

# Systèmes temps réel embarqués



## Présentation générale

#### Volume horaire :

**CM**: 16h (12 séances d'1h20)

**TD**: 16h (12 séances d'1h20)

**TP**: 16h (12 séances d'1h20)



#### Coordonnées :

Audrey Queudet, Bureau 121 (UFR Sciences) / Bureau 501 (IRCCyN)

audrey.queudet@univ-nantes.fr

#### Ressources :

Cours, TD et TP en ligne sur Madoc

## Plan du cours

- Taxonomie des systèmes informatiques
- Systèmes temps réel
- Spécificités des OS pour le temps réel
- L'OS Xenomai pour le temps réel
- Systèmes embarqués
- Linux pour l'embarqué
- Marché des OS pour le temps réel et l'embarqué
- Modélisation d'applications temps réel avec UML 2.x

## Plan du cours

- Taxonomie des systèmes informatiques
- Systèmes temps réel
- Spécificités des OS pour le temps réel
- L'OS Xenomai pour le temps réel
- Systèmes embarqués
- Linux pour l'embarqué
- Marché des OS pour le temps réel et l'embarqué
- Modélisation d'applications temps réel avec UML 2.x

## Classification des systèmes informatiques

#### Selon leur architecture :

- Systèmes centralisés
- Systèmes distribués

## Selon leur support matériel d'exécution :

- Systèmes monoprocesseur
- Systèmes multiprocesseur
- Systèmes multicoeur

#### Selon leurs contraintes :

- Systèmes temps réel
- Systèmes embarqués

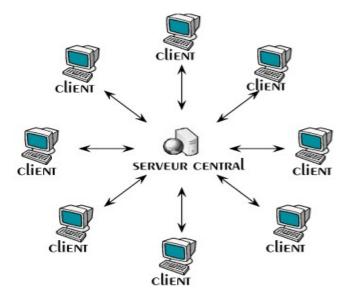
## Architectures des systèmes informatiques (1)

## Systèmes centralisés

- La ressource demandée n'est disponible qu'en un point central du réseau et les clients ne sont que des demandeurs de cette ressource
- Architecture client-serveur
- Exemples d'applications :

Consultation de pages sur un site web Courriels et serveur de messagerie

Base de données centralisée



Architecture client-serveur

## Architectures des systèmes informatiques (2)

Avantages des systèmes centralisés



- Simplification des contrôles de sécurité
- Mise à jour des données et des logiciels facilitée

Inconvénients des systèmes centralisés

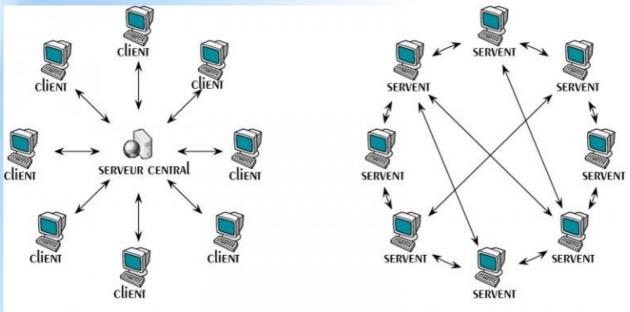


- Risque de surcharge du serveur central
- Problèmes liés aux indisponibilités/pannes du serveur central

## Architectures des systèmes informatiques (3)

## Systèmes distribués

- Toutes les ressources ne se trouvent pas au même endroit ou sur la même machine
- Architecture pair-à-pair



