

# ÉLECTRONIQUE

## Introduction aux microprocesseurs

## Enseignement des microprocesseurs

### Articulation en 4 cours

- ▶ **INFO365 : architecture des ordinateurs**
  - ◆ bases et vocabulaire (logiciel et matériel)
- ▶ **ELEC344 : électronique**
  - ◆ électronique numérique + 1μP simple
- ▶ **ELEC288 : architectures et systèmes à μP**
  - ◆ notions approfondies de μP plus complexes
  - ◆ fonctionnement des systèmes à μP
  - ◆ bus standards
- ▶ **ELEC365 : conception des systèmes à μP**
  - ◆ méthodologie et conseils pour la conception
  - ◆ outils de développement software et hardware

## Abréviations et terminologie

anglais		français	
dénomination	abr	dénomination	abr
MicroProcessor Unit	MPU	microprocesseur	$\mu$ P
MicroController Unit	MCU	microcontrôleur microcalculateur	$\mu$ C
Digital Signal Processor Operating System	DSP OS	processeur de signal système d'exploitation	DSP OS

## Plan de l'introduction aux $\mu$ P

- ▶ **préliminaires**
  - ◆ **catégories de systèmes à  $\mu$ P**
  - ◆ **les  $\mu$ P et vous**
  - ◆ **buts du cours**
- ▶ catégories de microprocesseurs

## Systèmes à $\mu$ P : 2 grandes catégories

- ▶ ordinateurs à **usage général**
  - ◆ application non fixée au moment de la conception
- ▶ "**embedded systems**", systèmes embarqués
  - ◆ l'ordinateur remplit une fonction spécifique au sein d'un autre équipement généralement non-informatique

## Ordinateurs à usage général

- ▶ applications variées, non fixées au départ
  - ◆ bureautique
  - ◆ CAO (dans tous les domaines)
  - ◆ serveurs de fichiers
  - ◆ calcul scientifique
  - ◆ jeux
- ▶ impératifs
  - ◆ performance
    - souvent subjective (bureautique)
    - parfois objective (son)
  - ◆ souplesse : adaptation à de nombreux logiciels et différents OS

## "Embedded systems" : systèmes embarqués

- ▶ l'ordinateur remplit une fonction spécifique
  - ◆ dans un autre appareil
    - périphérique : imprimante, scanner
    - télécoms : routeur réseau, GSM
    - audio-vidéo : TV, Hi-Fi, caméra, appareil photo
    - automobile : allumage, injection,...
  - ◆ dans un processus industriel
    - régulateurs de grandeurs physiques
      - $p, T^\circ, F, x, x', x'', I, V, P, f$
    - séquenceur d'événement (chaîne de montage,...)
    - organe de sécurité (signalisation ferroviaire, ABS)

## "Embedded systems" : impératifs

- ▶ performance
  - ◆ objective, vue du processus
  - ◆ notion de **temps réel** : le calcul doit suivre la constante de temps du processus (qq ms, qq 10ms)  
ex : autofocus, ABS, régulations rapides (I,v), son
- ▶ consommation, encombrement
  - ◆ instruments portables, satellites
- ▶ environnement
  - ◆ physique: T°, humidité, vibrations, poussière, ....
  - ◆ électrique: pollution EMI, niveau et qualité de tension
- ▶ prix

**besoins différents =>  $\mu$ P différents**

La notion de temps réel est très importante dans beaucoup de systèmes embarqués et correspond à une performance objective liée au respect des constantes de temps du processus. Le cas le plus dur correspond aux régulations de grandeurs électriques (constantes de temps de quelques ms à quelques dizaines de ms) mais on trouve d'autres applications exigeantes dans des domaines aussi divers que la transmission numérique du son, l'anti-blocage de freins (ABS) ou la mise au point automatique sur un objet en mouvement.

Ce qui caractérise ces applications, c'est le caractère impérieux de la performance, puisque le système cesse de fonctionner au cas où le processeur ne calcule pas à la vitesse requise.

