

# Cours 5: Introduction à l'informatique embarquée

Hadjila Fethallah

Maître de Conférences au  
Département d'Informatique

F\_hadjila@mail.univ-tlemcen.dz

# Systemes embarqués

- An *embedded system* is a combination of computer hardware and software—and perhaps additional parts, either mechanical or electronic—designed to perform a dedicated function.
- Un ordinateur autonome faisant partie d'un système plus large (électrique, mécanique, aéronautique, hydraulique..), et qui remplit une fonction dédiée (la marche d'un robot, la télécommunication, le contrôle d'un environnement (maison ou machines de production), consoles de jeux ....), ses ressources sont généralement limitées.
- Il ne possède généralement pas des entrées/sorties standards et classiques comme un clavier ou un écran d'ordinateur
- Le marché des systèmes embarqués (95%) > marché des PC+ serveurs (5%)

# Domaines d'applications



- Vehicules (de 30 à 100 calculateurs)
- avions (plus de 100 calculateurs)

# Informatique embarquée en automobile

- Réduction des émissions
- Prévention du dérapage (ABS)
- Contrôle des airbags
- Injection électronique
- Régulation de vitesse
- Contrôle de vitres, portes, essuie glasses...
- Multimédia
- ..

# Exemples de cartes embarquées

- Arduino (25\$)
- ChipKIT (à base de PIC) (30 \$)
- Raspberry Pi (à base d'ARM) (35 \$)
- Intel edison (à base d' atome) (70 \$)
- BeagleBoard de TI(à base d'ARM) ( à partir de 95\$)
- Parallela (à base d'ARM) (99 \$)

# Caractéristiques

- **Fiabilité**: est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données pour une période de temps donnée
- **Maintenance**: capacité d'un système à être rapidement et simplement (à moindre cout) réparé après une erreur
- **Disponibilité** : le rapport entre la durée durant la quelle le système est opérationnel sur la durée totale qu' on aurait souhaité qu'il le soit
- **Sécurité**: communication authentifiée et confidentielle
- **Faible consommation énergétique** : faible capacité de mémoire, faible capacité de calcul
- Contraintes sur la **dimension**, le **poids** ...
- **Tolérance aux fautes** (Dégradation harmonieuse des performances)

# Caracteristiques

## ■ Cout

- Les processeurs et les microcontrôleurs embarqués ont un faible cout par rapport aux processeurs d'informatique générale
- le prix moyen d'un processeur (tout type confondu), est estimé à 6 USD par unité
- Le prix moyen d'un processeur du PC est de 300 USD par unité

## ■ Temps réel (réactivité) :

- Un système temps-réel doit réagir aux stimuli de son environnement dans un délai temporel imposé par l'environnement / l'application.
- On distingue le temps réel dur et souple.

# Caracteristiques: temps réel

## ■ Exemples:

- système de freinage: le délai est de l'ordre 1/16 sec.
- Contrôle des airbags :le délai varie entre de 30 à 150 millisecc
- Sytème de traitement d'une video 25 fps: délai est de l'ordre 40 millisecc

■ Dans un système temps-réel, il faut que les résultats soient corrects, en plus il faut les fournir avant la date d'échéance.

- Résultats corrects au sens temporel (si respect du délai)
- Des résultats corrects mais tardifs sont faux.