Architecture client-serveur

Architecture pair-à-pair

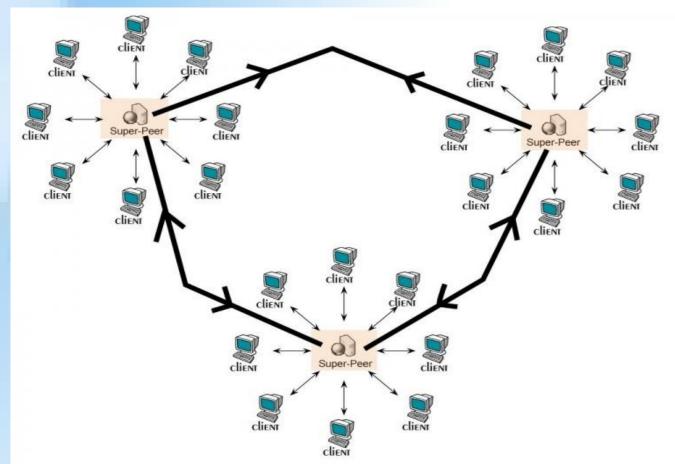
8

Module X7IA010 : Systèmes temps réel embarqués

Audrey Queudet 2015-2016

## Architectures des systèmes informatiques (4)

Architectures hybrides (n-tiers)





## Architectures des systèmes informatiques (5)

#### Exemples d'applications :

Calcul réparti

Flux multimédia continus (streaming)

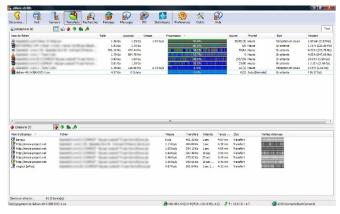
Séquençage de motifs d'ADN

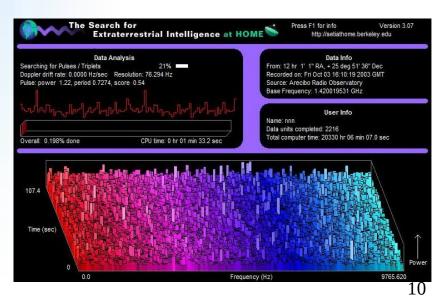
Décryptage de signaux spatiaux

Téléphonie sur Internet

Partage de fichiers







Audrey Queudet 2015-2016

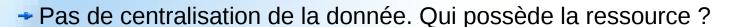
# Architectures des systèmes informatiques (6)

Avantages des systèmes distribués



Présence des ressources même en cas de pannes

Inconvénients des systèmes distribués

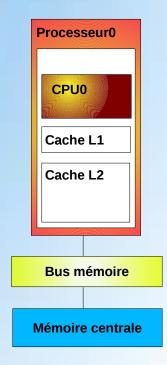


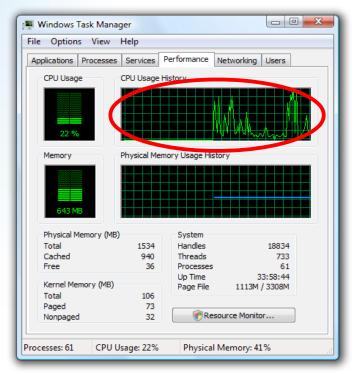
Applications pair-à-pair beaucoup plus difficiles à concevoir

## **Supports matériel d'exécution (1)**

## Systèmes monoprocesseur

 Un seul processeur exécute un ou plusieurs processus (pseudoparallélisme)

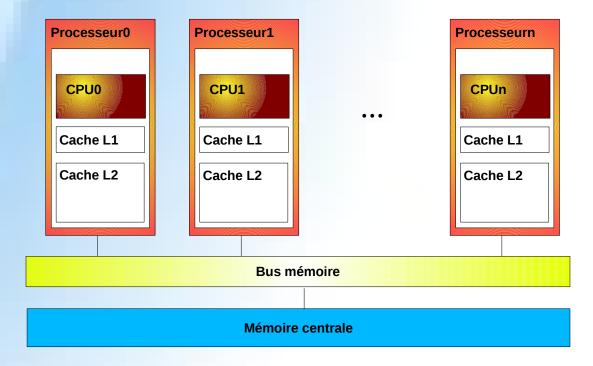




## **Supports matériel d'exécution (2)**

## Systèmes multiprocesseur

→ Plusieurs processeurs travaillent simultanément à l'exécution d'un ou plusieurs processus (vrai parallélisme)