A part pour les ordinateurs portables et les "palm-top", la consommation des systèmes à micro-processeurs banalisés est en général peu critique. Beaucoup de systèmes embarqués, au contraire, mettent l'accent sur une consommation réduite et la notion de rendement énergétique est importante; c'est le cas de tous les instruments portables, mais aussi des équipements spatiaux, pour lesquels le budget énergétique est restreint.

Les contraintes auxquelles sont soumis les systèmes embarqués sont souvent plus sévères (température sous le capot d'une voiture, chocs et vibrations en chemin de fer, humidité pour les équipements extérieurs, poussières...)

Enfin des micro-processeurs sont aujourd'hui incorporés dans des équipements "grand public" vendus à quelques dizaines ou centaines d'Euro, et à quelques millions d'exemplaires. Le prix devient alors un élément décisif.

Les besoins différents de ces systèmes ont conduit à créer une grande variété de processeurs.

## Les $\mu$ P et vous

- ▶ probabilité = 1
  - ◆ utiliser consciemment un  $\mu$ P ( $\mu$ ordinateur)
  - ◆ utiliser inconsciemment un  $\mu$ P (système embarqué)
- ▶ probabilité élevée (ordre décroissant)
  - ◆ assembler un système fait de cartes existantes
  - ◆ concevoir une carte d'interface pour votre processus
  - ◆ manipuler de la logique programmable (PLD,FPGA)
  - ◆ concevoir une carte à  $\mu$ P industrielle
  - ◆ intégrer un coeur de  $\mu$ P existant dans un ASIC
- ▶ probabilité faible
  - ◆ de devenir architecte de  $\mu$ P
  - ◆ de concevoir une carte-mère de PC

## Buts du cours ELEC344

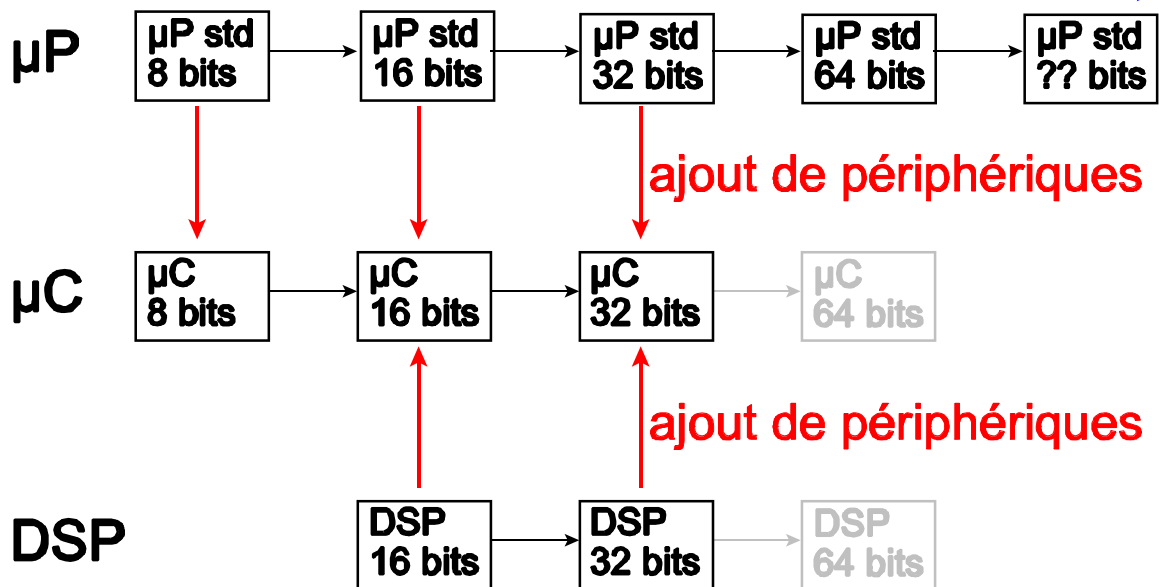
- ▶ notions à acquérir
  - ◆  $\mu$ P simple
    - architecture interne
    - bus externes
    - mémoires
    - périphériques
  - ◆ circuits d'interface
- ▶ moyens
  - ◆ étude d'un micro-contrôleur classique

