

CAO des Circuits Analogiques

Fonctionnement
Modélisation
Conception
Dessin des masques

Master IGIS, spécialité Microélectronique
Cours de R. Grisel

Présentation du cours

- Séances de cours :

- Introduction générale
- Les évolutions des technologies Silicium
- Les différentes techniques de conception VLSI
- Le transistor MOS à la loupe (microscopique)
- Modélisation du transistor MOS.
- Les circuits de base (amplification).
- Techniques d'intégration.

- Travail personnel :

- Modélisation, simulation, dessin (simplifié) inverseur
 - Outils « freeware » (PSPICE, MICROWIND)
- Projet

Références bibliographiques

- CMOS Analog Circuit Design P.E. ALLEN, D.R. HOLBERG, Oxford University Press.
- VLSI Design Techniques for Analog and Digital Circuits, R.L. GEIGER, P.E. ALLEN, N.R. STRADER, Mc GraW-HILL International Editions.
- Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, P.R. GRAY, R.G. MEYER, John Wiley & Sons Inc.
- Analog Integrated Circuit Design, David A.Johns, Ken Martin, John Wiley & Son.
- Analog IC Design : The Current-Mode Approach, C. TOUMAZOU, F.J. LIDGEY, D.G. HAIGH, London Peregrinus.
- CMOS Circuit design, Layout, and simulation, R.Jacob Baker, Harry W.Li, David E.Boyce, IEEE Press series on microelectronic.
- Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, Paul R.Gray, Robert, G.Meyer, John Wiley & Son.
- Microelectronic circuits, Adel S.Sedra, K.C.Smith, Oxford University Press

Site Web du Master

- http://richard.grisel.free.fr/Master_OSM
- Menu Documents de cours (M2 OSM)

Introduction

Composants et circuits en Microélectronique



Introduction générale

microélectronique Circuits et Systèmes

- Microélectronique est à la croisée des chemins
 - "Révolution Computationnelle"
 - "Révolution Communicationnelle"



Electronique : Marché de \$1 Trillion
1 000 Milliards de dollars US

Applications des Semiconducteurs

- Circuits Logiques
 - "Computeurs", DSP
- Amplificateurs
 - "Hi-Fi", Communications sans fil, Téléphonie
- Mémoires
 - DRAM, SRAM, NVRAM
- Lasers
 - Communications Optiques, Lecteurs CD
- Photodiodes
 - Récepteurs (Comm. optique, Camera numérique)
- "Charge Coupled Device" (CCD)
 - Camera numérique
- Beaucoup d'autres
 - Capteurs, MEMS, Afficheurs



Contenu du Cours

Introduction aux composants "*microelectroniques*"
et circuits associés

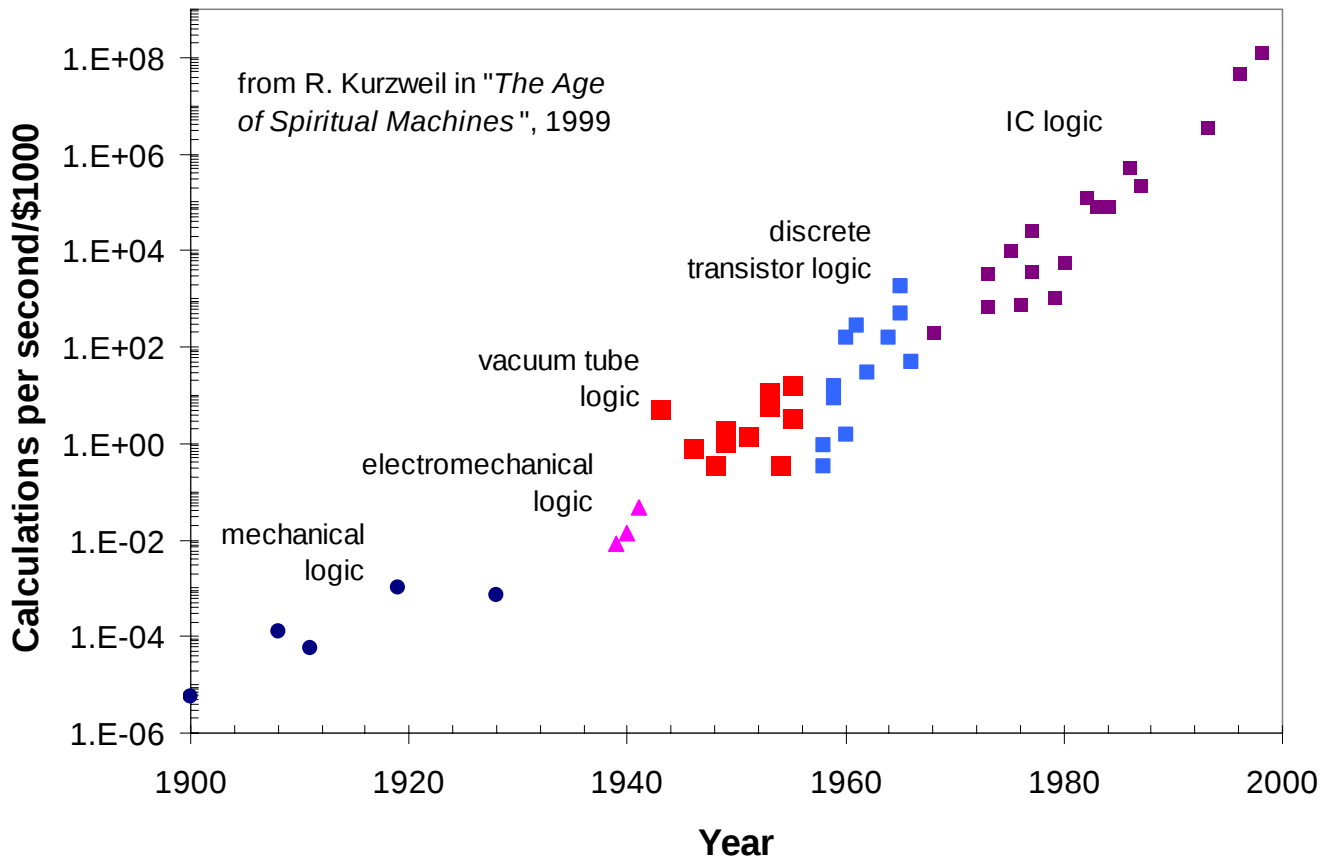
- Composants en microélectronique
 - Physique des SC (Supposée connue)
 - "Metal-oxide-semiconductor field-effect transistors" (MOSFETs)
- Circuits microélectroniques
 - Circuits numériques (Principalement CMOS)
 - Circuits Analogique (MOS et CMOS)

