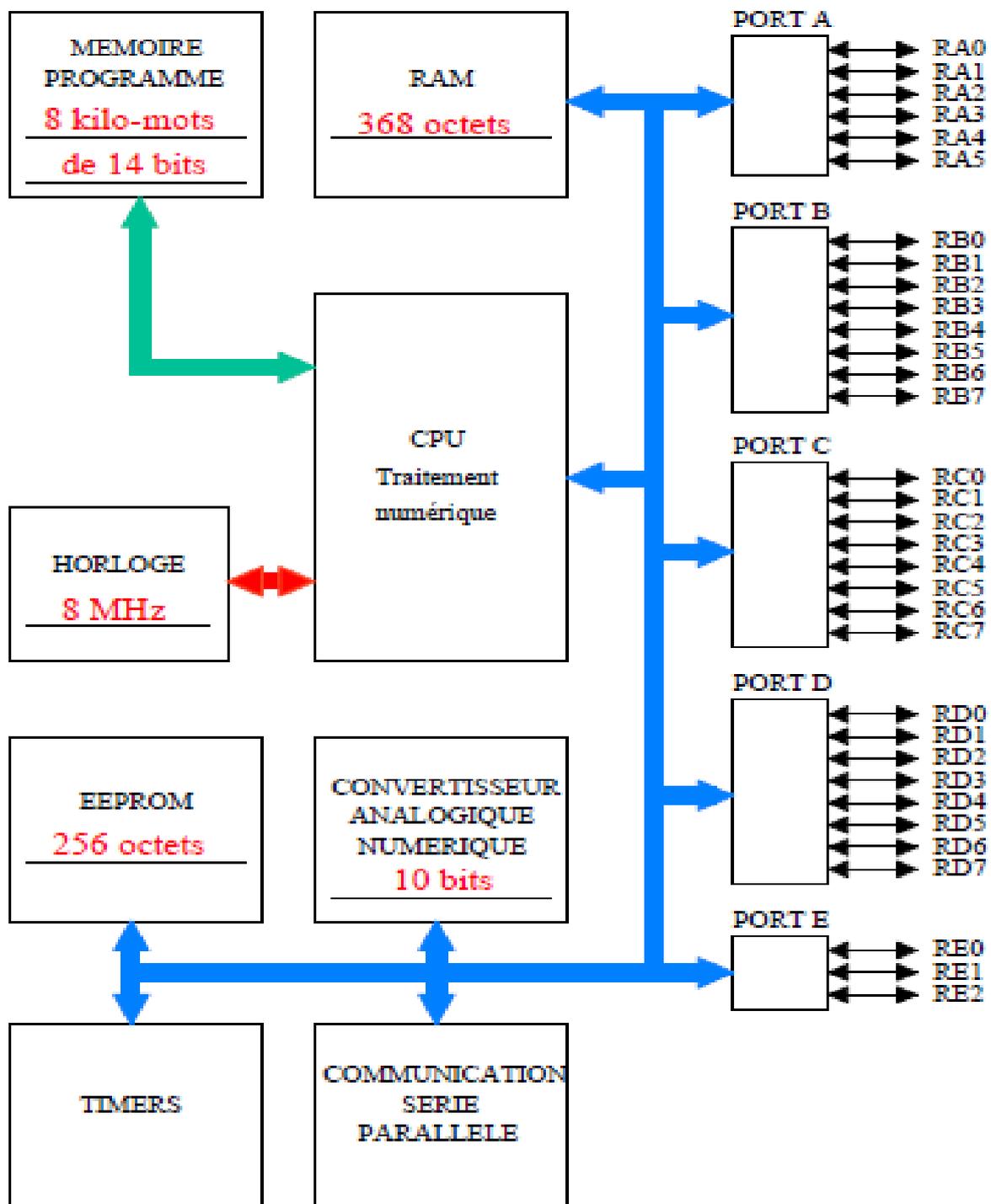
Pour 1 instruction par cycle, cela donne une puissance de traitement de 1 million d'instructions par seconde, soit 1MIPS.