# Caracteristiques (temps reel)

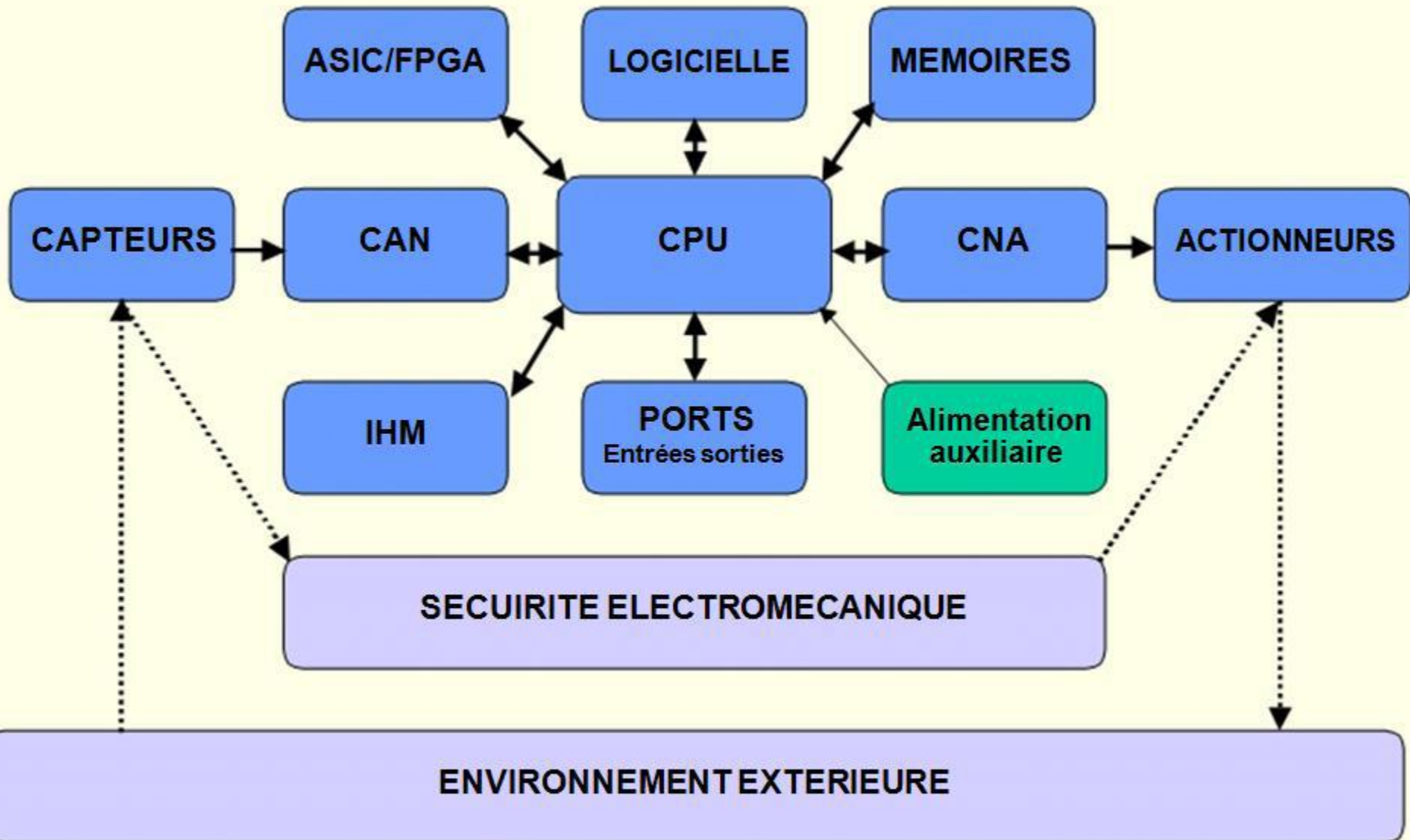
## ■ Dures (Hard real-time)

- Une contrainte est dite "dure", si son non respect résulterait en une catastrophe.
- Ex: Freinage d'un véhicule, Contrôle de centrale nucléaire, contrôle des airbags...

## ■ Lâches ou souple (Soft real-time)

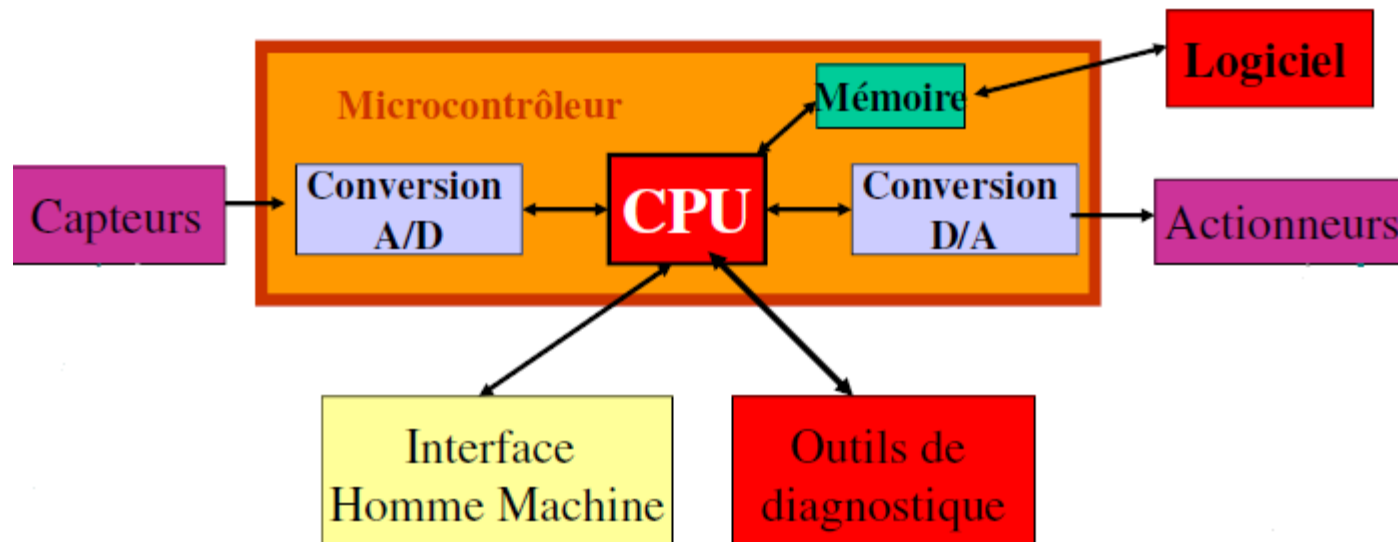
- Le non respect du délai provoque une mauvaise perception chez l'utilisateur
- Ex: systèmes téléphoniques, multimédia...