Donne les "pré-requis" pour :

- Technologie des procédés en Microelectronique
- Physique des composants
- Conception des circuits Analogiques
- Conception des circuits numériques

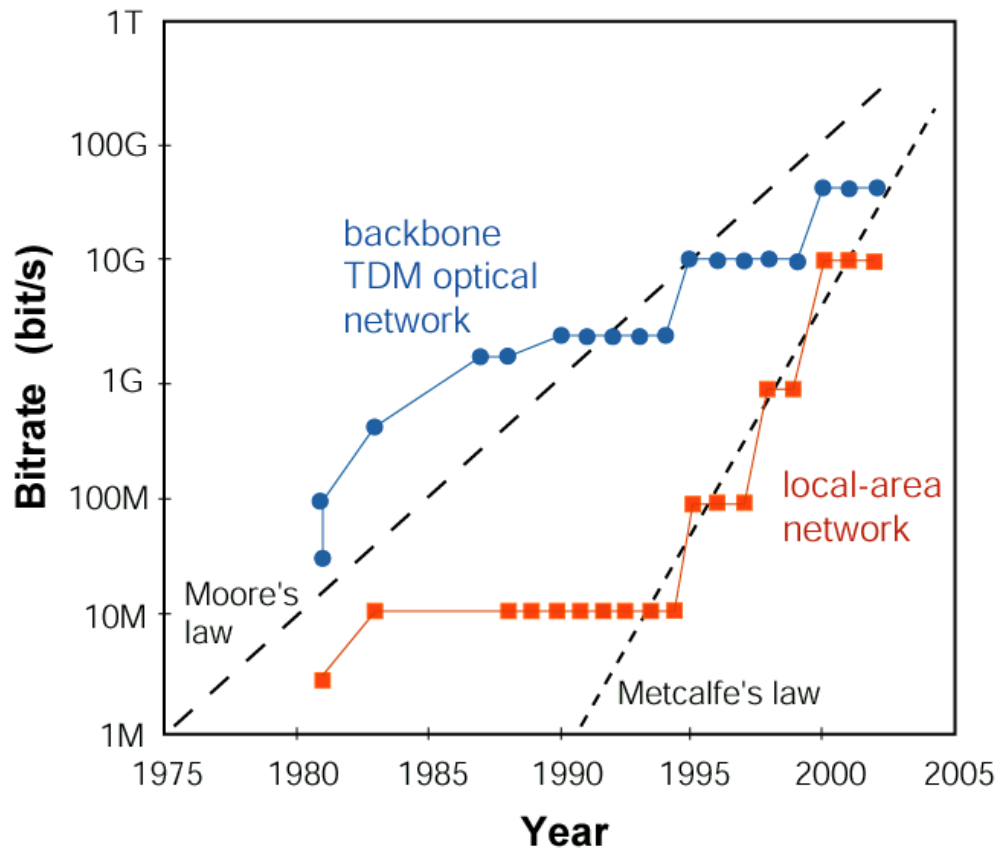
Microelectronique:

Révolution "computationnelle"



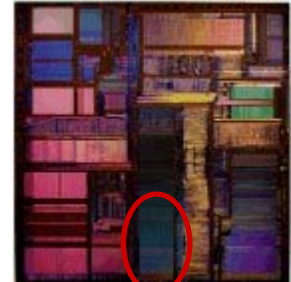
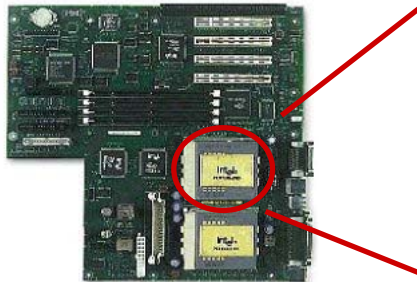
Ces 30 dernières années, la performance par dollar a été multipliée par plus d'un million!

Microelectronique: Révolution "communicationnelle"



En 20 ans, la bande passante pour une simple fibre optique a été multipliée d'un facteur 10000.