# Plan de l'introduction

- ▶ préliminaires
- ▶ **catégories de microprocesseurs**
  - ◆ **microprocesseurs standards ( $\mu$ P)**
  - ◆ **micro-contrôleurs ( $\mu$ C)**
  - ◆ **processeurs de signaux (DSP)**

# μP, μC, DSP

## évolution de technologie et d'architecture



L'évolution des microprocesseurs depuis le premier 4004 d'INTEL au début des années 1970, s'est faite vers une complexité croissante (de l'ordre du doublement tous les 18 à 24 mois), essentiellement vers un élargissement de la taille des mots manipulés en interne et en externe et vers une multiplication des unités de traitement travaillant au sein du processeur.

Une diversification des processeurs s'est produite avec l'intégration d'un certain nombre de périphériques au sein du même boîtier que l'unité arithmétique et logique pour créer les micro-contrôleurs. L'évolution de ces micro-contrôleurs est alors double :

- l'augmentation de performances et la modernisation technologique au sein d'une famille de micro-contrôleurs, elle-même issue d'une famille de microprocesseurs standards
- la création de nouvelles familles de micro-contrôleurs basées sur de nouveaux coeurs de microprocesseurs

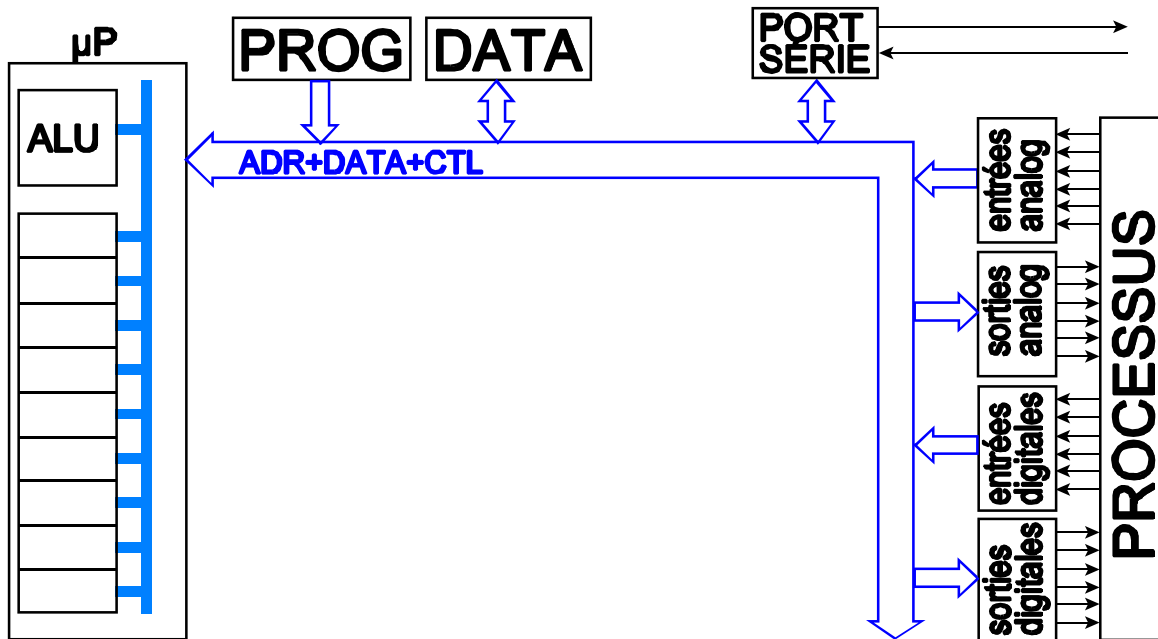
Enfin, une troisième grande catégorie est née au milieu des années 80 : les processeurs de signaux ou "Digital Signal Processors", qui sont des processeurs optimisés pour les calculs comme le filtrage ou les régulations numériques.

Micro-contrôleurs et DSP ont nettement tendance à se rapprocher :

- par une évolution architecturale des μC, qui tendent à se doter d'instructions qui étaient l'apanage des DSP
- par l'ajout de périphériques au DSP



# Système à $\mu P$ standard



A la base d'un système numérique, on trouve évidemment le processeur lui-même. Nous n'aborderons pas ici les détails internes, pour nous concentrer sur l'aspect externe.

