

---

## Architectures avancées : Introduction

Daniel Etiemble  
de@lri.fr

### Les ordinateurs : de 1946 à aujourd'hui

---

- ENIAC (1946)
  - 19000 tubes
  - 30 tonnes
  - surface de 72 m<sup>2</sup>
  - consomme 140 kilowatts.
  - Horloge : 100 KHz.
  - $\approx$  330 multiplications/s
- Mon portable (2006)
  - Intel Duo Processor 2GHz
  - 1 Go DRAM, 100 Go disque
  - 1,9 kg



## « Systèmes informatiques »

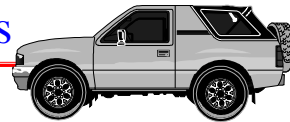


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

3

## Systèmes embarqués ou enfouis



- “Ordinateurs” camouflés



**Casio Camera Watch**



**Nokia 7110 Browser Phone**



**Sony Playstation 2**



**Philips DVD player**



**Philips TiVo Recorder**

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

*Prof. Stephen A. Edwards of Columbia University*

## Les grandes classes de système

Caractéristique	Ordinateur de bureau	Serveur	Enfoui/embarqué
Prix du microprocesseur	100 à 1000 €	200 à 2000 € par processeur	0,20 à 200 € par processeur
Microprocesseurs vendus en 2000	150 millions	4 millions	300 millions (en ne comptant que les 32 et 64 bits)
Critères	Prix-performance Performance graphique	Débit, disponibilité, extensibilité	Prix, puissance dissipée, performance pour l'application

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

5

## Ventes des microprocesseurs (fin du siècle dernier ☺)

- Processeurs enfouis/embarqués
  - 4 bits : 2 milliards
  - 8 bits : 4,7 milliards
  - 16 bits : 700 millions
  - 32 bits : 400 millions
- DSP (traitement du signal)
  - 600 millions
- Généralistes classiques
  - 150 millions

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

6


## Gammes de processeurs

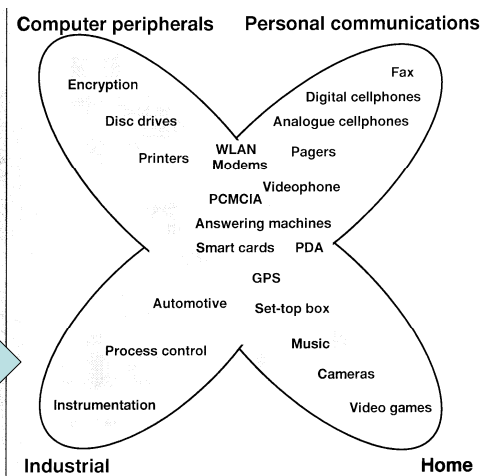
---

- Haut de gamme
  - Processeurs des PC et serveurs
- Spécialisé
  - Haut de gamme des générations précédentes  
Ex : MIPS « enfouis »
- Spécialisé embarqué
  - Faible consommation
  - Temps réel
- Contraintes
  - Prix
  - Performance
  - Encombrement
  - Consommation
  - Temps réel
    - temps d'exécution déterministe ou non

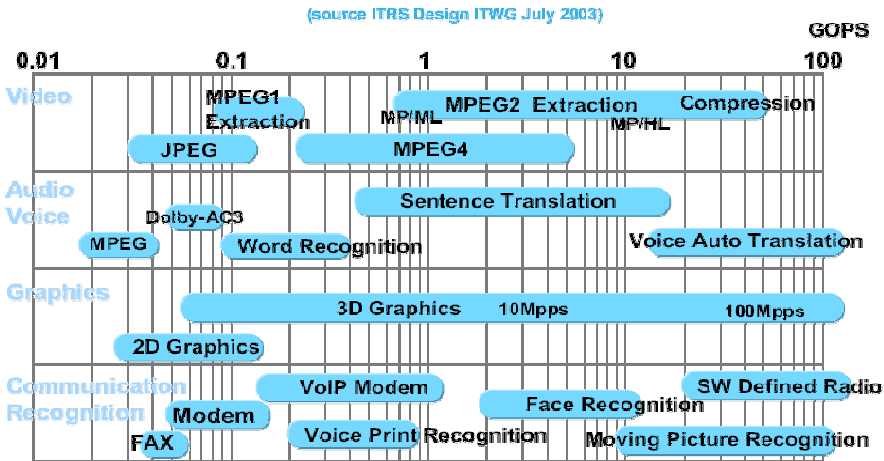
## Les applications

---

- Usage général
- Calcul Scientifique
- **GRAPHIQUE**
- Traitement du signal
- **JAVA**
- Bases de données
- WEB
- Enfoui et embarqué 