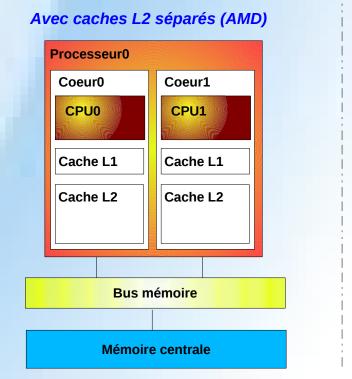


## **Supports matériel d'exécution (3)**

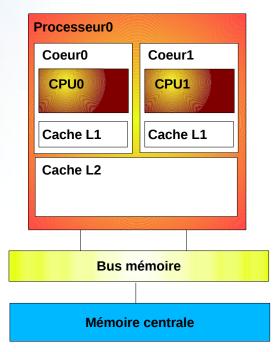


## Systèmes multicoeurs

→ Plusieurs coeurs travaillent simultanément à l'exécution d'un ou plusieurs processus (vrai parallélisme)



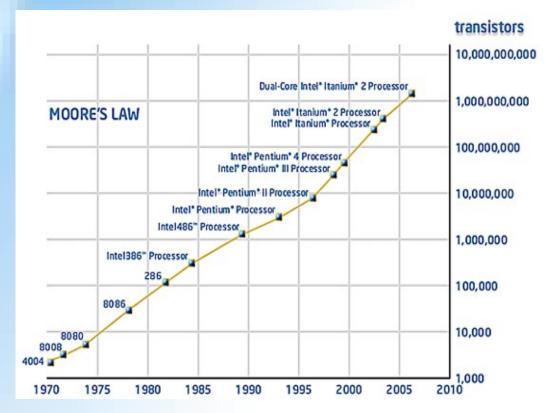




14

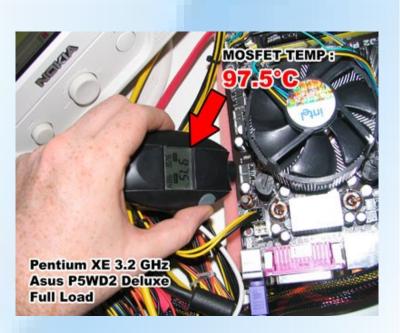
## Supports matériel d'exécution (4)

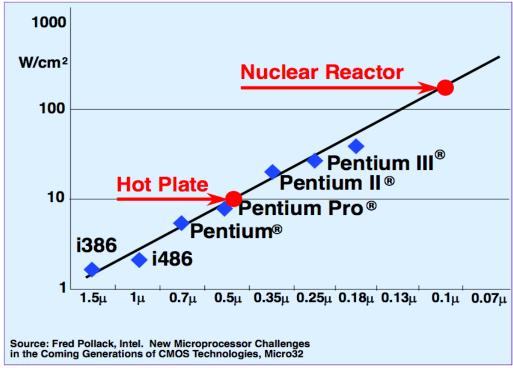
- Le multicore, pourquoi ?
  - Evolution technologique des processeurs



## **Supports matériel d'exécution (5)**

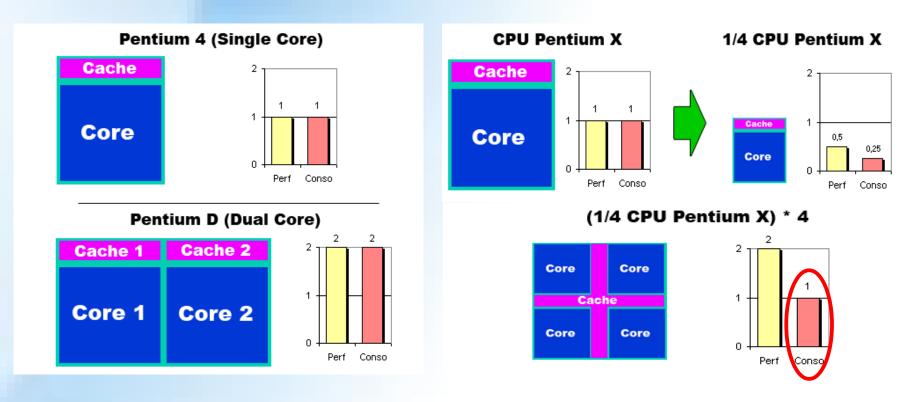
- Le multicore, pourquoi ?
  - Limitations physiques : problème de la dissipation thermique