A l'intérieur du système...



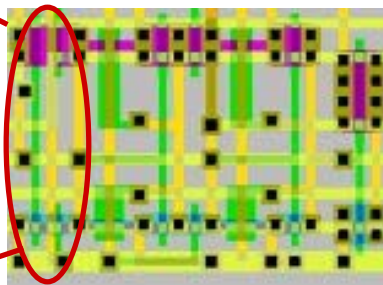
Ordinateur personnel:
"Hardware" & "Software"

PCB:

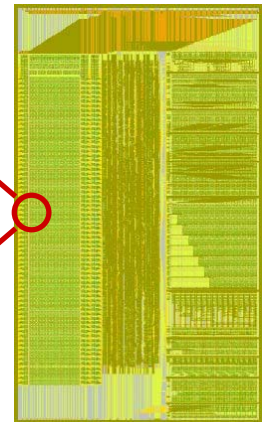
Circuit intégré:
5 Million composants



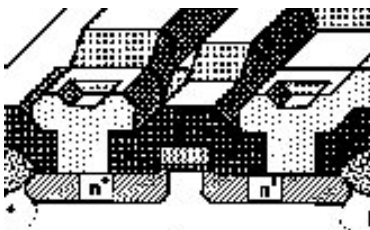
Porte:
10 composants



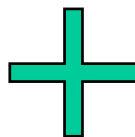
Cellule:
50 composants



Module:
100K composants

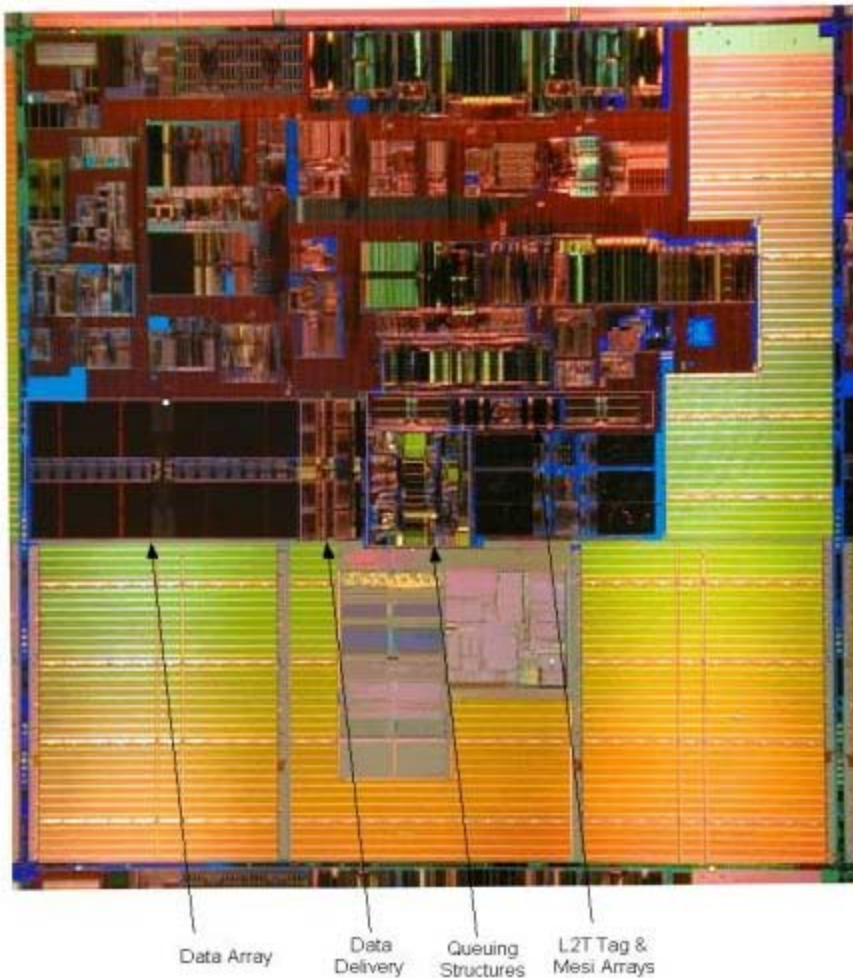


MOSFET



**Codage numérique de
l'information**

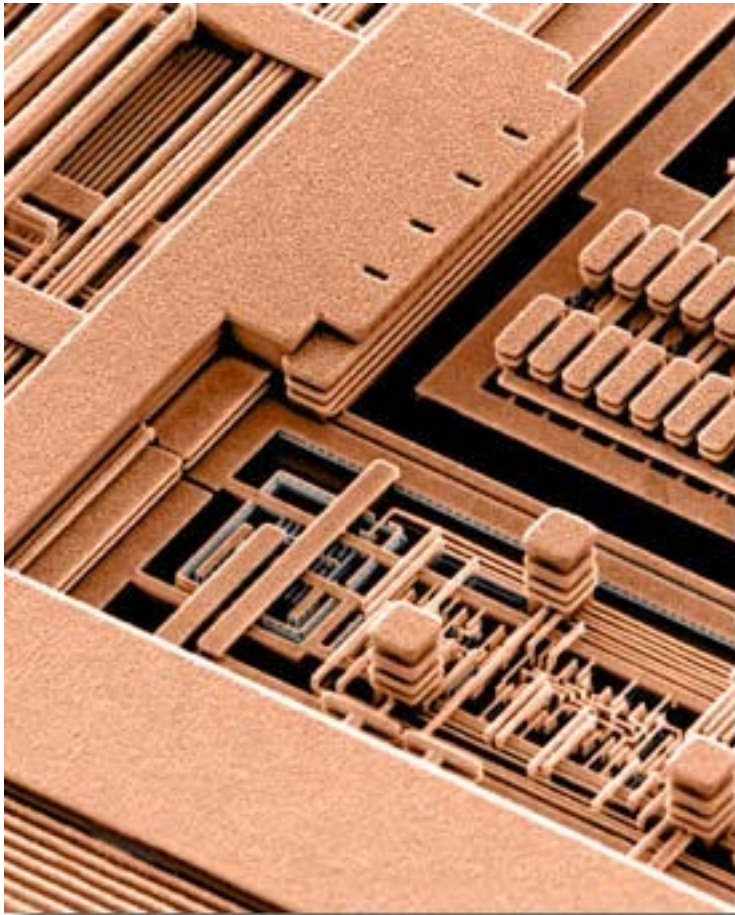
A l'intérieur d'un CI ...