# “Roadmap” des applications enfouies



# “Roadmap” du traitement enfoui

Source ITRS Design ITWG July 2003

x 40

Process Technology (nm)	130	90	65	45	32	22
Operation voltage (V)	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.4
Clock frequency (MHz)	150	300	450	600	900	1200
Application (MAX performance required)	Still Image Processing	Real Time Video Codec	MPEG4/CIF	Real Time Interpretation		
Application (Others)	Web Browser	TV phone (1:1)	TV phone (>3:1)			
	Electric mailer	Voice recognition (input)	Voice recognition (operation)			
	Scheduler	Authentication (Crypto engine)				
Processing Performance (GOPS)	0.3	2	14	77	461	2458
Parallelism factor	1	4	4	4	4	4
Communication speed (Kbps)	64	384	2304	13824	82944	497664
Energy Efficiency (MOPS/mW)	3	20	140	770	4160	24580
Peak Power Consumption (mW)	100	100	100	100	100	100
Stand-by Power Consumption (mW)	2	2	2	2	2	2
Battery Capacity (Wh/kg)	120	200			400	

Performance  
Efficacité énergétique (MOPS/mW)  
Puissance dissipée  
Capacité batterie

## Exemple : industrie automobile

**Besoins**  
Hypothèse: une même architecture doit répondre aux différents besoins

THEME	BRIQUE LOGICIEL	BESOIN				
		Fonctions image (filtrage, contour)	Mémoire	Calculs complexes (matrice, flottant...)	Cadence (Hz)	Nombre de flux video
SECURITE	Reconnaissance des piétons	++	++	Non	>100 Hz	1 ou 2 (VIS. + IR)
	Détection d'obstacle	++	+++	++	>100 Hz	1 ou 2
	Détection de route	++	+	Non	>100 Hz	1
	Détection de ligne	++	++	++	30 Hz	1 ou 2
SERENITE/ PARKING	Fonctions de rétrovision	+	+	Non	15 Hz	1
	Park Assist	++	+++	+++	15 Hz	2 ou 3
VIE A BORD	Détection de l'occupant	++	++	Non	5-10 Hz	1 ou 2
NAVIGATION	Optical compass	+++	+++	+++	>15 Hz	1 ou 2

© Direction de la Recherche Ingénierie Véhicule

Hétérogénéité

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

Sources : C. Balle – Renault

11

## Les moteurs de l'évolution

- Les contraintes économiques
  - Lois économiques
  - Volumes de vente



**MARCHE GRAND PUBLIC**

**PCs**

**Intel, Microsoft**

**Consoles de jeux**

Sony, 3Com, Sun

**PDA**

**Stations**

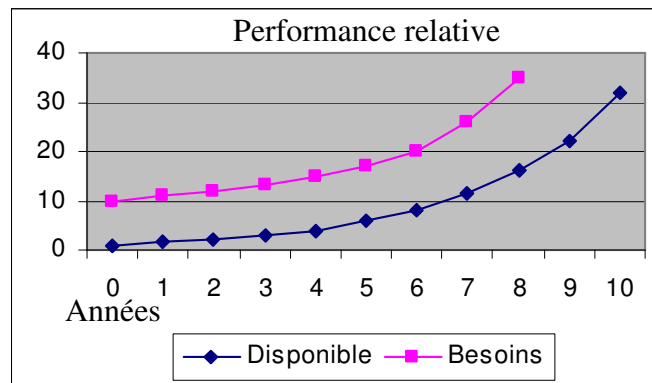
M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

12

## Le modèle économique Intel

Nouveau modèle plus performant tous les x années



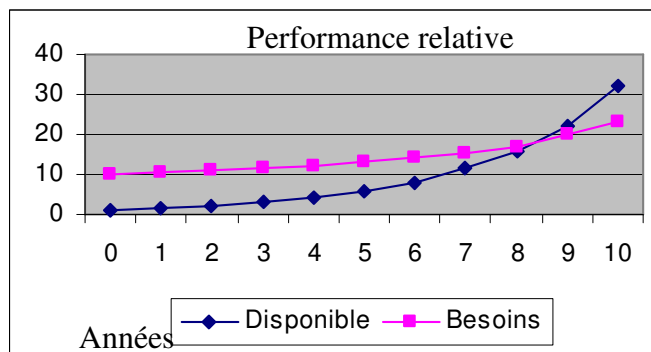
M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