6. Quelques caractéristiques importantes

Family	ROM [Kbytes]	RAM [bytes]	Pins	Clock Freq. [MHz]	A/D Inputs	Resolution of A/D Converter	Comparators	8/16 – bit Timers	Serial Comm.	PWM Outputs	Others
Base-Line 8 - bit architecture, 12-bit Instruction Word Length											
PIC10FXXX	0.375 - 0.75	16 - 24	6 - 8	4 - 8	0 - 2	8	0 - 1	1 x 8	-	-	-
PIC12FXXX	0.75 - 1.5	25 - 38	8	4 - 8	0 - 3	8	0 - 1	1 x 8	-	-	EEPROM
PIC16FXXX	0.75 - 3	25 - 134	14 - 44	20	0 - 3	8	0 - 2	1 x 8	-	-	EEPROM
PIC16HVXXX	1.5	25	18 - 20	20	-	-	-	1 x 8	-	-	Vdd = 15V
Mid-Range 8 - bit architecture, 14-bit Instruction World Length											
PIC12FXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 x 8 1 x 16	-	0 - 1	EEPROM
PIC12HVXXX	1.75	64	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 x 8 1 x 16	-	0 - 1	-
PIC16FXXX	1.75 - 14	64 - 368	14 - 64	20	0 - 13	8 or 10	0 - 2	1 - 2 x 8 1 x 16	USART I2C SPI	0 - 3	-
PIC16HVXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	14 - 20	20	0 - 12	10	2	2 x 8 1 x 16	USART I2C SPI	-	-
High-End 8 - bit architecture, 16-bit Instruction Word Length											
PIC18FXXX	4 - 128	256 - 3936	18 - 80	32 - 48	4 - 16	10 or 12	0 - 3	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16	USB2.0 CAN2.0 USART I2C SPI	0 - 5	-
PIC18FXXJXX	8 - 128	1024 - 3936	28 - 100	40 - 48	10 - 16	10	2	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16	USB2.0 USART Ethernet I2C SPI	2 - 5	-
PIC18FXXKXX	8 - 64	768 - 3936	28 - 44	64	10 - 13	10	2	1 x 8 3 x 16	USART I2C SPI		

IV – PIC 16F877A

1. Synoptique simplifié

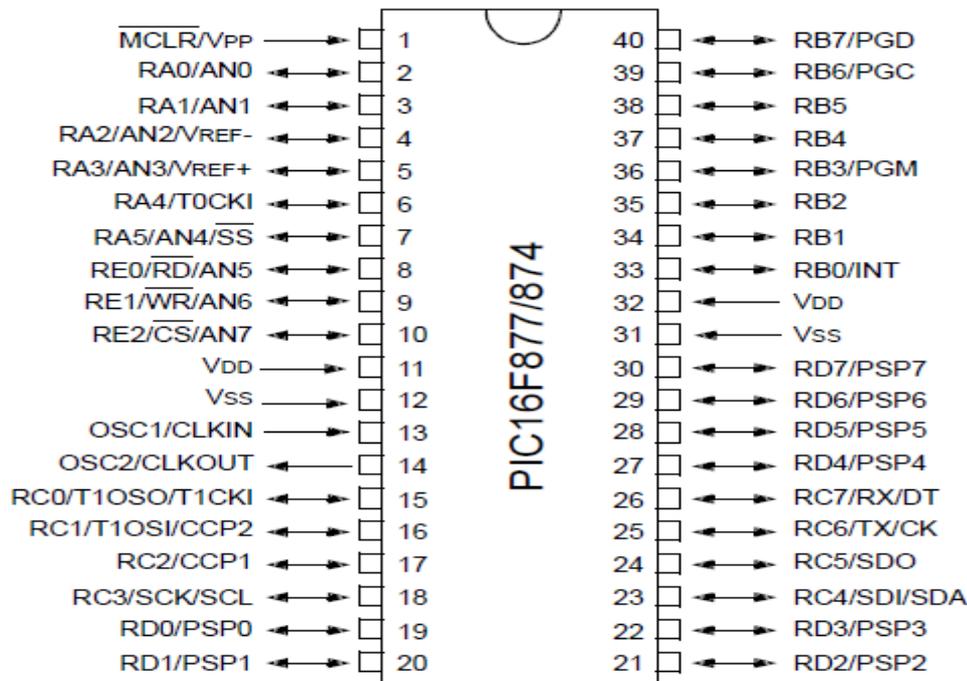


- Le CPU exécute les instructions du programme (codées sur 14 bits), traite et produit des opérations sur des informations numériques.
- La mémoire vive (RAM) de 368 octets est utilisée pour le stockage temporaire des données et résultats.