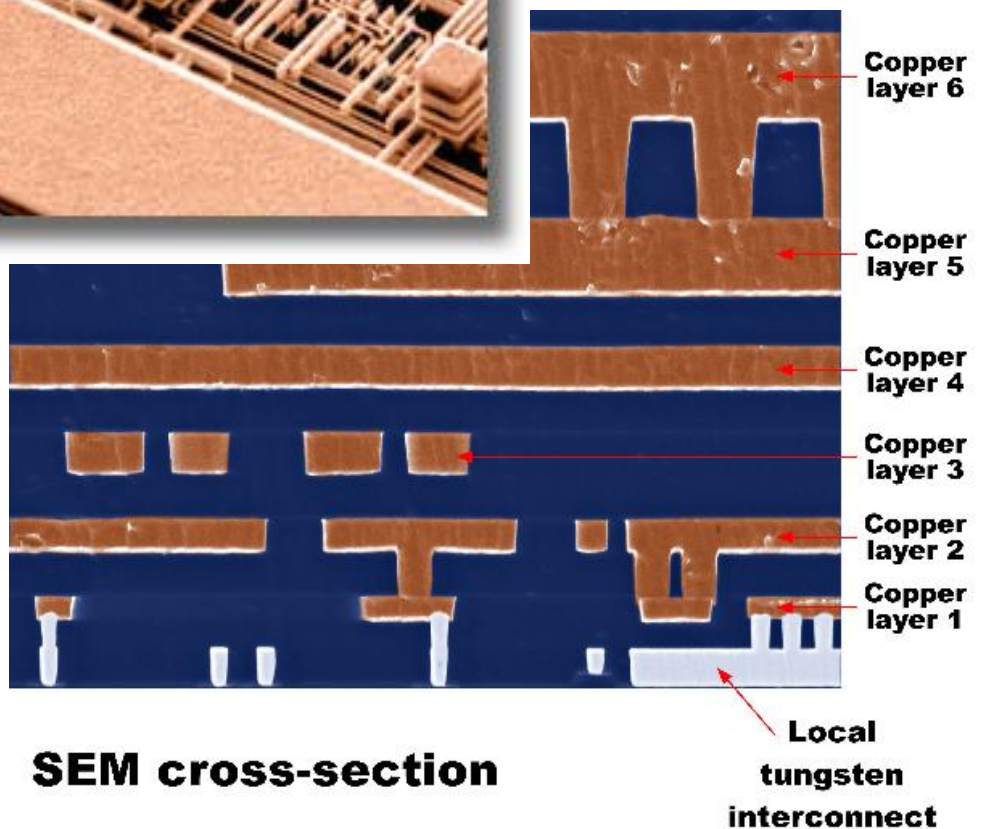
Itanium — Intel

- Un réseau d'interconnexions (plusieurs niveaux avec complexité variable)
- Très haute densité de transistors (taille minuscule)