# Architecture générale d'un SE



# Processeur vs microcontrôleur

- Processeur: circuit intégré contenant la CPU
- Microcontrôleur: circuit intégré contenant la CPU, la mémoire RAM , ROM, Flash, les interfaces d'entrées/sorties en même temps



# Architecture Harvard Vs Von Neumann

## ■ Architecture Von Neumann:

- Les données et le code co-existent dans la mémoire centrale (avec un seul bus d'accès à cette mémoire)
- Utilisée principalement dans l'architecture X86 d'intel, ARM7

## ■ Architecture Harvard

- 02 mémoires séparées sont associées aux programmes et aux données → des bus différents pour faire l'accès
- Possibilité de faire le parallélisme entre l'exécution des instructions et le fetch des instructions
- Mmodèle employé dans les microcontrôleurs PIC, AVR, ARM9...

# Processeurs CISC Vs RISC

## ■ Complex instruction set computer:

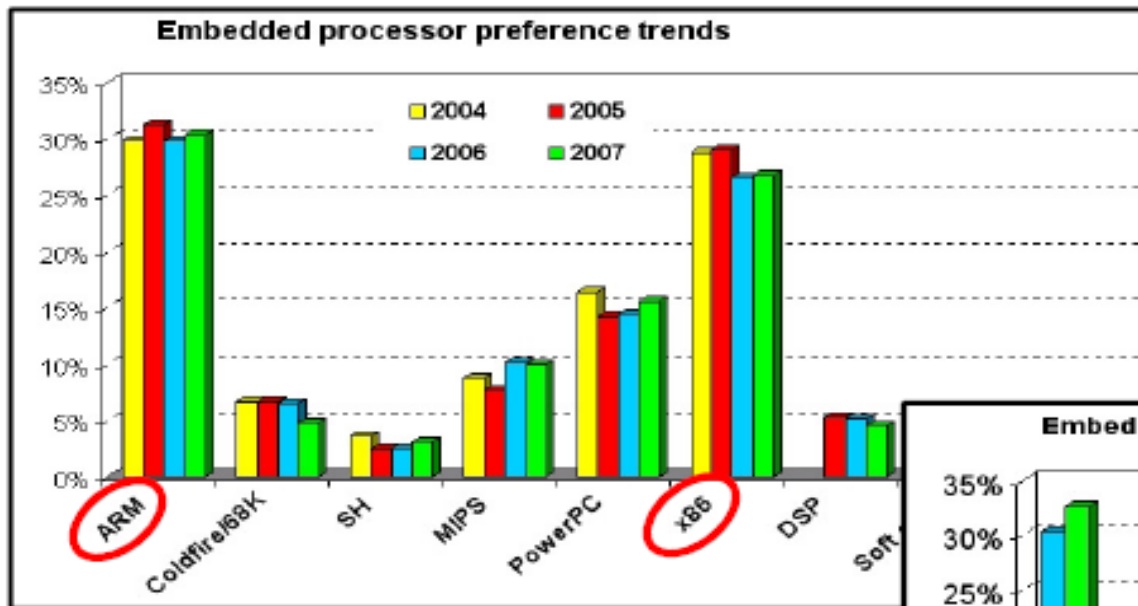
- un nombre élevé d'instructions avec des tailles variables et de nombreux modes d'adressages
- L'exécution d'une instruction peut durer plusieurs cycles
- La taille du code ASM est généralement petite
- EX: P4, I3, AMD ATHLON,...

## ■ Reduced instruction set computer

- Un nombre réduit d'instructions
- Architecture Load/store
- Durée d'exécution est fixe pour toutes les instructions (1 cycle d'horloge)
- La taille du code ASM est généralement longue
- Ex: ARM Cortex, PowerPC, MIPS, ITANIUM,...