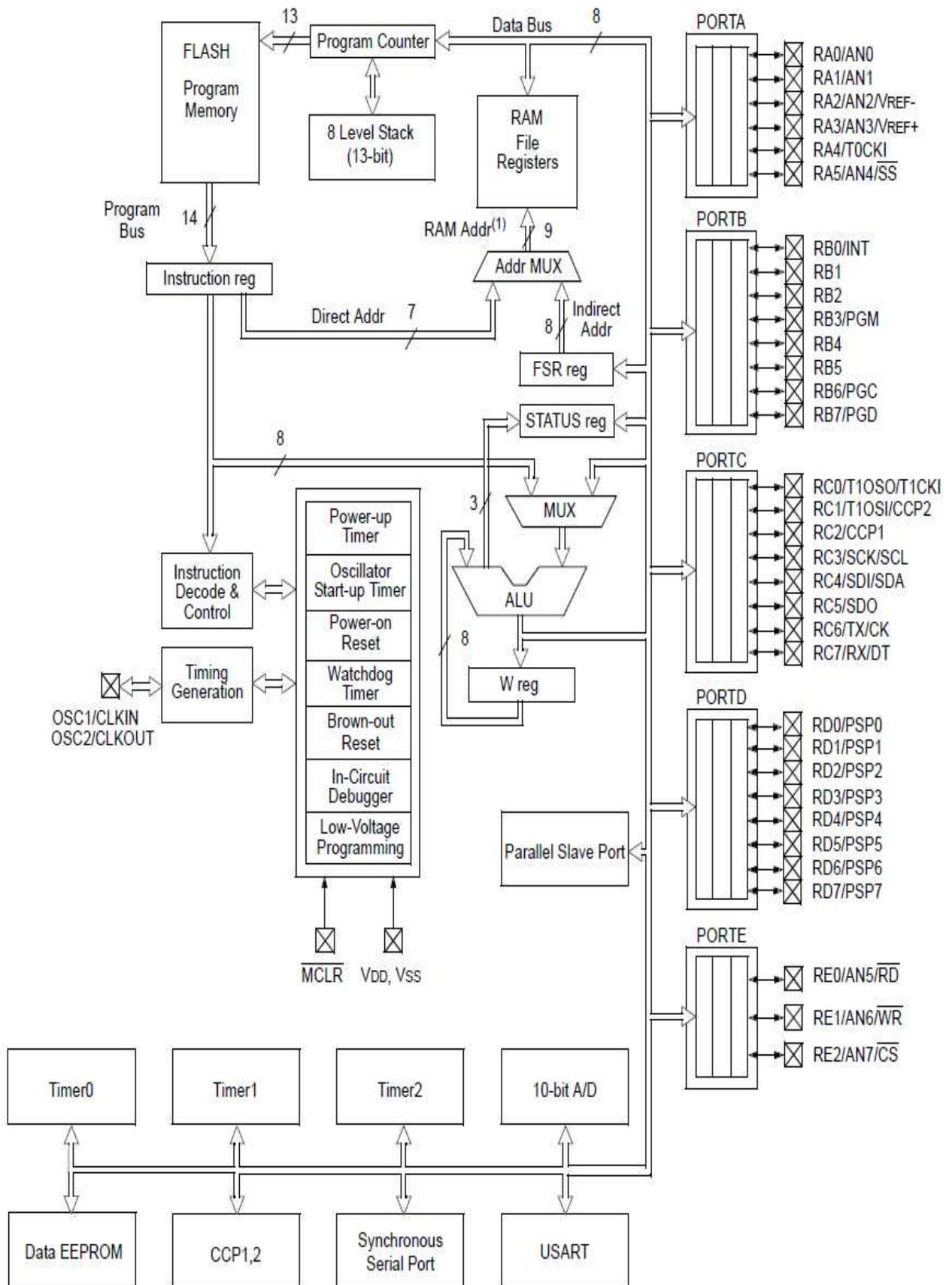
- **La mémoire morte (EEPROM)** de 256 octets permet de conserver des données très utiles de manière semi-permanente.
- **La mémoire FLASH** de 8k x 14bits permet de stocker le programme (les instructions).
- **L'horloge** génère le signal qui cadence l'exécution des instructions.
- **Les ports (A – E)** bidirectionnels permettent de communiquer avec l'extérieur ; les lignes de chaque port peuvent être programmées en entrée ou en sortie.
- **Les timers (3)**, modules programmables dont les fonctions sont : astable (signaux périodiques), monostable (impulsion), compteur, signaux PWM (commande de moteurs à courant continu).
- **Le CAN** convertisseur analogique/numérique 10 bits – 8 entrées disponibles de 0 à 5V ; les résultats des conversions sont stockés dans des registres internes.