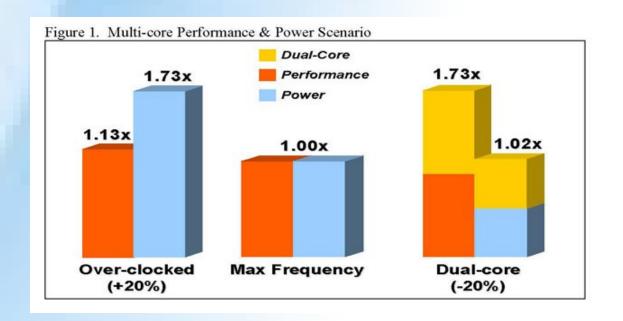
## Supports matériel d'exécution (6)

- Le multicore, pourquoi ?
  - Optimiser la consommation énergétique



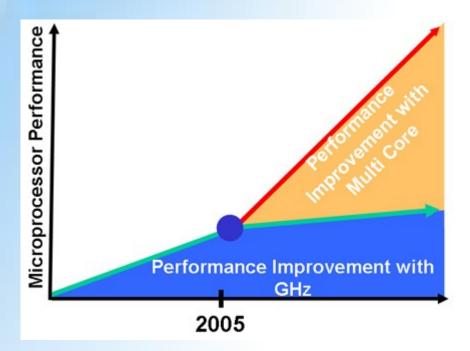
## **Supports matériel d'exécution (7)**

- Le multicore, pourquoi ?
  - Consommation énergétique vs. performances



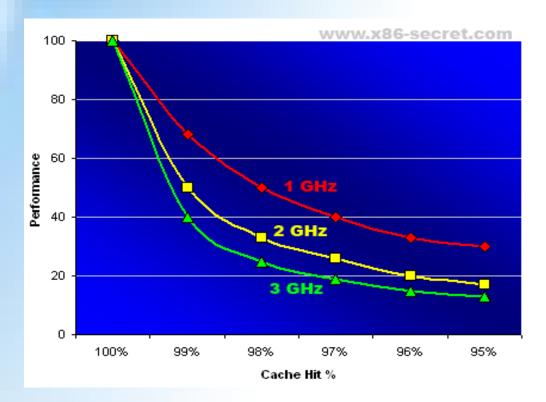
## Supports matériel d'exécution (8)

- Le multicore, pourquoi ?
  - Augmentation de la fréquence vs. augmentation du nb de coeurs



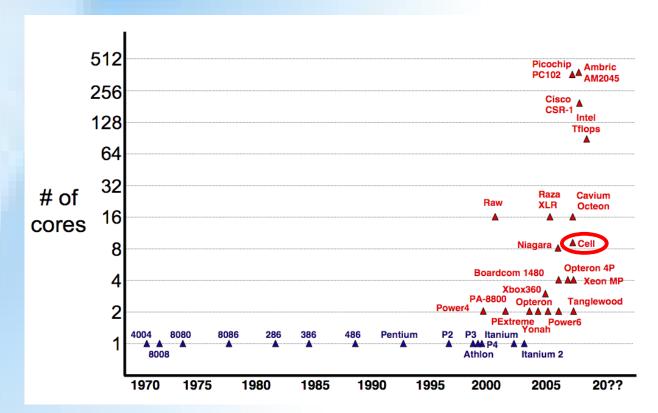
# Supports matériel d'exécution (9)