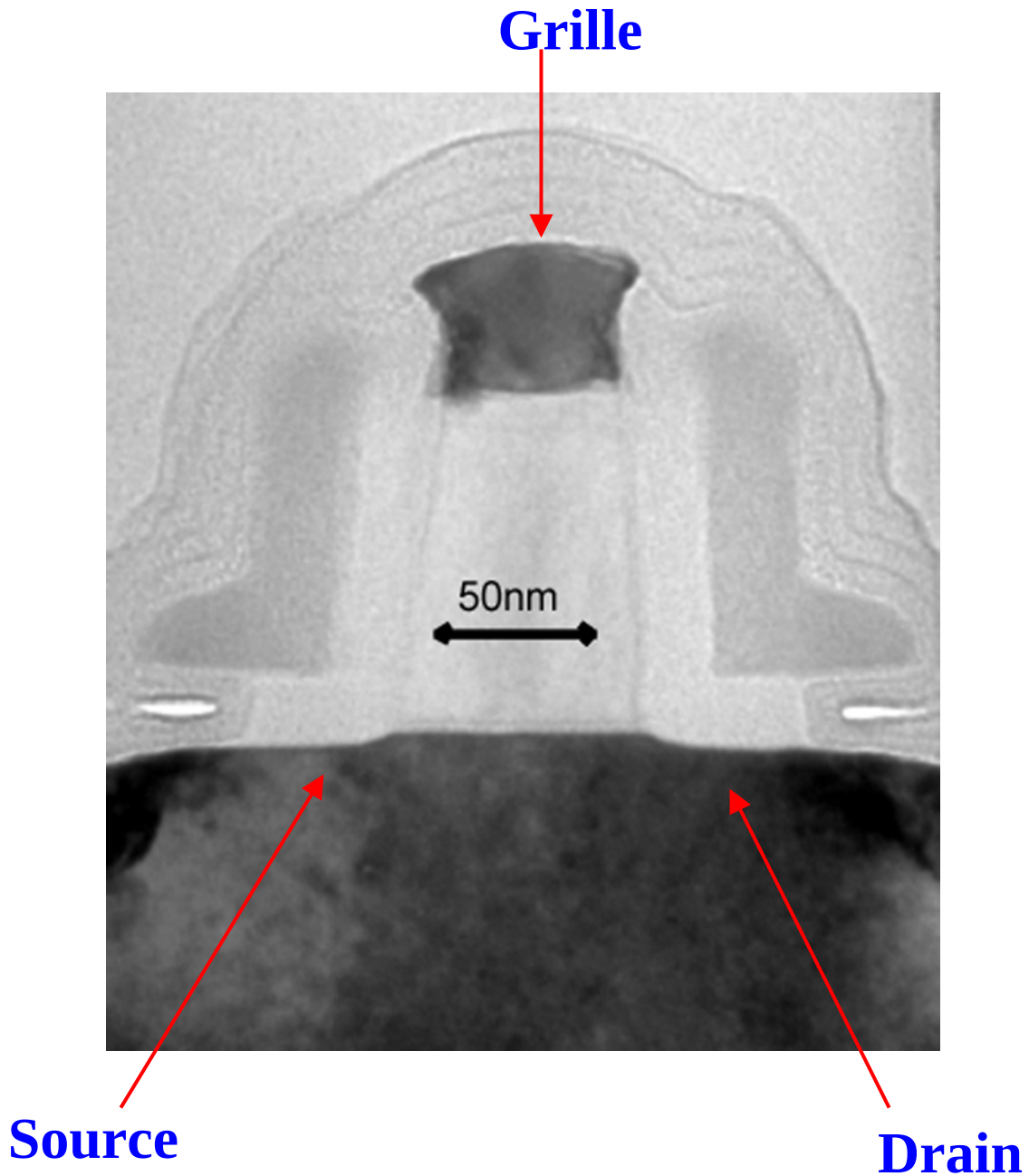
Plusieurs couches d'interconnexions



7 couches
de metallisation



Dimension du Transistor

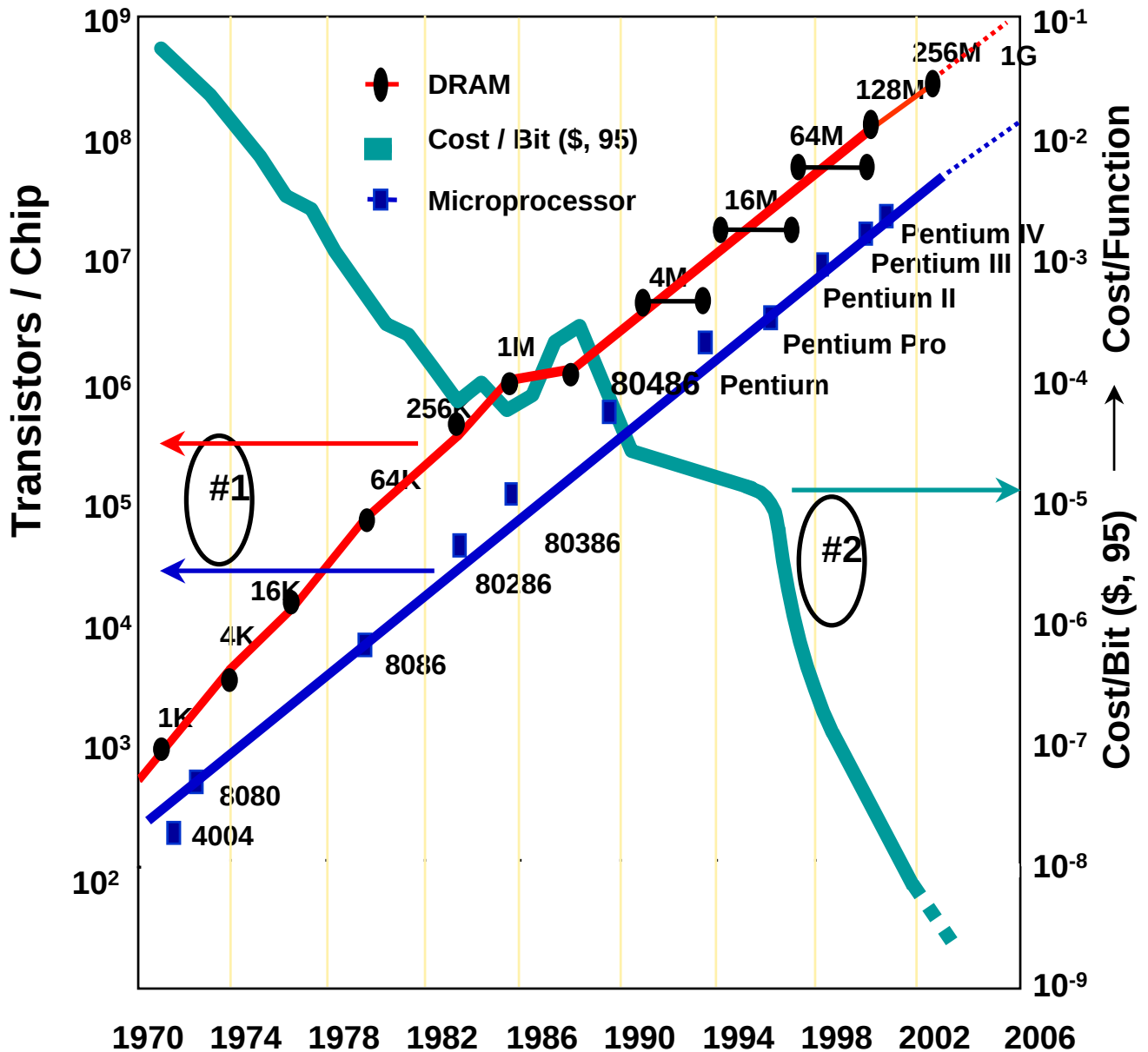


Composants et circuits en microélectronique

Quelles tendances?

- Croissance exponentielle en complexité et fonctionnalité pour les CIs [loi de Moore]