2. Brochage physique des différentes versions de μC

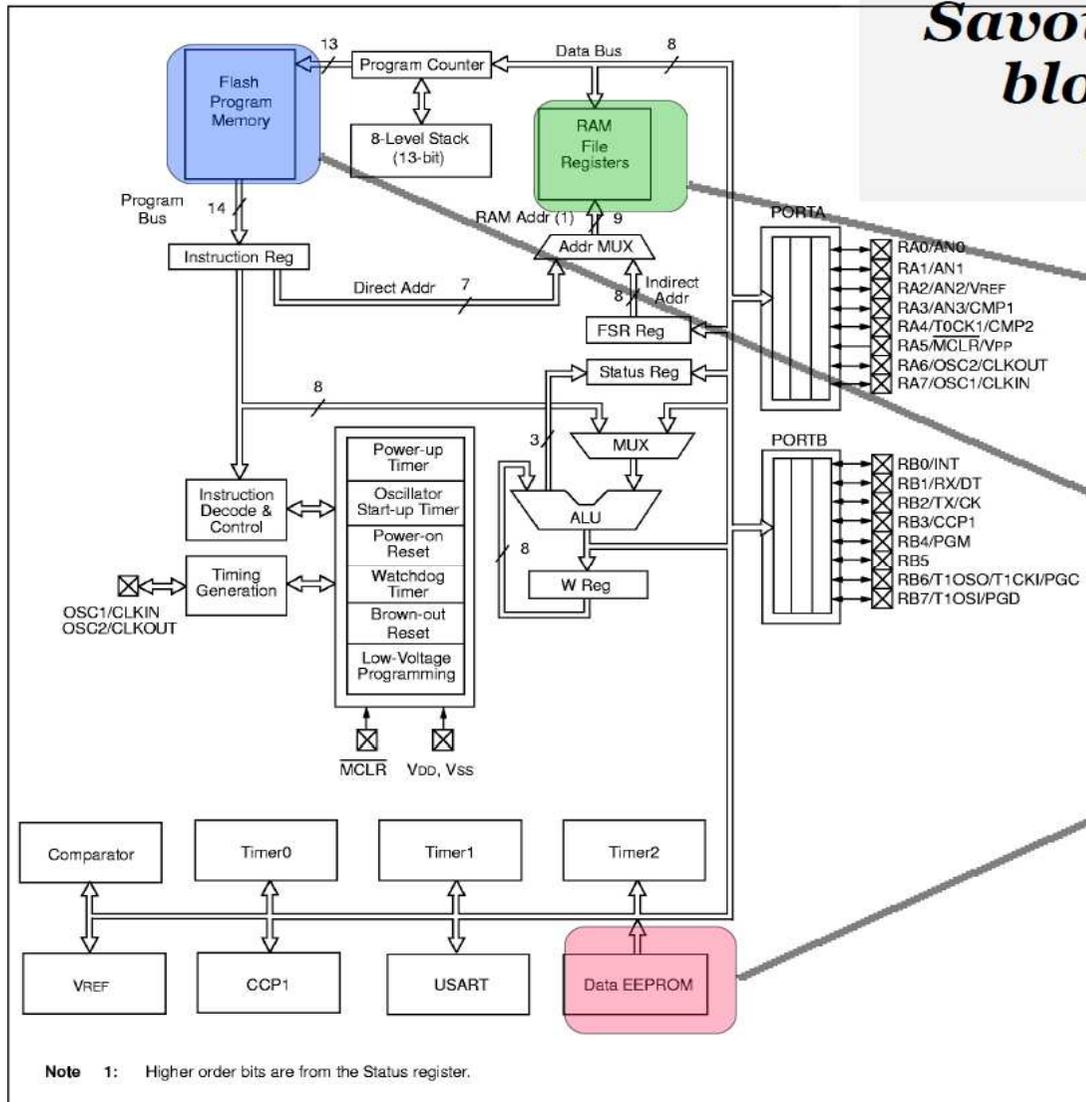
PDIP, SOIC



3. Synoptique complet



Savoir lire le schéma bloc d'un micro-contrôleur



Les mémoires :

RAM (Random Access Mem.)

mémoire rapide qui permet de stocker temporairement des données.