13

## Un autre modèle économique

Performance supérieure aux besoins de « masse »



**Recherche des “killer applications”**

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

14

## Killer Application



M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

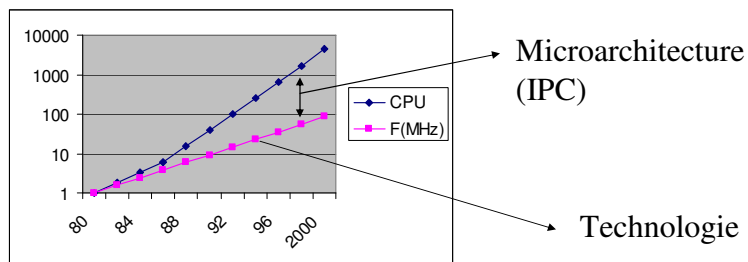
Architectures avancées  
D. Etiemble

15

## Performance : Microprocesseur

$$T_{\text{exécution}} = NI * CPI * T_c = \frac{NI}{IPC * F}$$

↘ Temps de cycle  
↙ Nombre de cycles/Instruction



M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

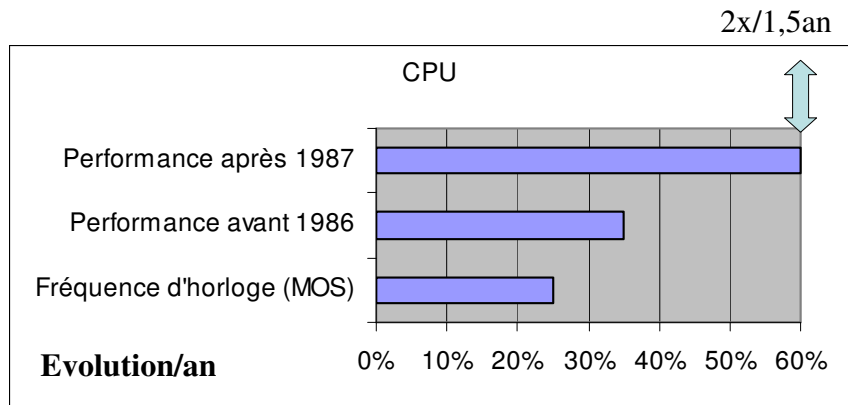
Architectures avancées  
D. Etiemble

16



# DES EXPONENTIELLES

## MICROPROCESSEURS



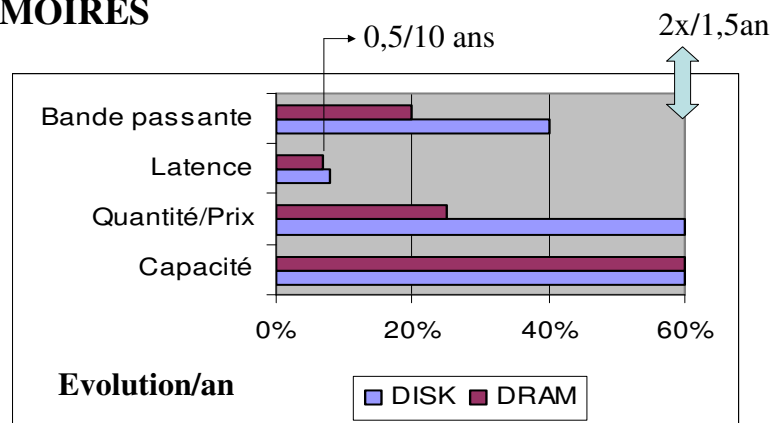
M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