- Décroissance exponentielle du cout par fonction des circuits intégrés
- Décroissance exponentielle de la consommation par fonction des circuits intégrés

Evolution (Intégration des transistors)

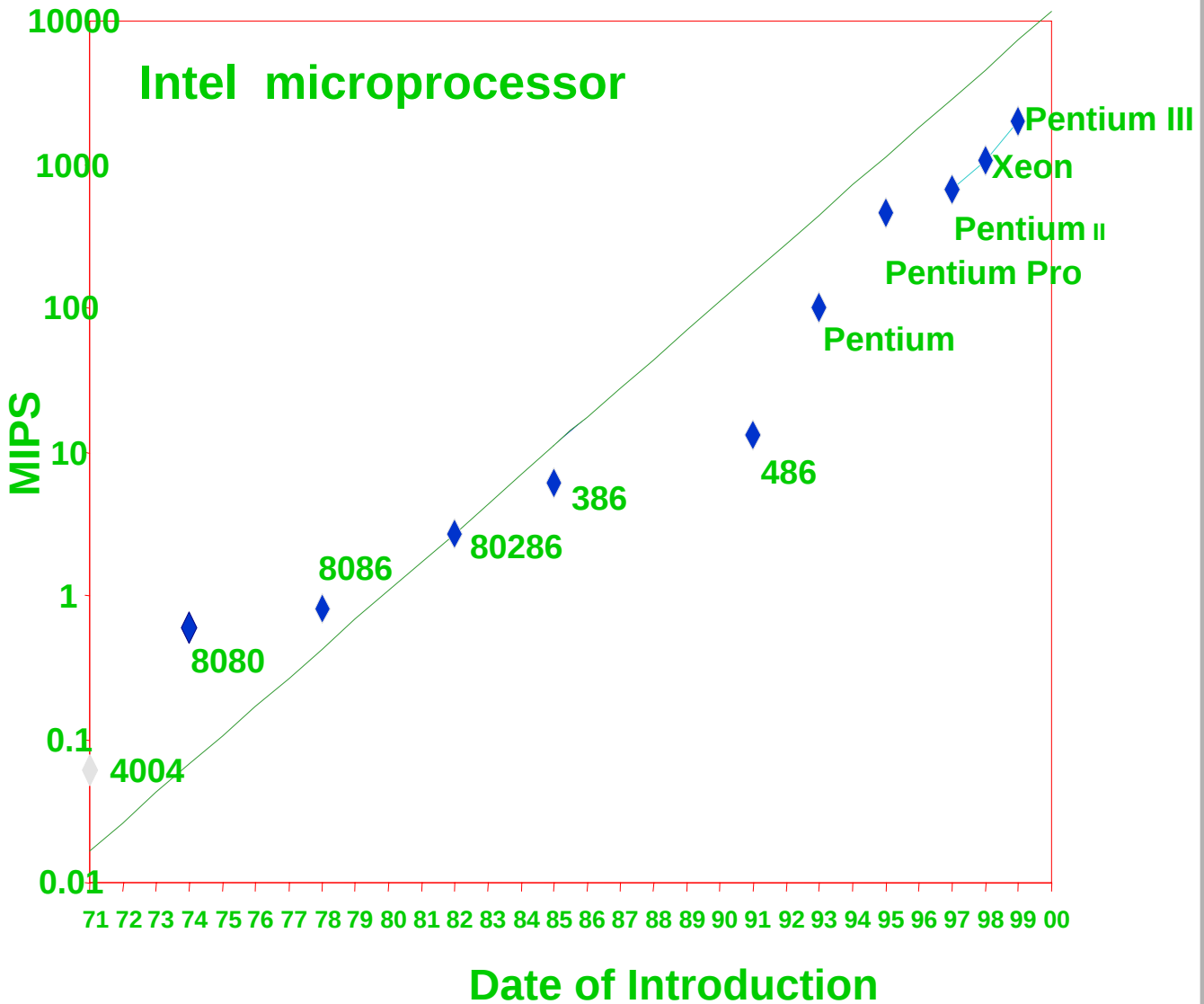


Loi de Moore:

La densité transistor double tous les 1.5 - 2 ans

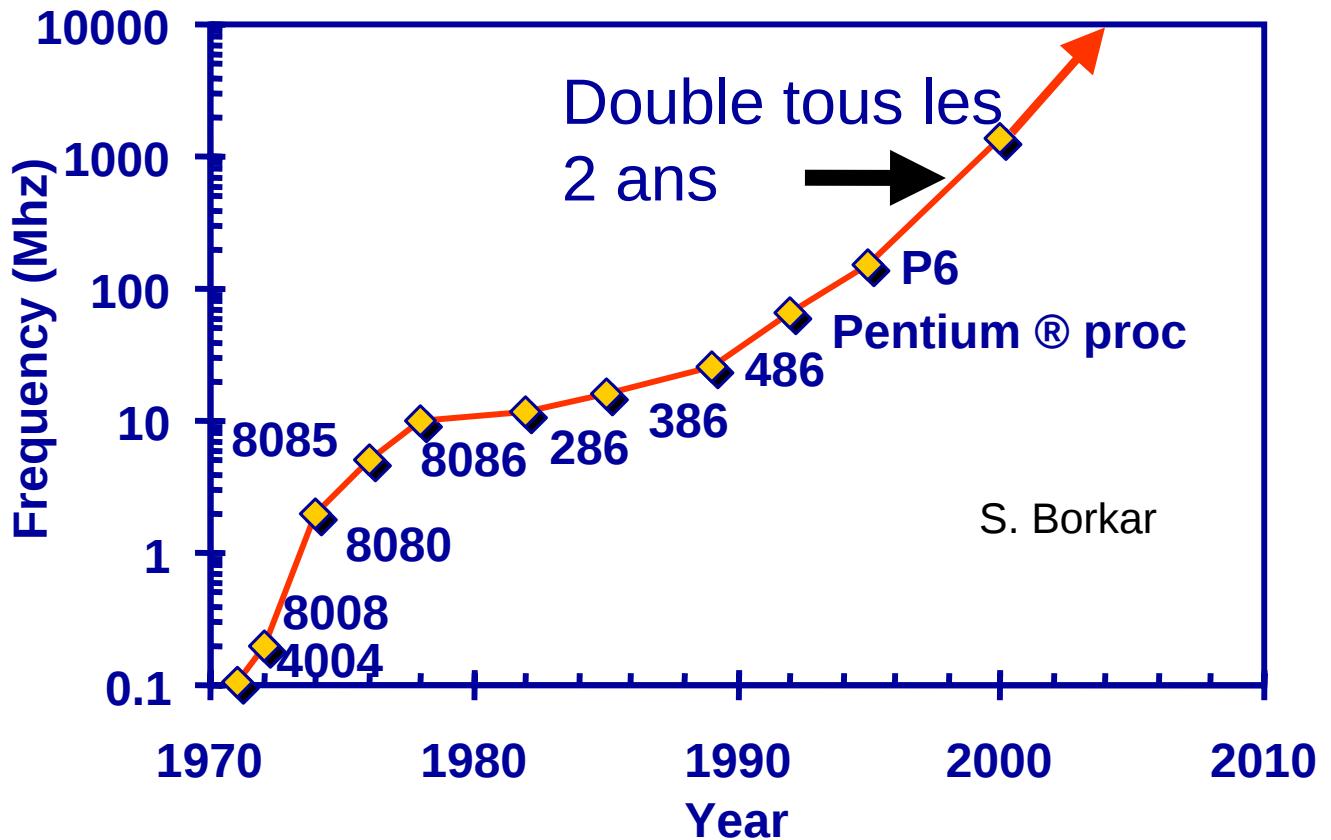
Performance des Processeurs

Tendances

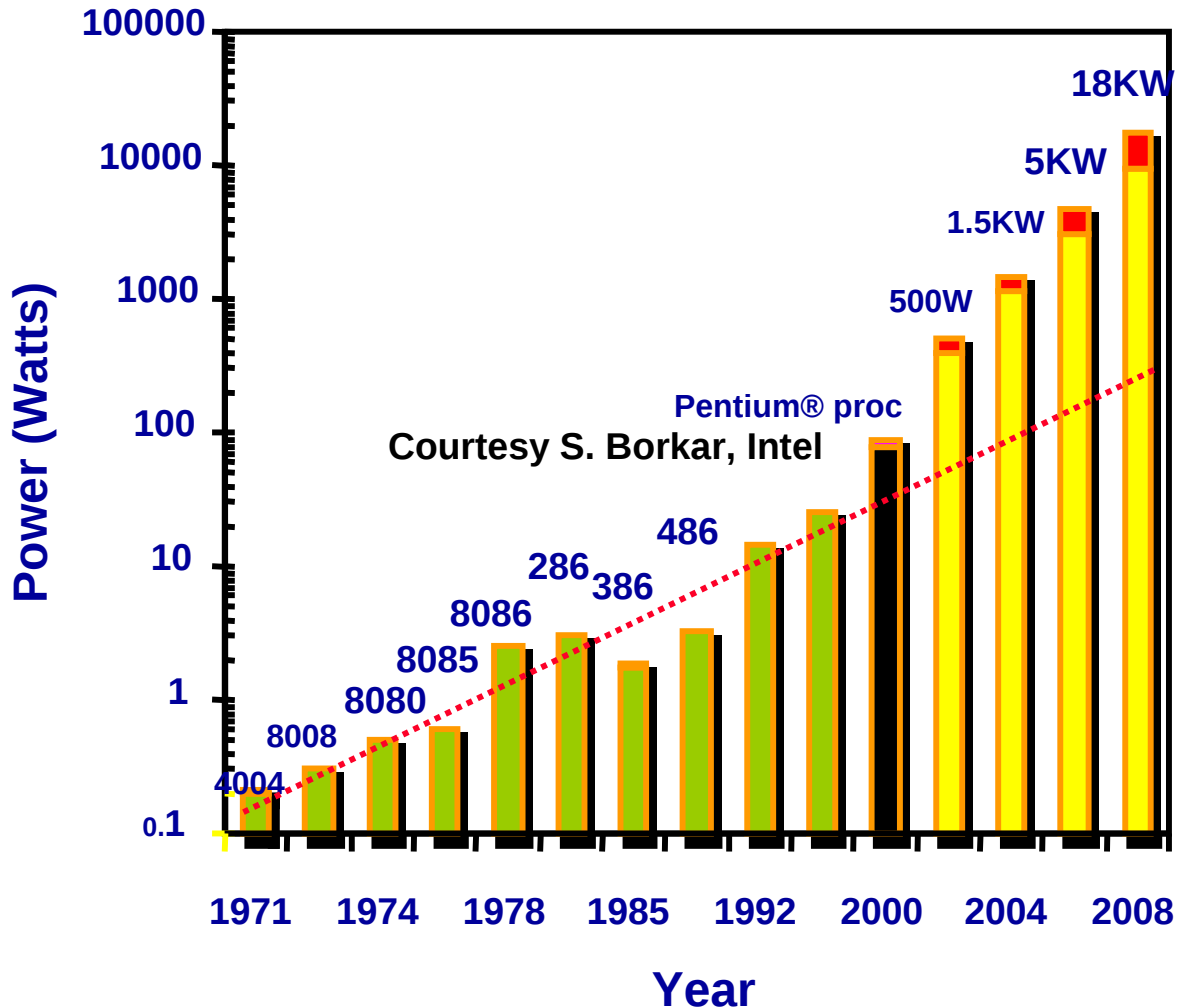


La loi de Moore est suivie
x2 tous les 2 ans

Fréquence d'horloge des Microprocesseurs



Consommation



La puissance par porte (gate) diminue mais
la consommation totale augmente ...

Succès de la Microélectronique

Les raisons?

"Révolution" industrielle possible par:

1. Technologie Si
2. MOSFET
3. Changement d'échelle des composants