- Le multicore, pourquoi ?
  - L'importance de la taille des caches



## Supports matériel d'exécution (10)

- Le multicore, pourquoi ?
  - La rapide croissance du nombre de coeurs



# Quelques processeurs du marché (1)

#### Chez AMD:

→ AMD Athlon LE/ Sempron







AMD Athlon LE / Sempron											
Modèle	Fréquence	VCore	Socket	L2	L3	Freq. HT	TDP				
Athlon LE-1640	2.7 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	1x 512 Ko	N/A	1.0 GHz	45 W				
Athlon LE-1620	2.4 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	1x 1 Mo	N/A	1.0 GHz	45 W				
Sempron LE-2100*	1.8 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2 x 256 Ko	N/A	800 MHz	65 W				
Sempron LE-1300	2.3 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	1x 512 Ko	N/A	800 MHz	45 W				
Sempron LE-1250	2.2 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	1x 512 Ko	N/A	800 MHz	45 W				
Sempron LE-1200	2.1 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	1x 512 Ko	N/A	800 MHz	45 W				

# Quelques processeurs du marché (2)

#### Chez AMD:

- AMD Athlon X2 Dual-Core







AMD Athlon X2 Dual-Core										
Modèle	Fréquence	VCore	Socket	L2	Core	Freq. HT	TDP			
Athlon X2 7750	2.7 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K10	1.8 GHz	95 W			
Athlon X2 7550	2.5 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K10	1.8 GHz	95 W			
Athlon X2 6000*	3.1 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	89 W			
Athlon X2 5800	3.0 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	125 W			
Athlon X2 5600	2.9 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	65 W			
Athlon X2 5400	2.8 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	65 W			
Athlon X2 5200	2.7 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 1 Mo	K8	1.0 GHz	65 W			
Athlon X2 5050e	2.6 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	45 W			
Athlon X2 5000	2.6 GHz	1.30 - 1.35 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	65 W			
Athlon X2 4850e	2.5 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	45 W			
Athlon X2 4450e	2.3 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	45 W			
Athlon X2 4050e	2.1 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	2x 512 Ko	K8	1.0 GHz	45 W			

# Quelques processeurs du marché (3)

#### Chez AMD:

- AMD Athlon Phenom X3







AMD Phenom X3 Triple-Core Serie 8000												
Modèle	Fréquence	VCore	Socket	L2	L3	Freq. HT	TDP					
Phenom X3 8850	2.5 GHz	1.20 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W					
Phenom X3 8750*	2.4 GHz	1.20 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W					
Phenom X3 8650	2.3 GHz	1.20 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W					
Phenom X3 8550	2.2 GHz	1.20 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W					
Phenom X3 8450	2.1 GHz	1.20 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W					
Phenom X3 8450e	2.1 GHz	1.12 - 1.20 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	65 W					
Phenom X3 8250e	1.9 GHz	1.12 - 1.20 V	AM2+ (DDR2-1066)	3x 512 Ko	2 Mo	1.6 GHz	65 W					

# Quelques processeurs du marché (4)

#### Chez AMD:

- AMD Athlon Phenom X4







AMD Phenom X4 Quad-Core Serie 9000										
Modèle	Fréquence	VCore	Socket	L2	L3	Freq. HT	TDP			
Phenom X4 9950*	2.6 GHz	1.20 - 1.30 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	2.0 GHz	125 W			
Phenom X4 9850*	2.5 GHz	1.20 - 1.30 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	2.0 GHz	95 W			
Phenom X4 9750	2.4 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W			
Phenom X4 9650	2.3 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W			
Phenom X4 9550	2.2 GHz	1.15 - 1.25 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	95 W			
Phenom X4 9450e	2.1 GHz	1.07 - 1.13 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	65 W			
Phenom X4 9350e	2.0 GHz	1.07 - 1.13 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.8 GHz	65 W			
Phenom X4 9150e	1.8 GHz	1.07 - 1.13 V	AM2+ (DDR2-1066)	4x 512 Ko	2 Mo	1.6 GHz	65 W			