17

# DES EXPONENTIELLES

## MEMOIRES



M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

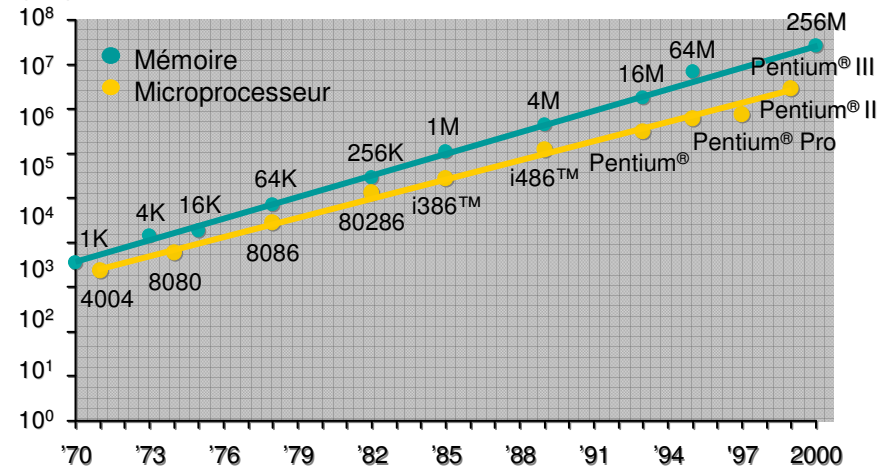
Architectures avancées  
D. Etiemble

18

## La loi de Moore

### Transistors

par puce

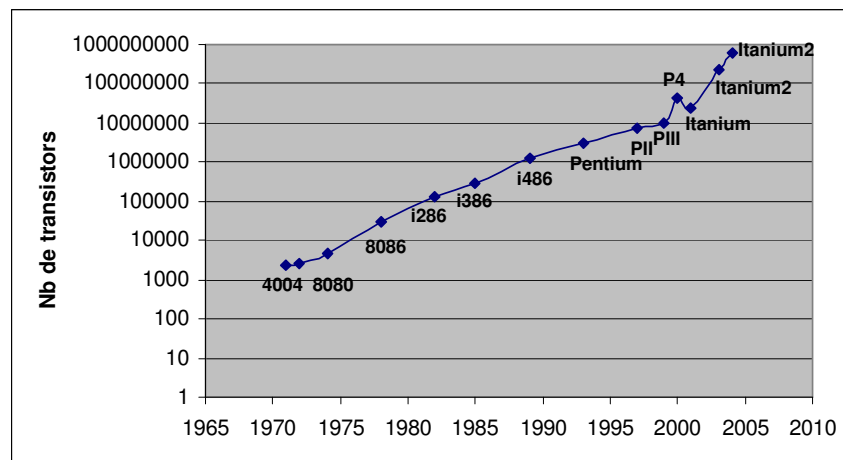


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

Source: Intel  
19

## Processeurs Intel : nombre de transistors l'année d'introduction

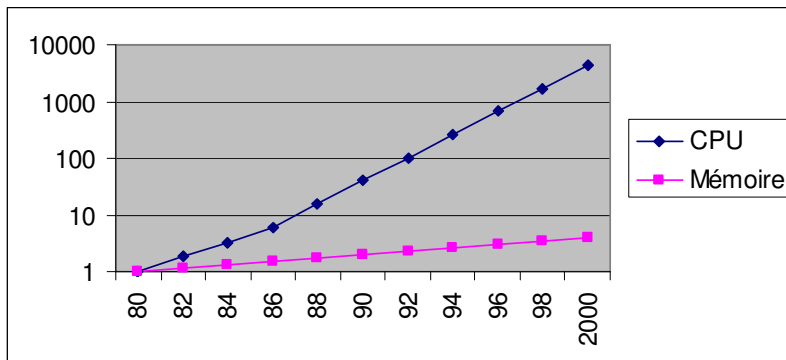


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

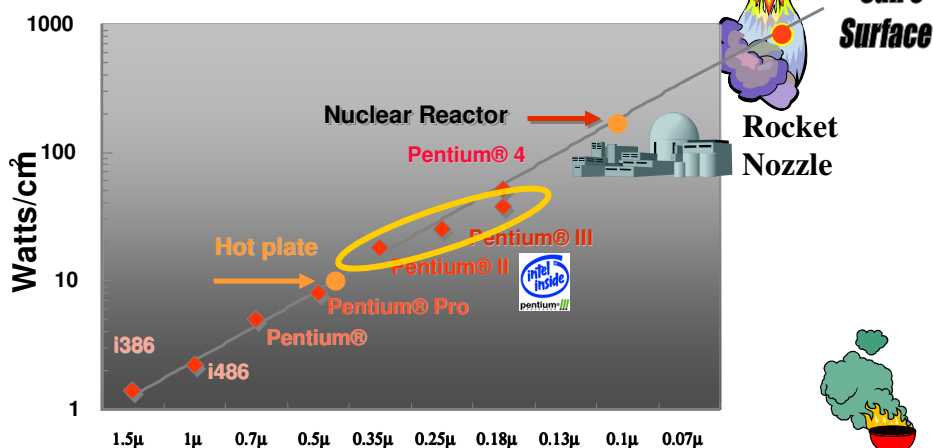
20

## LES DIFFERENTIELS



Complexité croissante de la hiérarchie mémoire : L1, L2, L3, MP

## La densité de puissance

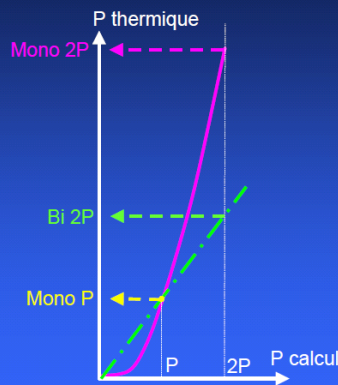