# CPU du marché embarqué

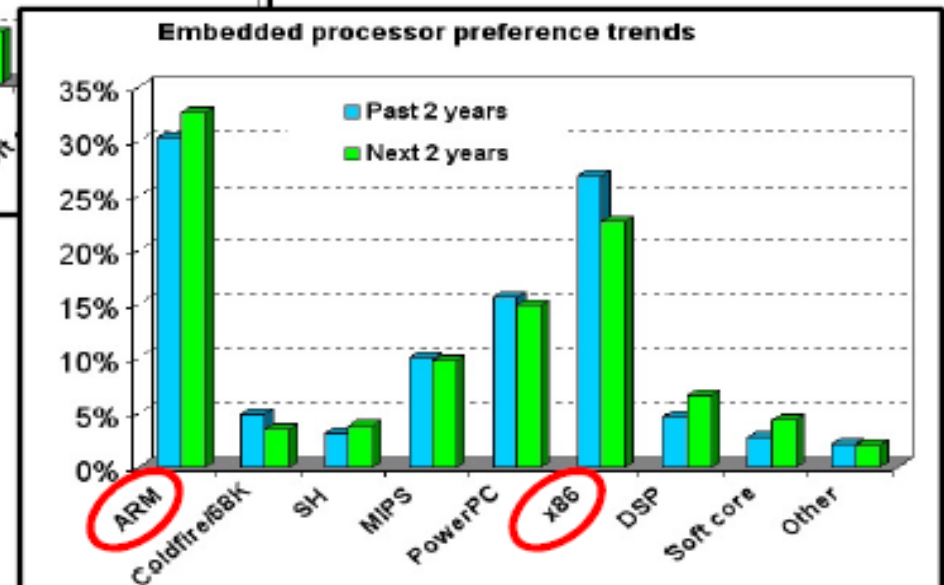
Source: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/Linux-For-Devices-Articles/Snapshot-of-the-embedded-Linux-market-April-2007/>



*Les processeurs ARM et x86 occupent presque 60 % du marché.*

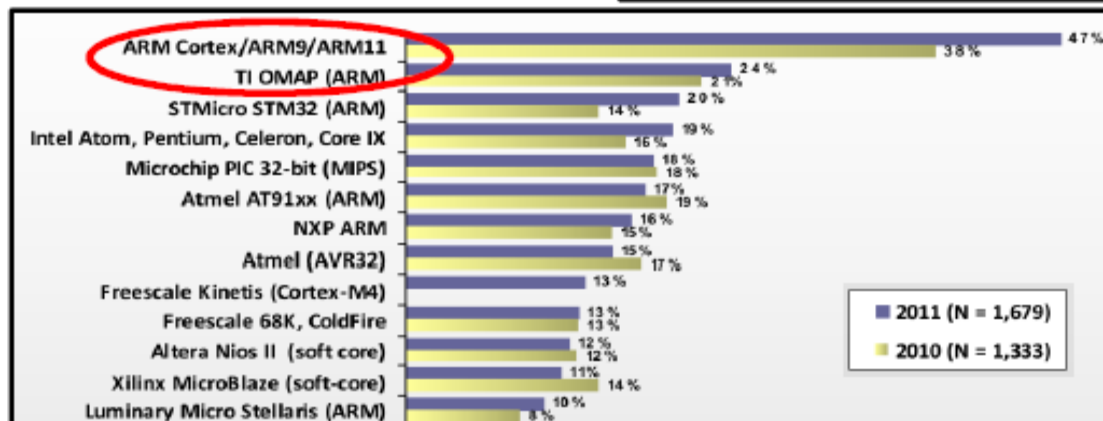
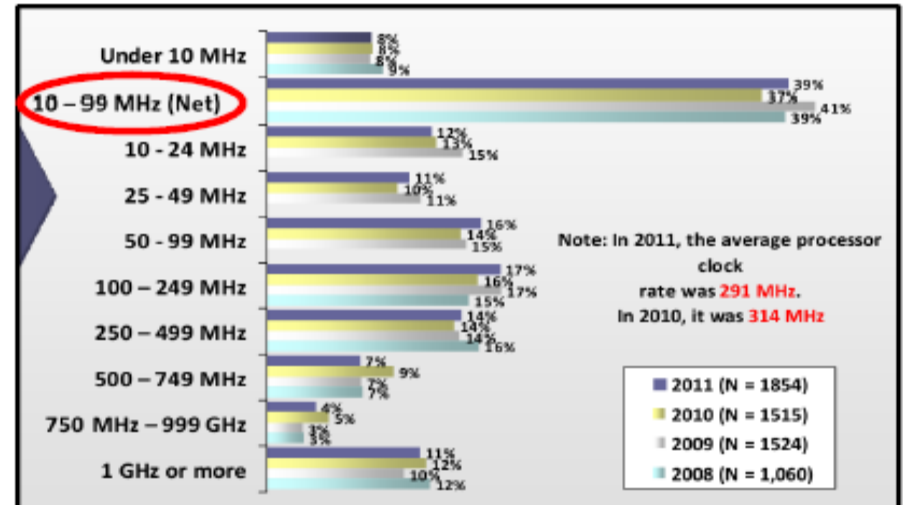
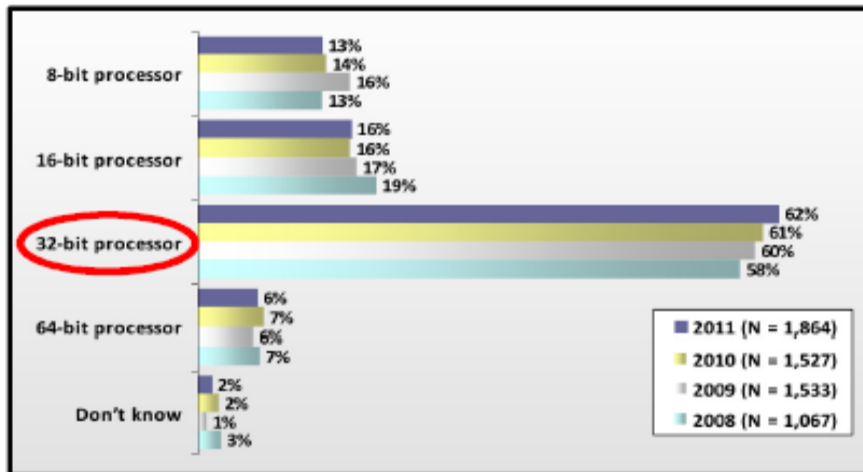
*Les processeurs ARM sont très utilisés dans les téléphones « intelligents ».*