ROM (Read Only Memory)

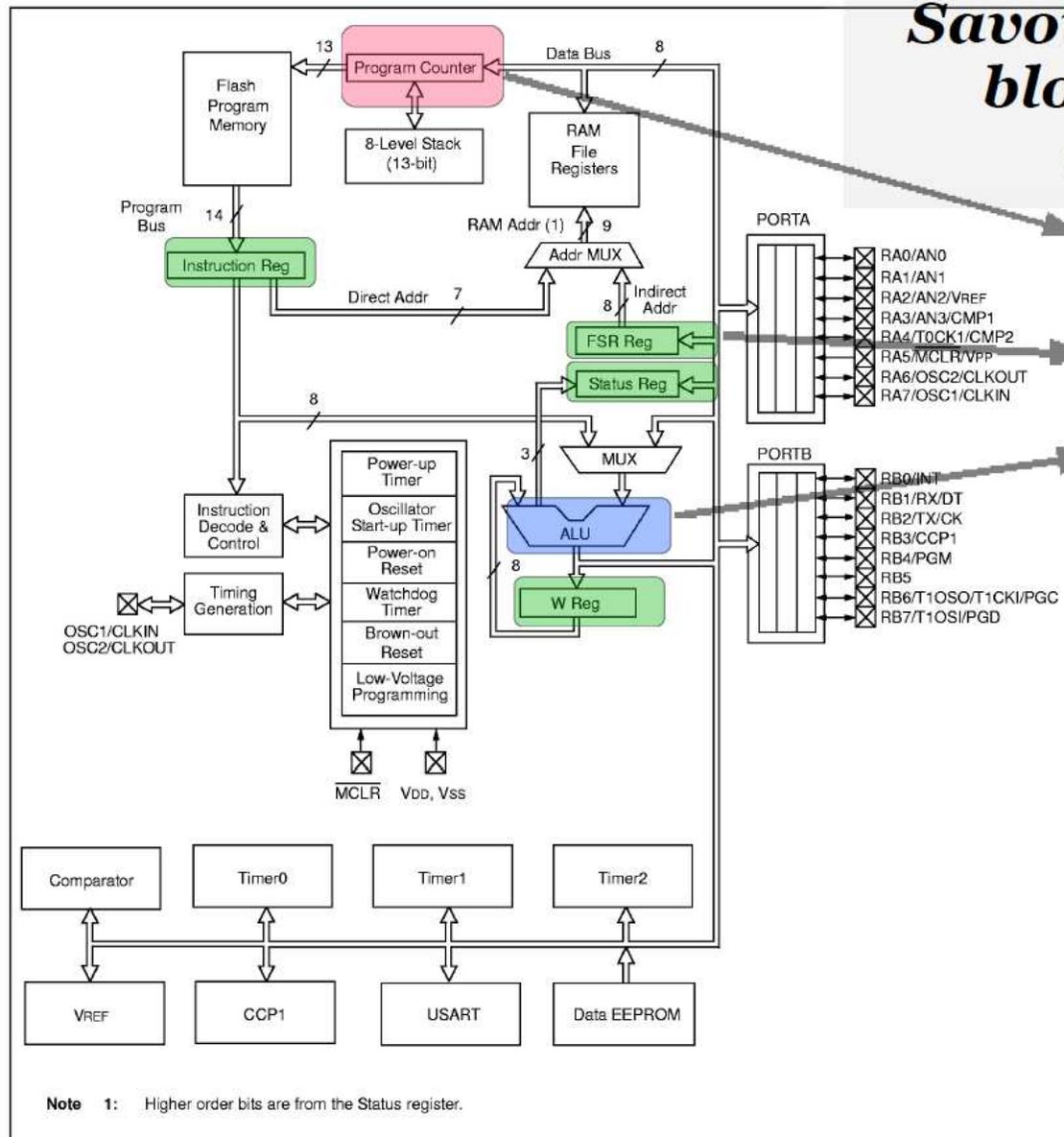
mémoire à lecture seule, programmée à vie.

EEPROM

(Elec. Erasable Programmable Read Only Memory)