# Quelques processeurs du marché (5)

#### Chez Intel :

Intel Celeron







Intel Celeron											
Modèle	Fréquence	Gravure	FSB	Ratio	L2	VCore	TDP				
Celeron DC <b>E1500</b>	2.20 GHz	65 nm	800 MT/s	11 x 200 MHz	512 Ko	1.16 - 1.31V	65 W				
Celeron DC <b>E1400</b>	2.00 GHz	65 nm	800 MT/s	10 x 200 MHz	512 Ko	1.16 - 1.31V	65 W				
Celeron DC E1200	1.60 GHz	65 nm	800 MT/s	8 x 200 MHz	512 Ko	1.16 - 1.31V	65 W				
Celeron 450	2.20 GHz	65 nm	800 MT/s	11 x 200 MHz	512 Ko	1.00 - 1.34V	35 W				
Celeron 440	2.00 GHz	65 nm	800 MT/s	10 x 200 MHz	512 Ko	1.00 - 1.34V	35 W				
Celeron 430	1.80 GHz	65 nm	800 MT/s	9 x 200 MHz	512 Ko	1.00 - 1.34V	35 W				
Celeron 420	1.60 GHz	65 nm	800 MT/s	8 x 200 MHz	512 Ko	1.00 - 1.34V	35 W				

## Quelques processeurs du marché (6)

#### Chez Intel:

→ Intel Pentium Dual-Core







Intel Pentium Dual-Core												
Modèle	Fréquence	Gravure	FSB	Ratio	L2	VCore	TDP					
Pentium DC <b>E5300</b>	2.60 GHz	45 nm	800 MT/s	13 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Pentium DC <b>E5300</b>	2.50 GHz	45 nm	800 MT/s	12.5 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Pentium DC E2220	2.40 GHz	65 nm	800 MT/s	12 x 200 MHz	1 Mo	1.16 - 1.31V	65 W					
Pentium DC <b>E2200</b>	2.20 GHz	65 nm	800 MT/s	11 x 200 MHz	1 Mo	1.16 - 1.31V	65 W					
Pentium DC <b>E2180</b>	2.00 GHz	65 nm	800 MT/s	10 x 200 MHz	1 Mo	1.16 - 1.31V	65 W					
Pentium DC <b>E2160</b>	1.80 GHz	65 nm	800 MT/s	9 x 200 MHz	1 Mo	1.16 - 1.31V	65 W					
Pentium DC E2140	1.60 GHz	65 nm	800 MT/s	8 x 200 MHz	1 Mo	1.16 - 1.31V	65 W					

# **Quelques processeurs du marché (7)**

#### Chez Intel :

→ Intel Core 2 Duo





	Intel Core 2 Duo (2 Core)											
Modèle	Fréquence	Gravure	FSB	Ratio	L2	VCore	TDP					
Core 2 Duo <b>E8600</b>	3.33 GHz	45 nm	1333 MT/s	10 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E8500</b>	3.16 GHz	45 nm	1333 MT/s	9.5 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E8400</b>	3.00 GHz	45 nm	1333 MT/s	9 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E8300</b>	2.83 GHz	45 nm	1333 MT/s	8.5 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E8200</b>	2.66 GHz	45 nm	1333 MT/s	8 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E8190</b>	2.66 GHz	45 nm	1333 MT/s	8 x 333 MHz	6 Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E7400</b>	2.80 GHz	45 nm	1066 MT/s	10.5 x 266 MHz	3 Мо	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E7300</b>	2.66 GHz	45 nm	1066 MT/s	10 x 26 d MHz	3 Мо	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E7200</b>	2,53 GHz	45 nm	1066 MT/s	9.5 x 266 MHz	Mo	0.85 - 1.36V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6850</b>	3.00 GHz	65 nm	1333 M7/s	9 x 883 MHz	Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6750</b>	2.66 GHz	65 nm	1333 MT/s	333 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6700</b>	2.66 GHz	65 m	1/46/MT/s	10 × 266 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6600</b>	2.40 GHz	6.5 nm	1066 MT/s	9 x 266 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6550</b>	2.33 GHz	65 l m	1332 MT/s	7 x 333 MHz	4 Mo	0.85 - 1,50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6540</b>	2,33 GHz	65 nm	1333 MT/s	7 x 333 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6420</b>	2.13 GHz	65 nm	1066 MT/s	8 x 266 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6400</b>	2.13 GHz	65 nm	1066 MT/s	8 x 266 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E6300</b>	1.86 GHz	65 nm	1066 MT/s	7 x 266 MHz	4 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E4700</b>	2.60 GHz	65 nm	800 MT/s	13 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E4600</b>	2,40 GHz	65 nm	800 MT/s	12 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E4500</b>	2.20 GHz	65 nm	800 MT/s	11 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E4400</b>	2.00 GHz	65 nm	800 MT/s	10 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					
Core 2 Duo <b>E4300</b>	1.80 GHz	65 nm	800 MT/s	9 x 200 MHz	2 Mo	0.85 - 1.50V	65 W					