\* "New Microarchitecture Challenges in the Coming Generations of CMOS Process Technologies" – Fred Pollack, Intel Corp. Micro32 conference key note - 1999.

## Multiprocesseurs et puissance (d'après F. Anceau)

### Intérêt d'un multiprocesseur

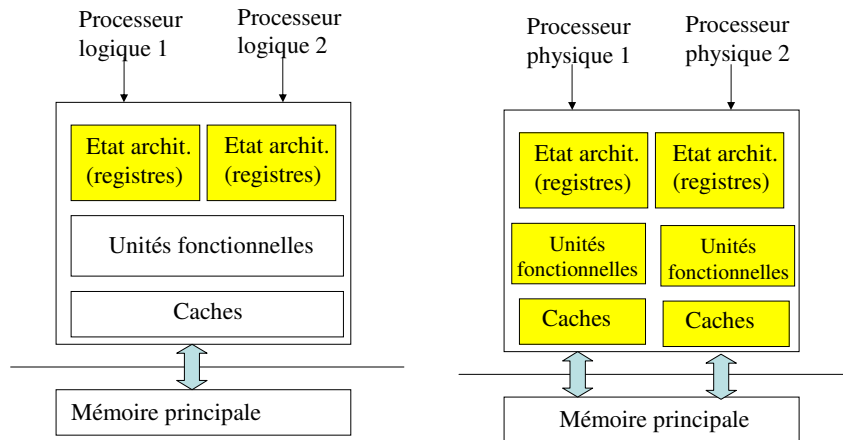
- La puissance thermique dégagée par un processeur dépend **exponentiellement** de sa puissance de calcul (à technologie constante!).
- Celle d'un multiprocesseur varie linéairement.
- Il est thermiquement plus économique de gagner de la puissance de calcul par des configurations **multiprocesseurs**



## Le grand virage...

- Evolution des processeurs pour PC (Intel, AMD)
  - De l'augmentation de la fréquence d'horloge...
  - Au parallélisme
    - Hyperthread
    - Multi-cœurs