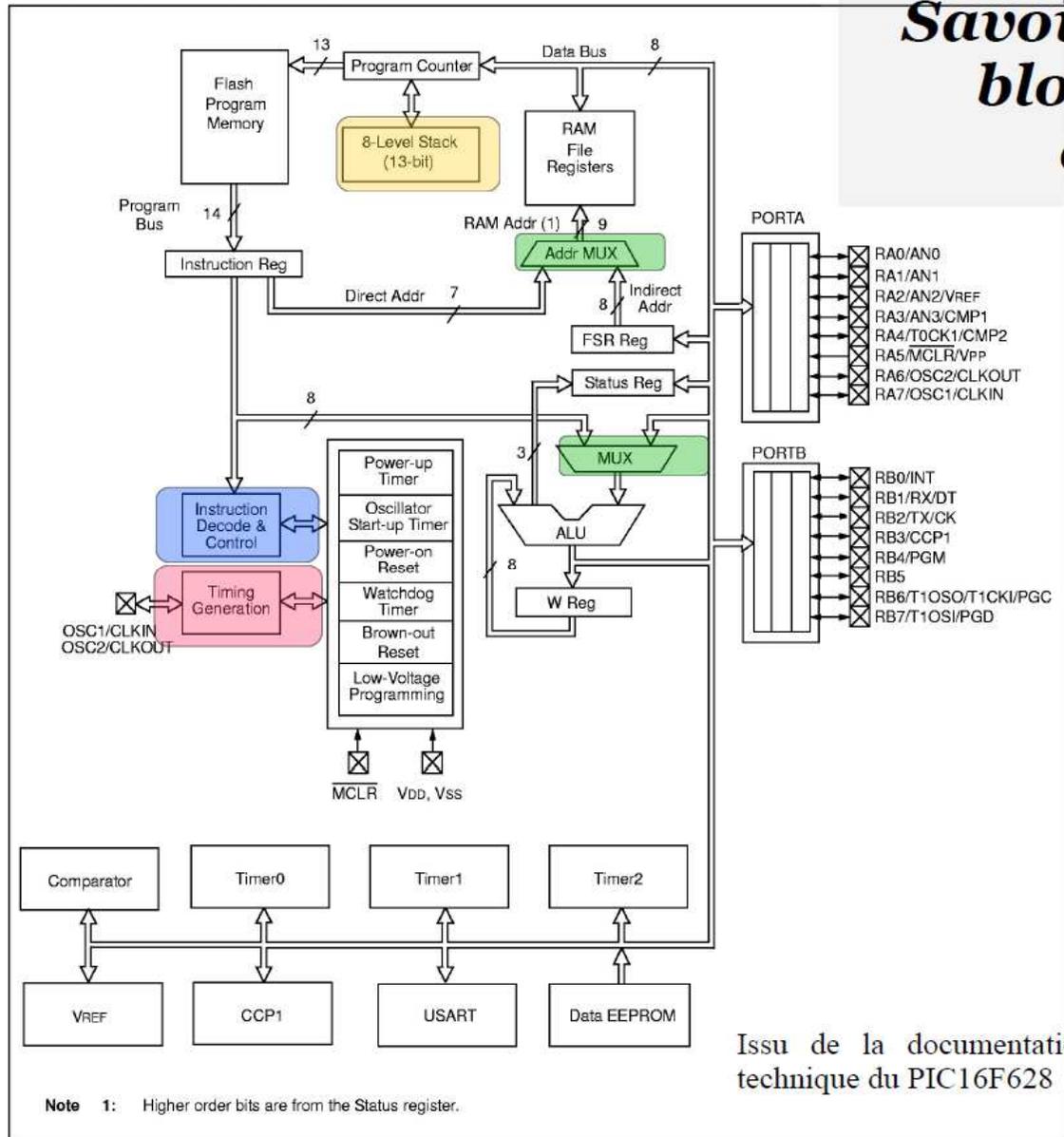
mémoire lente qui permet de stocker des données même après coupure de l'alim.

Savoir lire le schéma bloc d'un micro-contrôleur



- PC (Program Counter)
- Registre(case mémoire)
- ALU
- Multiplexeur
- Décodeur d'instructions
- horloge
- Stack (pile)
LIFO (Last In First Out)
FIFO (First In First Out)