Le microprocesseur a accès au monde extérieur par des bornes véhiculant des signaux logiques. Ceux-ci sont regroupés par fonctions et distribués dans tout le système, formant ainsi ce que l'on appelle des "bus".

Les deux principaux bus sont :

- le **bus de données** (ou "data bus") dont les  $N_d$  bits, groupés en mots, représentent soit des valeurs numériques, soit des valeurs logiques qui doivent être (ou viennent d'être) traitées au sein du processeur.
- le **bus des adresses** (ou "address bus") de  $N_a$  bits qui permet de différencier chaque mot de données accessibles en lui attribuant un numéro unique appelé adresse.

Pour un microprocesseur, le monde extérieur se limite à  $2^{N_a}$  emplacements où il peut lire et/ou écrire des mots de  $N_d$  bits. Comme une valeur écrite est retenue (du moins tant que l'on laisse le montage sous tension) le monde extérieur au microprocesseur est souvent appelé "**mémoire externe**".

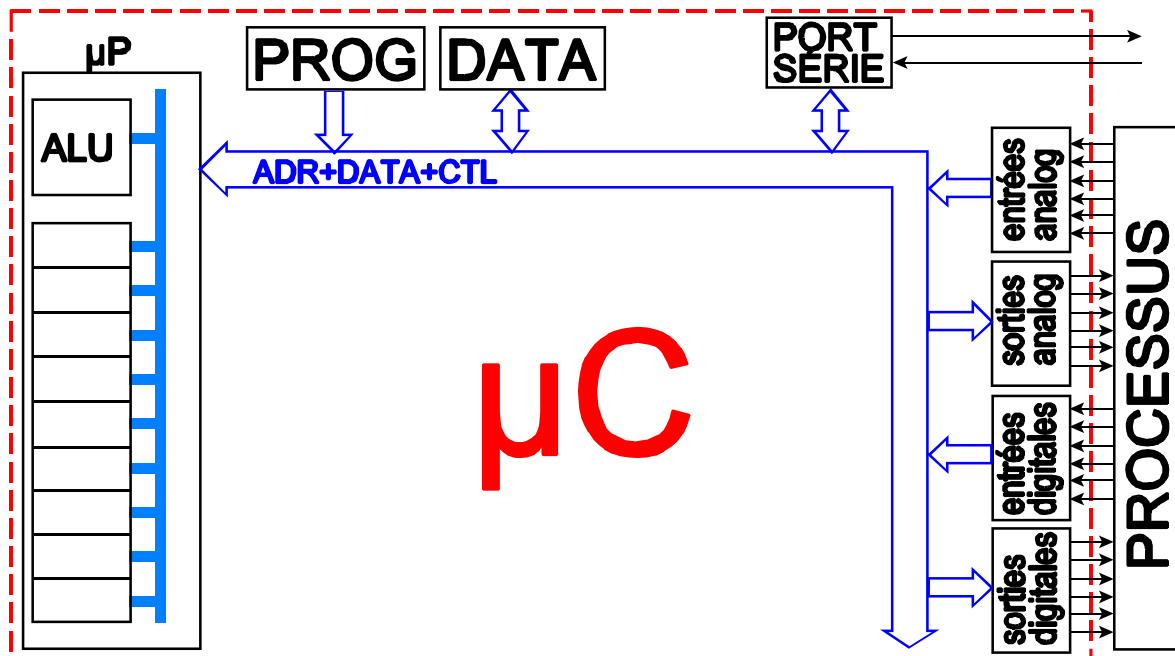
On doit ajouter à ces deux bus un groupe de signaux de contrôle appelés aussi **bus de contrôle** ou **de commande**, qui véhicule des signaux de synchronisation temporelle entre le microprocesseur et sa mémoire.