## Processeurs Intel et AMD : Multithread et Multiprocesseurs

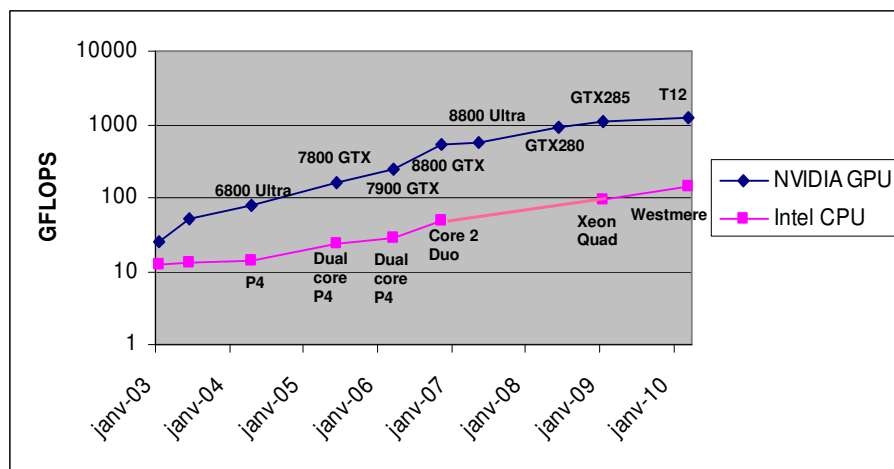


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

25

## CPU et GPU

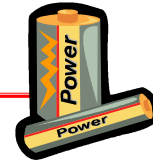


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

26

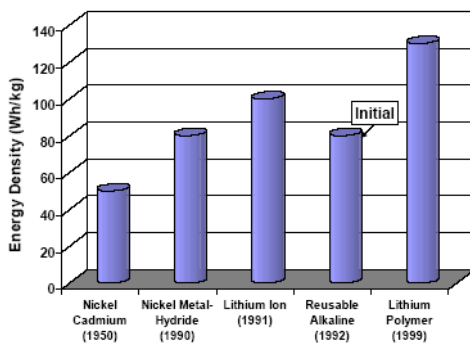
## Puissance et énergie



### Energie

- “Capacité à faire quelque chose d’utile”
- Important pour
  - Durée de vie des piles et batteries
  - Facture d’électricité
- Mesurée au cours du temps
- Proportionnelle à la somme des capacités et au carré de la tension ( $CV^2$ )

## Les batteries



### Batteries au lithium :

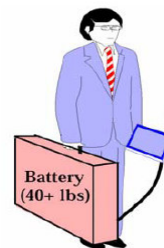
**1992 : 90 Wh/kg,**

**2000 : 140 à 160 Wh/kg .**

**2007 : de 190 à 200 Wh/kg.**

Source : CEA

<i>Energy density of material</i>	<i>KWH/kg</i>
Gasoline	14
Lead-Acid	0.04
Li polymer	0.15



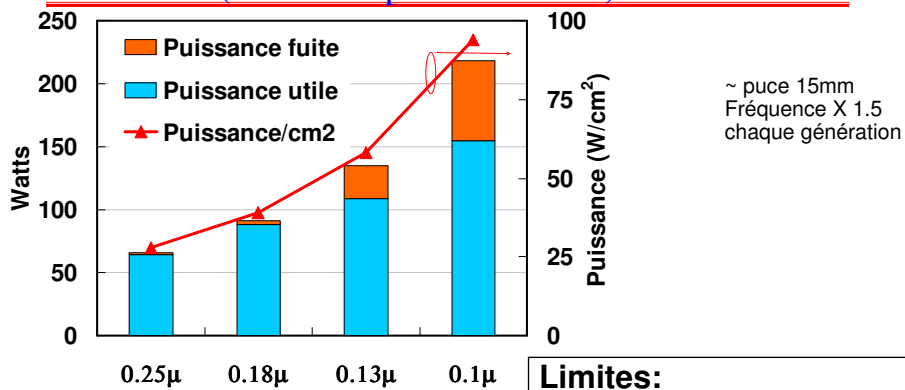
## Puissance et énergie



### Puissance

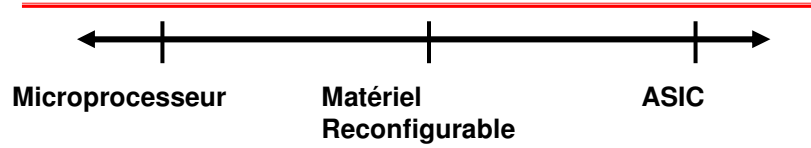
- *Travail* effectué par unité de temps
  - Mesuré en Watts
- $P = \alpha CV^2f$   
( $\alpha$  : activité, C: capacités, V: tension, f : fréquence)
- “Mesurée” à sa valeur maximale
- Plus de puissance → Plus de courant
  - Ne peut dépasser les contraintes de puissance maximale disponible
- Plus de puissance → Température plus élevée
  - Ne peut dépasser les contraintes thermiques