Savoir lire le schéma bloc d'un micro-contrôleur

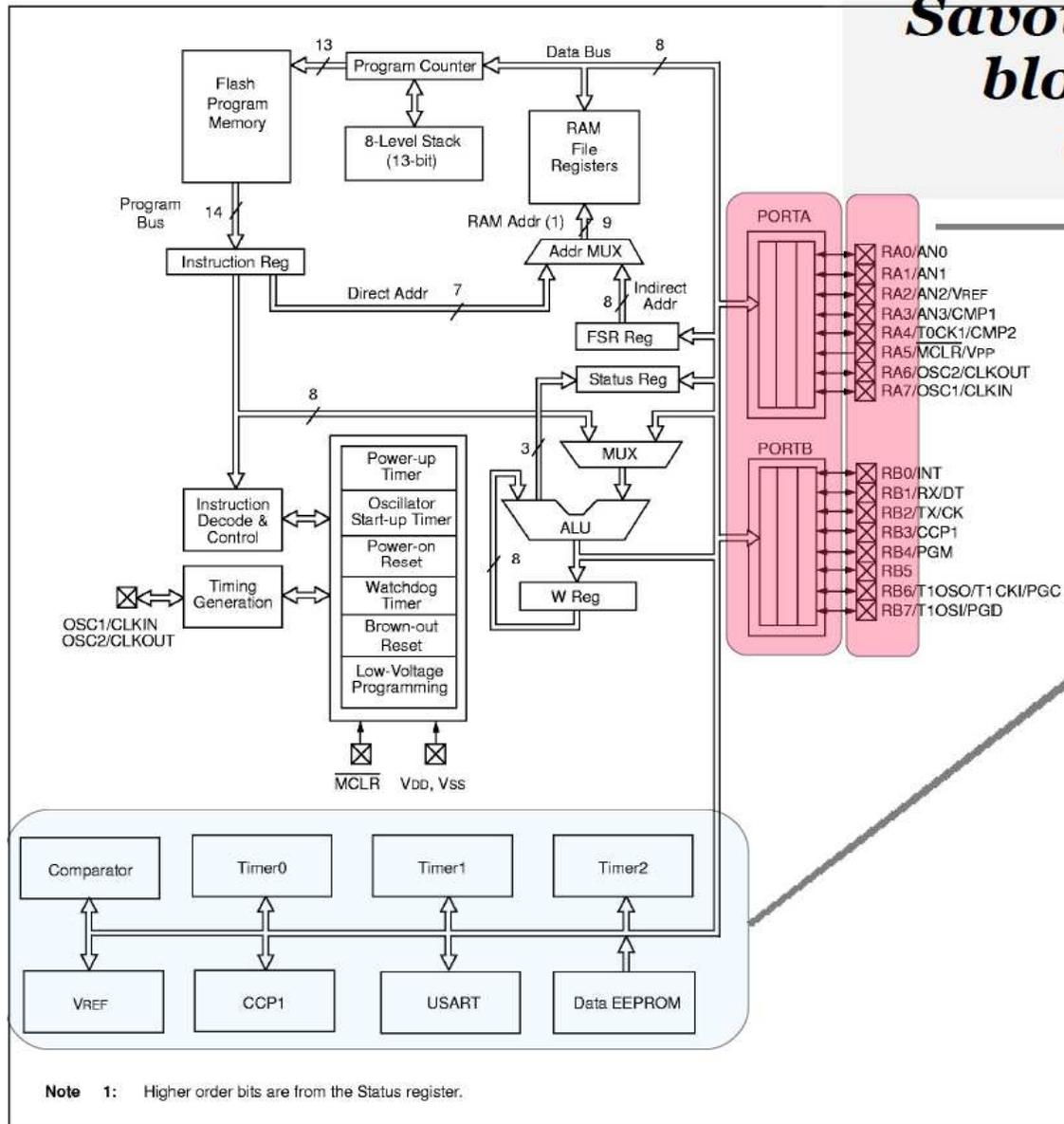


Issu de la documentation technique du PIC16F628

- Registre (case mémoire)
- ALU
- PC (Program Counter)
- Multiplexeur
- Décodeur d'instructions
- horloge
- Stack (pile)

LIFO (Last In First Out)
FIFO (First In First Out)

Savoir lire le schéma bloc d'un micro-contrôleur



Ports d'entrées/sorties

- **USART**
(Universal Synchronous Asynch. Receiver/Transmitter)
interface de communication série,
- **CCP** (Capture/Compare/PWM)
Modulation en largeur d'impulsions
- **Timer**
- **Comparteur**
- **CAN/CNA**
- **Référence de tension**
- **Module HF**
- **Liaison USB, ...**

4. Les éléments de choix d'un μC

4.1. Architecture

- ALU (8, 16, 32, 64 bits)
- Structure du processeur (Harvard, Von Neumann)
- Type de processeur (RISC, CISC)
- Taille des mémoires programme et donnée
- Nombre de ports d'entrée/sortie

4.2. Fonctionnalités

- Fonctions *analogiques* : CAN, CNA, Comparateur, etc.
- Fonctions de *timing* : Timer, Watchdog, etc.
- Fonctions de *communication* : UART (Communication série), USB, I2C, etc.
- Facilité de programmation : In-Circuit Serial Programming, Self Programming, etc.