*L'infiltration du marché par les processeurs ARM continue de croître, au détriment des processeurs x86*

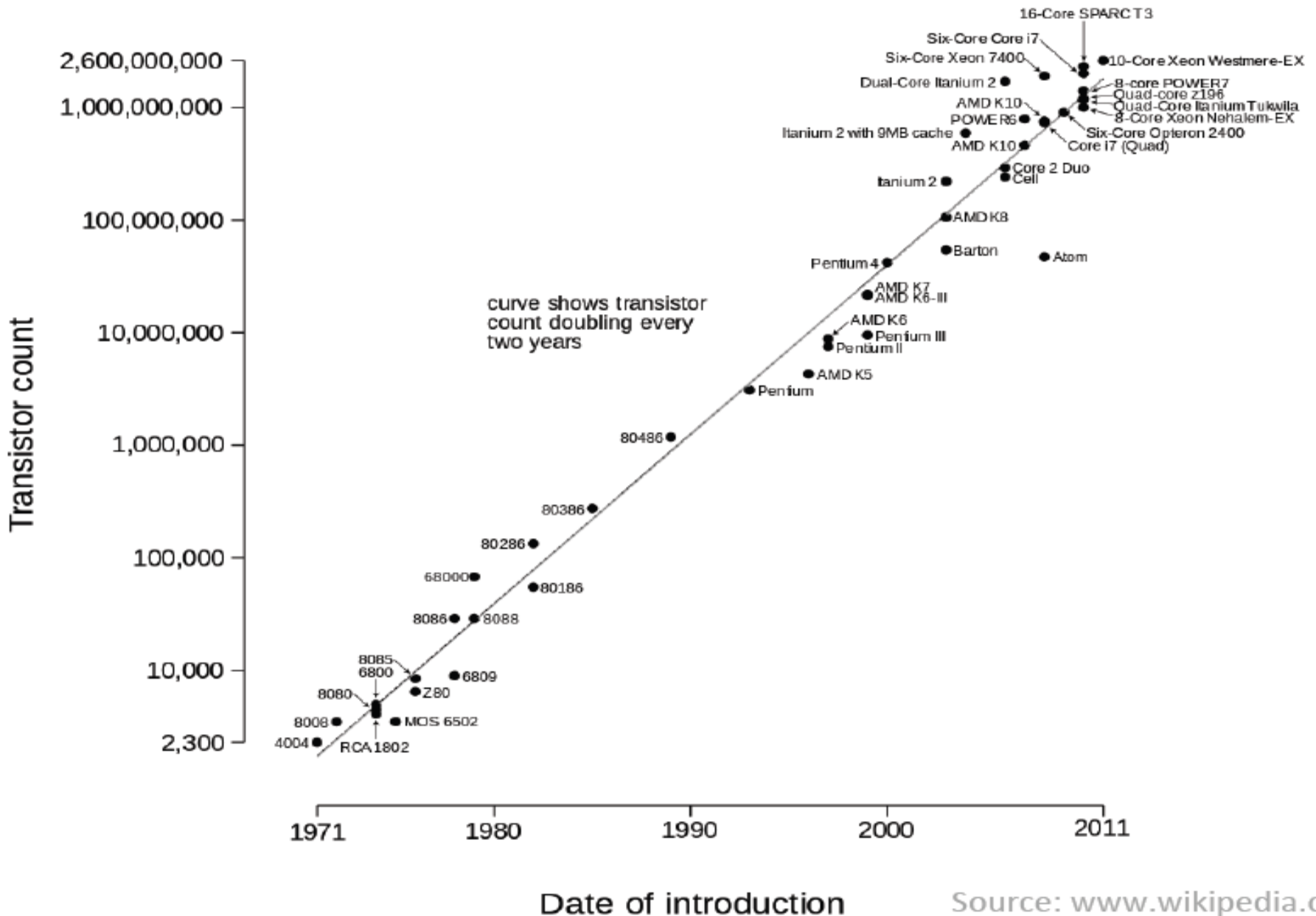


# CPU du marché embarqué

Source: EETimes 2011 Presentation of Embedded Markets Study



# Loi de moore

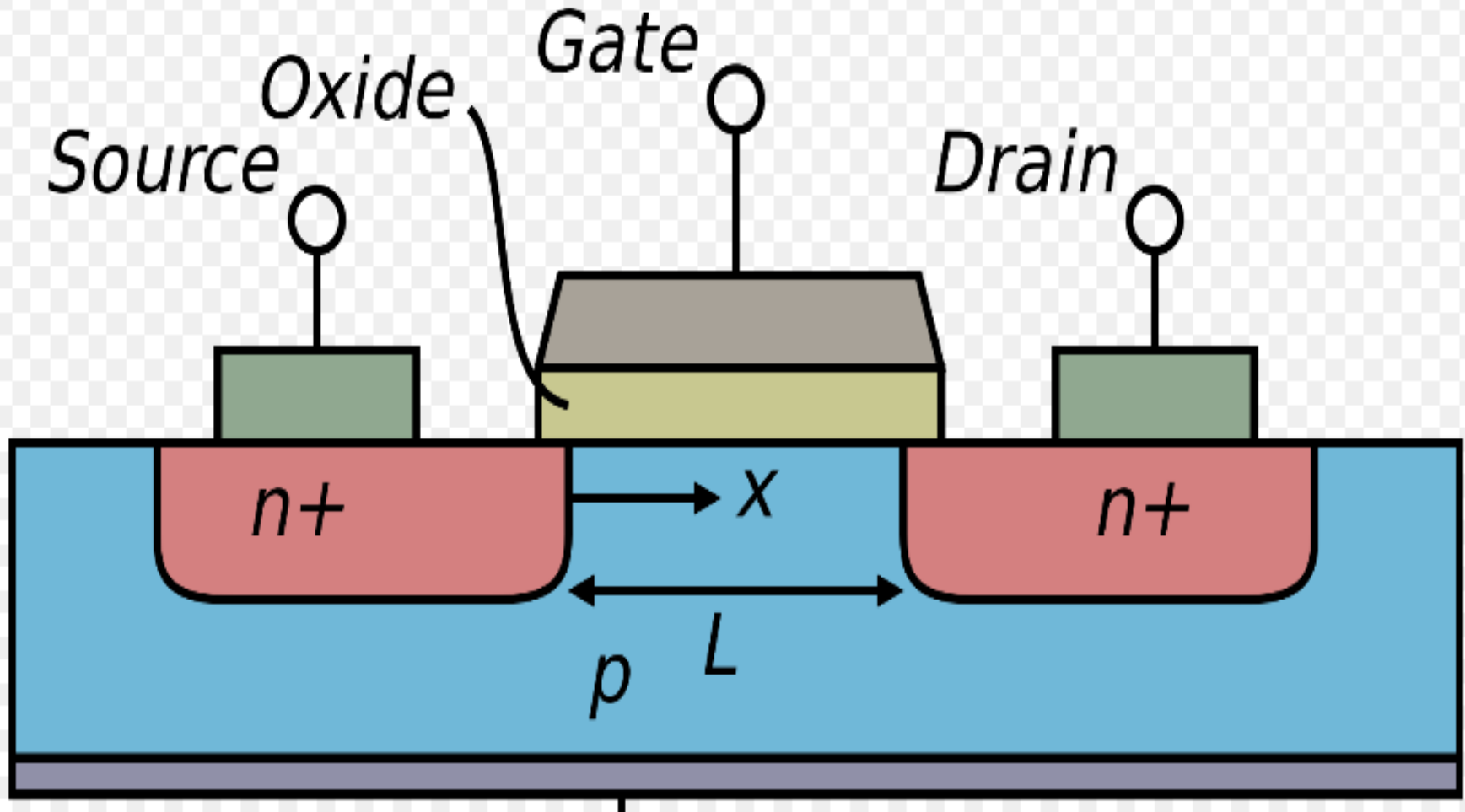




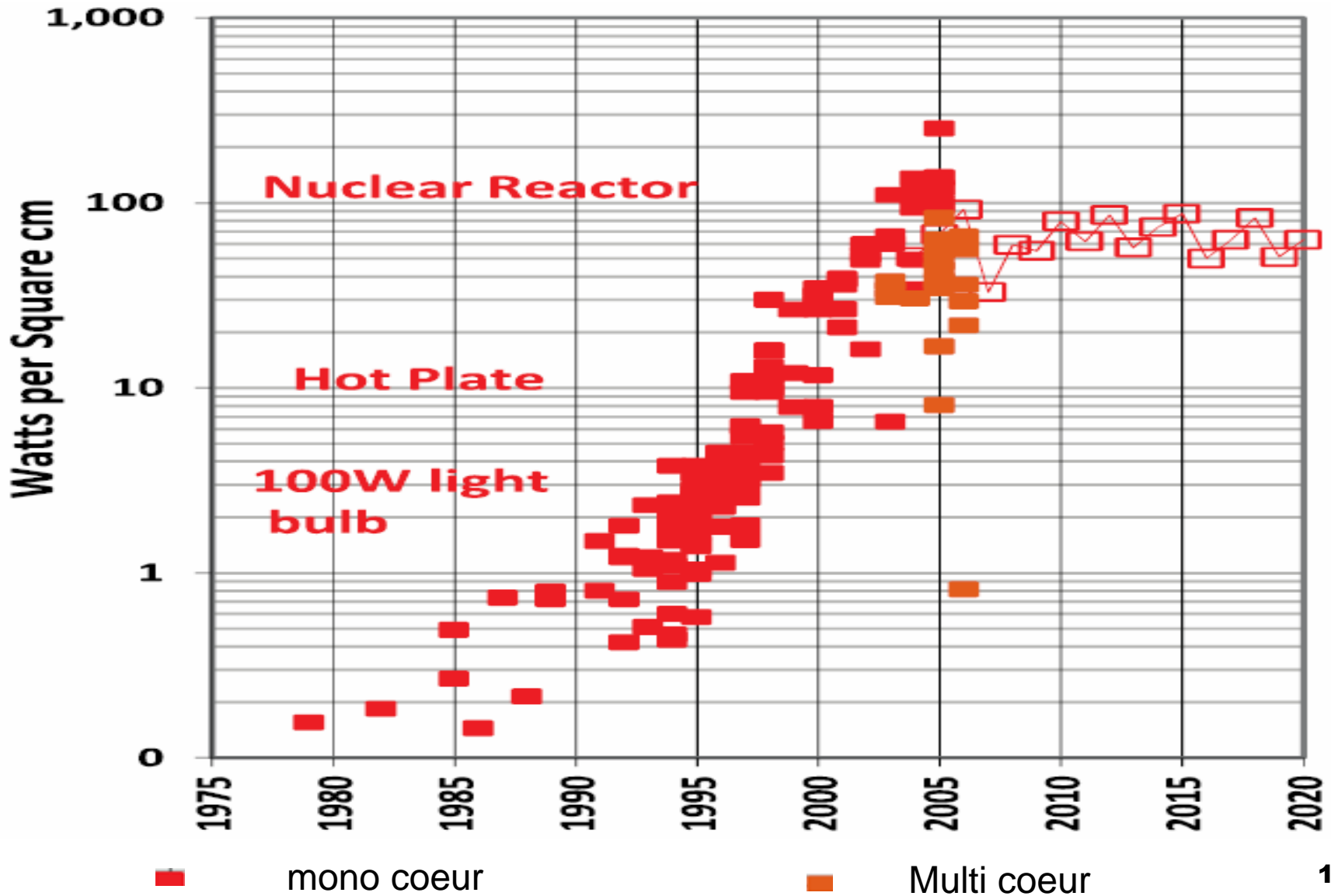
# problemes

- La vitesse d'accès à la mémoire RAM n'augmente qu'avec 1.1 toutes les 02 ans, en contradiction avec \*2 pour la vitesse de calcul des CPU (horloge)
- Ce mur de mémoire freine le calcul à haute performance
- Rupture de la loi de moore:
  - la dissipation de la chaleur au niveau des transistors Mosfet arrête l'augmentation de la fréquence → blocage momentané de la loi de moore
  - Le calcul à haute performance doit être implémenté avec d'autres idées

# Transistor Mosfet



# Dissipation de la chaleur



# Causes de l'échauffement des transistors

## ■ Consommation dynamique de l'énergie

- $P = 1/2 C V^2 f \cdot \alpha$
- $V$  et  $f$  sont mathématiquement reliés (positivement)
- Une réduction de 20% de  $V$  autorise un gain de 4 % dans  $P$  ( $f$  reste fixé)