## Evolution de la puissance (à taille de puce constante)



**Limites:**  
1. Puissance dissipée,  
2. Alimentation, et  
3. Densité de puissance

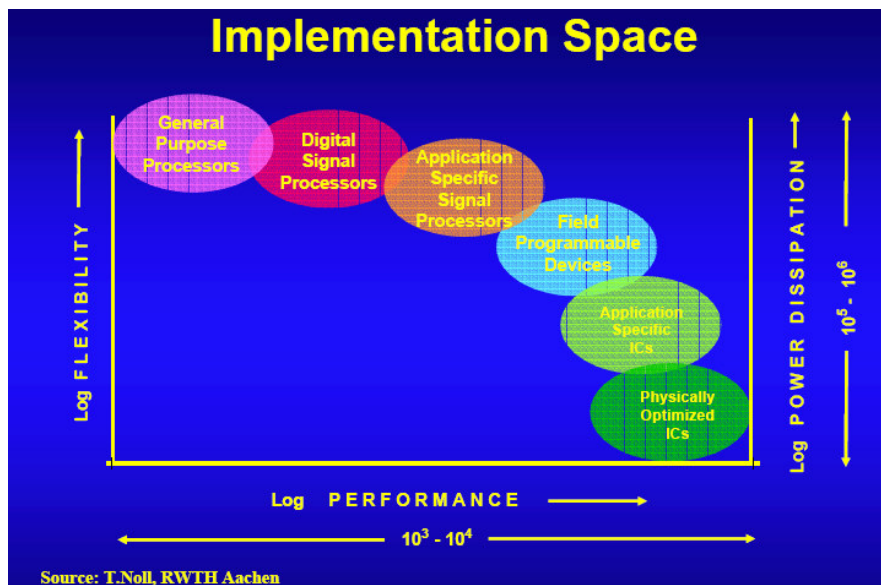
## Le spectre d'implémentation



- ASIC
  - Haute performance – dédié à l'application
  - Non modifiable
- Processeur
  - Programmable
  - Non dédié à l'application
- Matériel reconfigurable
  - Bon compromis