4.3. Caractéristiques électriques :

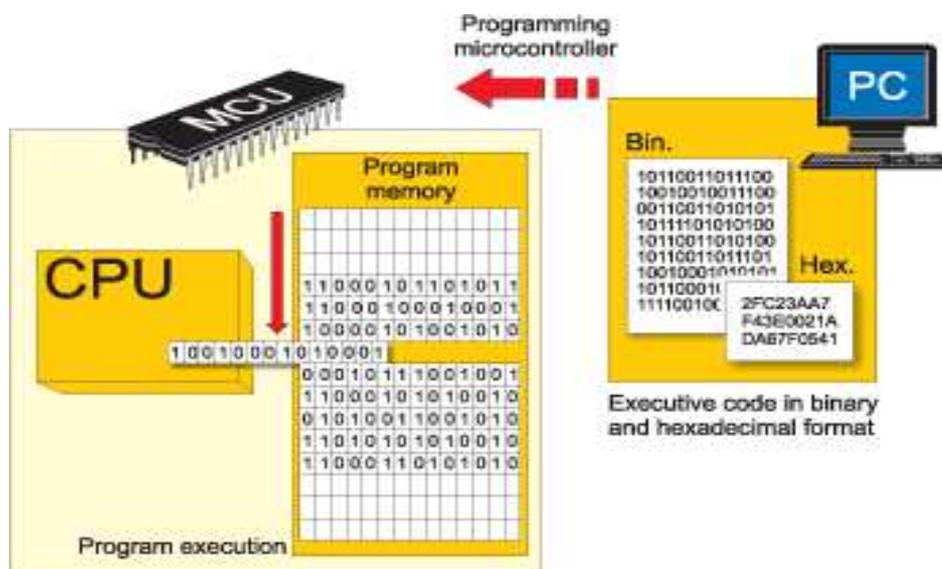
- Fréquence d'horloge
- Tensions d'alimentation
- Consommation d'énergie, modes faible consommation d'énergie, etc.

4.4. Caractéristiques physiques :

- Type de boîtier : DIL, PLCC, etc.

V – LA PROGRAMMATION

Le microcontrôleur exécute le programme chargé dans sa mémoire FLASH. Les mots binaires (sur 14 bits pour le PIC16F877A) sont considérés par le CPU comme une commande.

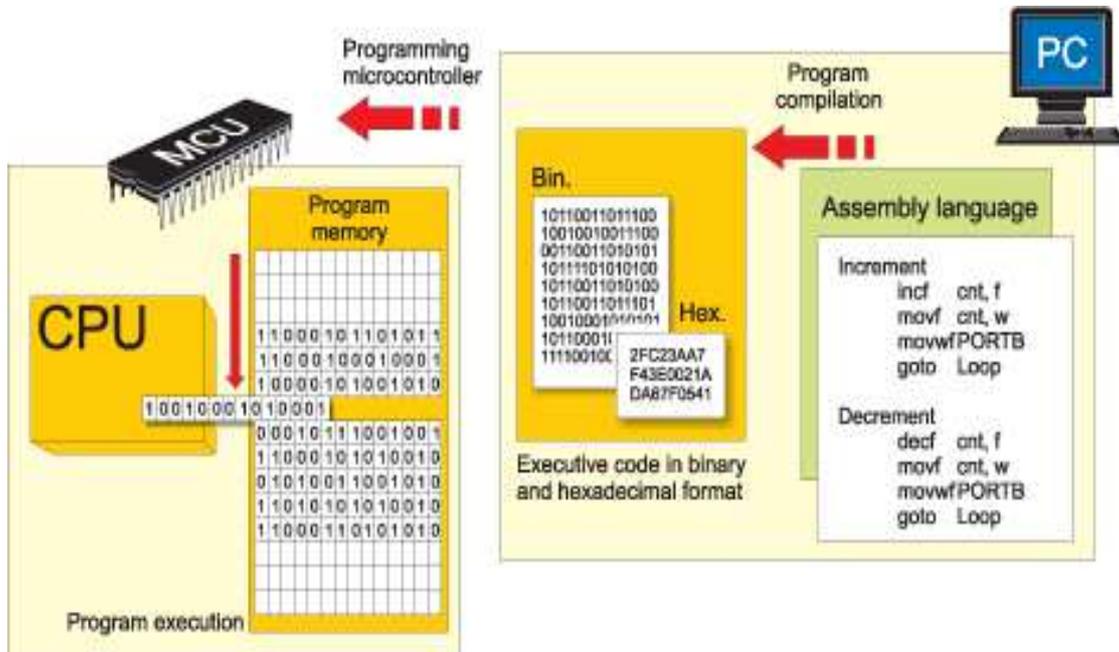


Mais programmer en binaire ou même en hexadécimal est impossible. Les programmeurs utilisent des langages comme l'assembleur ou le C, qui utilise des abréviations.

Le passage de ce code plus lisible en code binaire prêt à être mis en mémoire s'appelle la compilation.

Remarque :

- L'assembleur est un langage bas niveau étroitement lié au type de microcontrôleur.



- Le C est un langage de plus haut niveau que l'assembleur et permet en théorie d'être portable, donc de s'adapter à n'importe quel microcontrôleur.