# Quelques processeurs du marché (8)

#### Chez Intel:

Intel Core 2 Quad







Intel Core 2 Quad (4 Core)											
Modèle	Fréquence	Gravure	FSB	Ratio	L2	VCore	TDP				
Core 2 Quad <b>Q9650</b>	3.00 GHz	45 nm	1333 MT/s	9 x 333 MHz	2 x 6 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q9550</b>	2.83 GHz	45 nm	1333 MT/s	8.5 x 333 MHz	2 x 6 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q9400</b>	2.66 GHz	45 nm	1333 MT/s	8 x 333 MHz	2 x 3 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q9450</b>	2.66 GHz	45 nm	1333 MT/s	8 x 333 MHz	2 x 6 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q9300</b>	2.50 GHz	45 nm	1333 MT/s	7.5 x 333 MHz	2 x 3 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q8300</b>	2.50 GHz	45 nm	1333 MT/s	7.5 x 333 MHz	2 x 2 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q8200</b>	2.33 GHz	45 nm	1333 MT/s	7 x 333 MHz	2 x 2 Mo	0.85 - 1.36V	95 W				
Core 2 Quad <b>Q6700</b>	2.66 GHz	65 nm	1066 MT/s	10 x 266 MHz	2 x 4 Mo	0.85 - 1.50V	105 W				
Core 2 Quad <b>Q6600</b>	2.40 GHz	65 nm	1066 MT/s	9 x 266 MHz	2 x 4 Mo	0.85 - 1.50V	105 W				

# Quelques processeurs du marché (9)

#### Chez Intel :

→ Intel Core i7







Intel Core i7 (Quad Core)											
Modèle	Fréquence	Gravure	QPI	Ratio	LЗ	VCore	TDP				
Core i7-965 XE	3.20 GHz	45 nm	6.4 GT/s	24 x 133 MHz	8 Mo	0.80 - 1.37V	130 W				
Core i7-940	2.93 GHz	45 nm	4.8 MT/s	22 x 133 MHz	8 Mo	0.80 - 1.37V	130 W				
Core i7-920	2.66 GHz	45 nm	4.8 MT/s	20 x 133 MHz	8 Mo	0.80 - 1.37V	130 W				

# **Comparatifs de performances (1)**

## • Applications multimédia :

#### Comparatif CPU (Multimedia)

Index de performances (100% = Core 2 Quad Q6600) Core i7 965 182.4% 163.9% Core i7 940 Core i7 920 152.4% 138.1% Core 2 Quad Q9650 131.3% Core 2 Quad Q9550 120.8% Core 2 Quad Q9400 Core 2 Quad Q8300 105.8% Phenom X4 9950 Core 2 Duo E8600 101.2% Core 2 Quad Q6600 100.0% Core 2 Duo E8400 Phenom X4 9650 92.1% Core 2 Duo E7400 83.3% Core 2 Duo E8200 74.1% Phenom X3 8450 67.5% Pentium DC E5300 66.7% Core 2 Duo E4700 Athlon X2 7750+ 63.8% Athlon X2 6000+ Pentium DC E2220 Pentium DC E2200 Athlon X2 5000+ 53.6% 42.0% Celeron DC E1500 36.1% Sempron LE-2100 29.1% Athlon LE-1640 28.9% Celeron 450 Sempron LE-1300 26.0% Celeron 430 100% 150%