## ■ Consommation statique de l'énergie

- La miniaturisation implique un courant de fuite de/vers l'élément « gate »
- la réduction exagérée de  $V$  implique aussi un courant de fuite

# solutions

- Au lieu d'augmenter la fréquence des horloges on augmente le nombre de « cœurs » sur une puce
  - Réduction de la vitesse d'horloge
  - Réduction du voltage
- Fréquence limitée → consommation réduite
- Processeurs multi-cœurs posent de nouveaux défis
  - Problèmes de synchronisation
  - Problèmes de communication

# ARM vs Atom Vs i7

	Cortex A15 (no L2, 32nm)	Cortex A9 (no L2, 40nm )	Atom N270 (45nm)	i7 960 (45nm)
Number of Cores	2 (4 maximum)	2 (4 maximum)	1 Core, 2 HT threads	4 Cores, 8 HT threads
Frequency	1Ghz – 2.5 Ghz	800Mhz (Po) 2Ghz (Per)	1.6 Ghz	3.2 Ghz
Out-of-Order?	Yes	Yes	No	Yes
L1 cache size	32KB I/D	32KB I/D	32KB I/D	32KB I/D
L2 cache size	N/A	N/A	512KB	1MB + 8MB L3
Issue Width	4	4	2	4?
Pipeline Stages	?	8	16	14 ~ 24 (?)
Supply Voltage	?	1.05V (Per)	0.9 – 1.1625 V	0.8-1.375 V
Transistor Count	?	26,00,000?	47,000,000	731,000,000
Die size	?	4.6 mm <sup>2</sup> (Po) 6.7 mm <sup>2</sup> (Per)	26 mm <sup>2</sup>	263 mm <sup>2</sup>
Power Consumption	?	0.5 W (Po) 1.9 W (Per)	2.5W (TDP)	130W (TDP)

# Exemples de consommation

- Pentium M 1.5 Banias (130 nm) 1.5 GHz 24.5 W
- Pentium 4 HT 530 Prescott (90 nm) 3 GHz 84 W
- Core i3-540 Clarkdale (32 nm) 3.06 GHz 73 W
- Core i5-660 Clarkdale (32 nm) 3.33 GHz 73 W
- Core i7-2600 [Sandy Bridge](#) (32 nm) 3.4 GHz @4 Cores 95 W
- Dual-core PowerPC MPC8641D 90 nm 2 GHz 1.2 V 15-25 W
- Itanium 2 1500 Madison (130 nm) 1.5 GHz 130 W
- Phenom X3 8750 Toliman (65 nm) 2.4 GHz 95 W (quad core)
- Raspberry Pi 3 1.2 GHz (ARM [Cortex-A53](#)) de 1.5 W - 6.7 W
- Arduino uno (dissipation moyenne) 0.7 W

# Domaines d'utilisation

- Processeurs power pc (RISC) de freescale/IBM
  - PlayStation III
  - [Nintendo](#)
  - Cameras, routeurs CISCo, véhicules (General Motors)
- Processeurs Motorola de freescale (CISC)
  - Imprimantes laser
  - Stations de travail SUN/HP, macintosh d'apple
  - Console de jeux arcade
- Processeurs MIPS(RISC) de [MIPS Technologies](#),
  - PlayStation II
  - [Nintendo](#)
  - Routeurs
  - Tablettes, smartphones



# Domaines d'utilisation

- Processeurs / micro-contrôleur d' ARM(RISC)
  - Smartphones , tablettes, smart watch (montres)
  - netbook, ipod media player
  - Robots lego Mindstorms de NXT
  - Tablettes, smartphones, PDA Cameras (canon)  
Nintendo\_DS, Smart TV
  - Arduino, Raspberry Pi
- Microcontrôleurs Atmel (dont le cœur est nommé AVR )
  - Ils suivent l'architecture Harvard 8 bits RISC
  - Disponibles dans:
    - dans les cartes arduino
    - Robots lego Mindstorms de NXT

# Informatique embarquée vs générale

## ■ Informatique générale :

- Processeur standard
- Multiples unités fonctionnelles (flottant, exécution désynchronisée, prédiction...)
- Fréquence élevée (> GHz)
- Consommation électrique élevée
- Chaleur
- Taille
- MMU (mémoire virtuelle)
- OS
- Cache
- Grand nombre de périphériques

## Informatique Embarquée :

- Processeur dédié (contrôleur)
- Architecture adaptée
- Vitesse faible (~200 MHz)
- 8-32bits : mémoire limitée
- Basse consommation
- Petite taille, faible coût
- Processeur DSP (traitements)
- Très puissants
- Quelques Mo de mémoire
- RTOS
- Pas de cache



FIN du Cours5