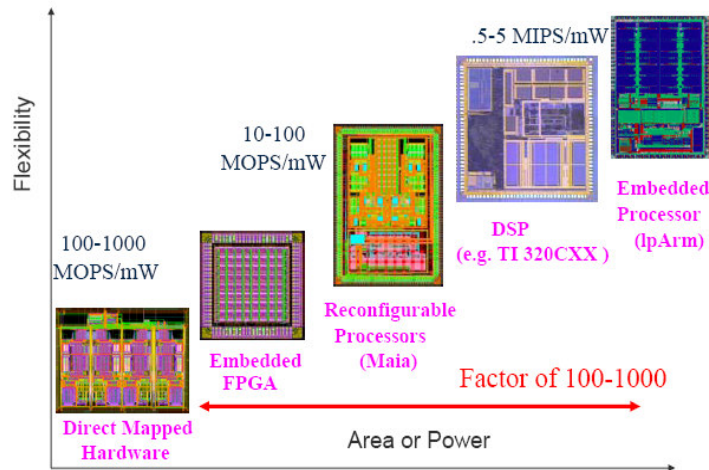
## Implementation Space



Source: T.Noll, RWTH Aachen



## Espace d'implémentation

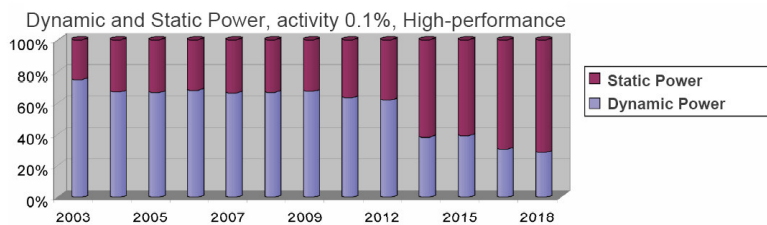


M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

33

## Un grand défi : la réduction de l'énergie consommée et de la puissance dissipée



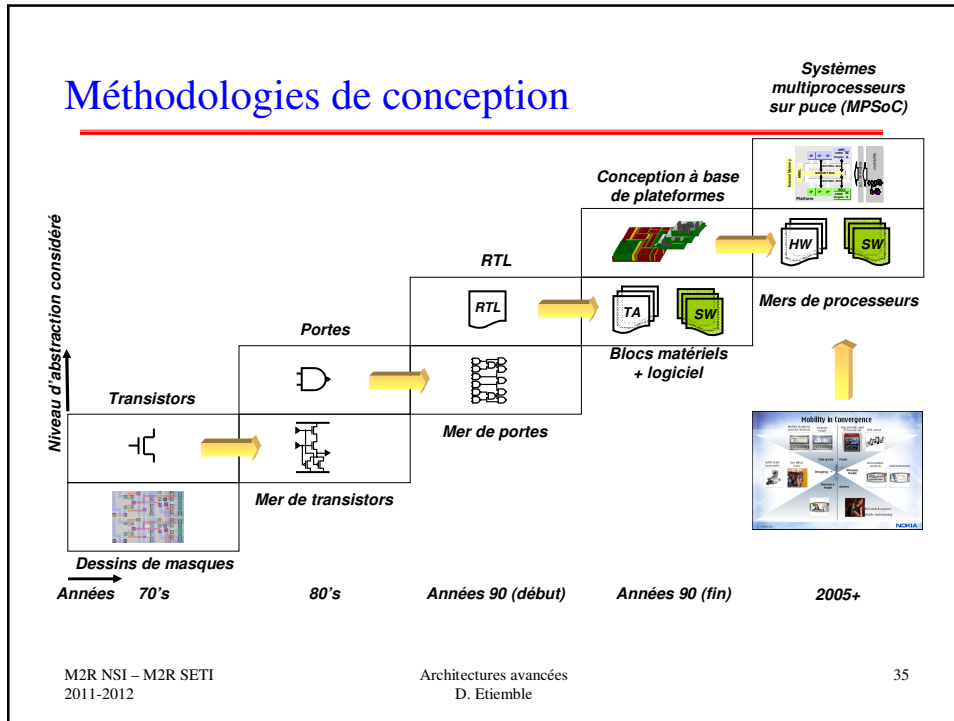
- Effort à tous les niveaux
  - Niveau technologique
  - Niveau circuit/logique
  - Niveau architectural
  - Niveau algorithmique
  - Niveau système

M2R NSI – M2R SETI  
2011-2012

Architectures avancées  
D. Etiemble

34

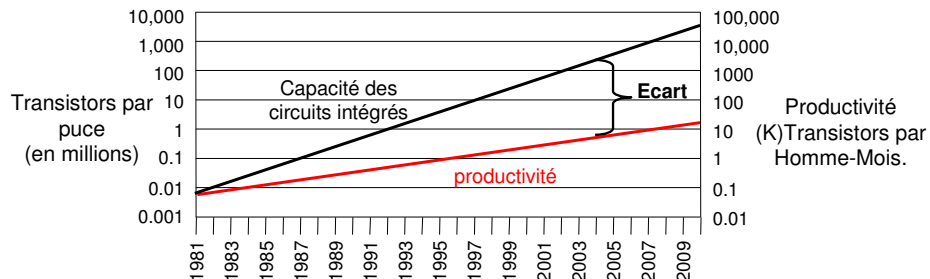
## Méthodologies de conception



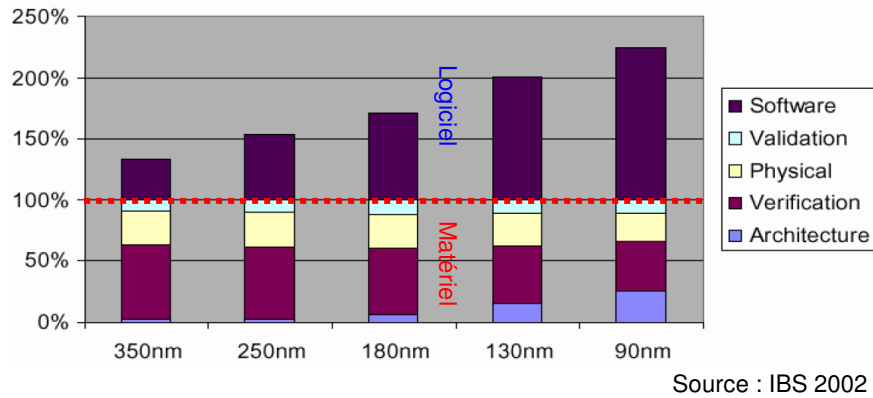
## Les écarts de productivité

- Évolution comparée du temps de conception d'un circuit et du nombre de portes disponibles

### Écart de productivité de conception



## Où va l'effort de conception ?



## Les technologies du futur

- Les interconnexions devenant prédominante, jouer sur la fréquence d'horloge n'est plus efficace
- La puissance de fuite devient plus importante que la puissance active
- La dispersion des composants augmentent (problèmes de conception, de rendement)
- La conception traditionnelle "pire cas" devient trop pessimiste.

Performances relatives de l'inverseur (sortance 4)