Module X7IA010 : Systèmes temps réel embarqués

Audrey Queudet 2015-2016

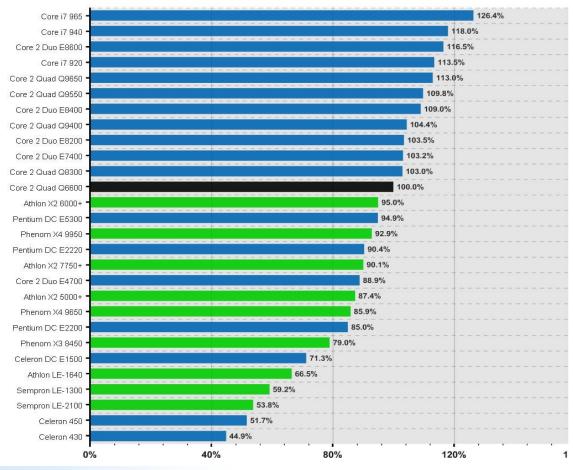
31

# **Comparatifs de performances (2)**

#### Jeux :

#### **Comparatif CPU (Jeux)**

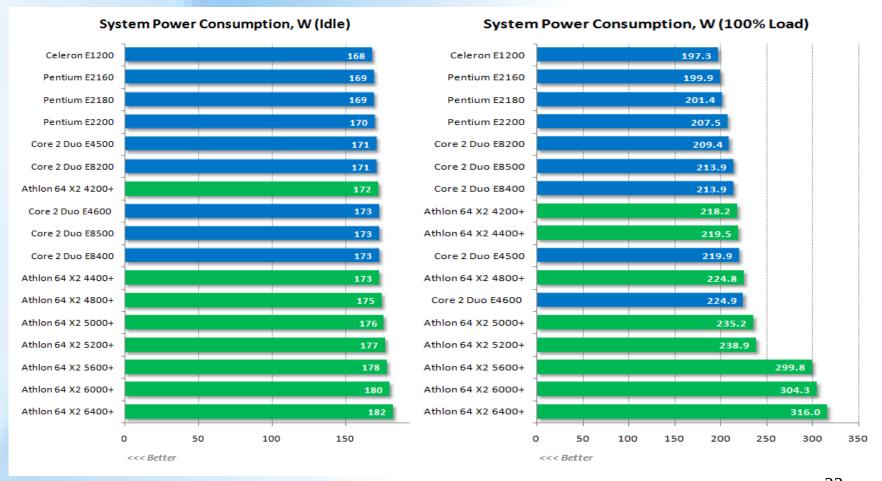
Index de performances (100% = Core 2 Quad Q6600)



32

## **Comparatifs de performances (5)**

#### Consommations:



# **Choix d'un processeur (1)**

# Multi-Core Processing DUMMIES

## Identifier le profil applicatif :

- Usage bureautique classique
- Création multimédia
- Jeux
- Serveurs
- Applications embarquées



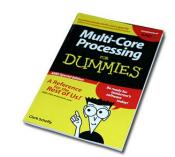


## Caractéristiques de base influant sur les performances :

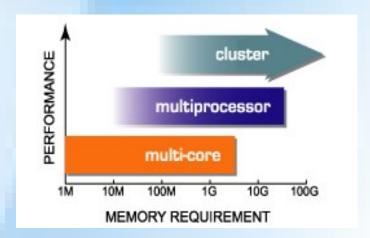
- Fréquence
- Nombre de coeurs
- Cache



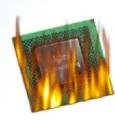
# Choix d'un processeur (2)



- Identifier les contraintes du système :
  - Mémoire



- Consommation électrique
- Dégagement de chaleur...
- Coûts...



## Systèmes critiques et/ou fortement contraints

## Systèmes temps réel

- Contraintes de temps
- Déterminisme
- Temps de réponse borné

## Systèmes embarqués

- Contraintes de mémoire (faible empreinte)
- Contraintes de consommation (faible énergie)
- Contraintes d'encombrement