Cette mémoire se subdivise en 2 catégories fonctionnelles :

- la **mémoire programme** où les mots stockés sont soit des instructions codées, soit des opérandes de ces instructions, soit des constantes.
- la **mémoire des données** contenant les variables des programmes

Enfin le système doit s'interfacer avec le processus à commander et l'opérateur humain, via des "ports d'entrée-sortie" (ex: ligne de communication série, groupes de bits en parallèle, interfaces analogiques/numériques)

# Système à micro-contrôleur



Pour passer du micro-processeur au micro-contrôleur, on intègre l'ensemble des ressources (mémoires, périphériques) dans le même boîtier que le microprocesseur. Les pattes extérieures sont alors entièrement dédiées aux alimentations et aux entrées-sorties vers le processus et vers l'homme.

On y gagne

- en nombre de composants
- en fiabilité
- en connectique
- en consommation

Par contre, les ressources internes sont nécessairement plus limitées en nombre et en taille que dans un système à bus externe.

## **μP / μC : deux philosophies différentes**

- ▶ **MPU ou "Micro Processor Unit" (μprocesseur)**
  - ◆ base des micro-ordinateurs à usage général
  - ◆ progrès de l'intégration => + de performance
    - Unité Arithmétique et Logique (ALU) plus complexe
    - gros bus de données et d'adresse
      - gros débit de données
      - possibilités d'extension très importantes
    - gestion de périphériques variés (disques, interface h/m)
- ▶ **MCU ou "Micro Controller Unit" (μ-contrôleur)**
  - ◆ base des "embedded systems" compacts et bon marché
  - ◆ progrès de l'intégration => + de périphériques
    - périphériques spécialisés en contrôle-commande
    - récupération des bornes pour les I/O
    - élimination des bus externes => peu d'extensibilité

Les progrès réalisés dans le niveau d'intégration sont spectaculaires (doublement tous les 18 mois).

Dans les microprocesseurs standards, qui sont à la base des micro-ordinateurs à usage général, ces progrès sont orientés vers :

- l'accroissement de performance
- la complexité de l'architecture (multiplication des unités de traitement internes)
- la gestion d'une mémoire externe de grande taille et le traitement de grands débits de données grâce à des bus de données très larges
- la gestion de périphériques externes comme les disques

Les micro-contrôleurs sont un compromis orienté vers les "embedded systems" compacts et bon marché. Les progrès du niveau d'intégration sont ici orientés vers la multiplication des périphériques spécialisés dans le contrôle de processus :

- canaux de communication industrielle (lignes série, réseaux de terrain)
- conversion analogique/numérique et numérique analogique
- compteurs-timers
- sorties d'impulsions modulées en largeur

Les performances sont très bonnes et surtout remarquablement adaptées aux besoins des systèmes à commander.

La perte des bus externes entraîne évidemment l'impossibilité d'étendre le système.

# Digital Signal Processors (DSP)

- ▶ origine: traitement de la parole
- ▶ particularités
  - ◆ jeu d'instruction et micro architecture optimisés
    - pour le calcul : multiplieur rapide, barrel shifter
    - pour le débit de données : bus multiples
  - ◆ généralement faible consommation
- ▶ applications
  - ◆ (dé)compression du son et de l'image
  - ◆ filtrage numérique divers
  - ◆ régulateurs
- ▶ évolutions
  - ◆ DSP => micro-contrôleurs

Conçus et développés à l'origine pour le traitement de la parole, les processeurs numériques de signaux ou DSP "Digital Signal Processors" se sont imposés dans tous les domaines qui requièrent des performances de calcul rapide portant sur des flux de données importants comme :

- la (dé)compressions du son, de l'image
- la (dé) modulation numérique
- le contrôle de processus complexes

Ils conviennent bien aux applications portables, en raison d'un remarquable rapport performance/consommation

Ces performances sont obtenues par une optimisation de l'architecture essentiellement au niveau du jeu d'instruction et de la multiplication des bus internes, pour favoriser le débit de données.

Depuis quelques années, on assiste à une évolution d'une partie des DSP vers un "style micro-contrôleur", notamment pour le contrôle-commande de machines électriques, où l'on intègre des périphériques spécialisés dans le pilotage des convertisseurs d'électronique de puissance.