4. Technologie de Microfabrication
5. Circuits CMOS
6. "Ingénierie" Circuit (CAD)

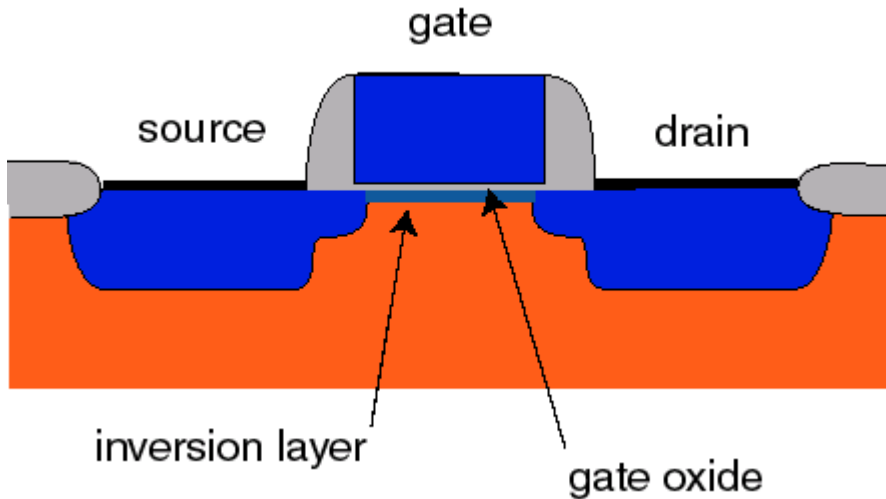
1. Silicium

2.33		28.086
5.43	Si	14
	$3s^2 3p^2$	
1683	DIA	625

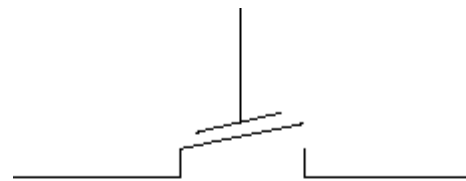
- Peu cher et abondant
- Excellentes propriétés mécaniques, chimiques et électroniques
- L'oxyde natif a une bonne interface avec le Silicium

2. MOSFET

Metal-Oxide-Semiconductor
Field-Effect Transistor

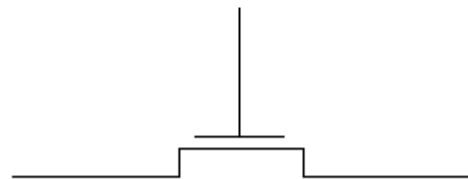


MOSFET = "switch"



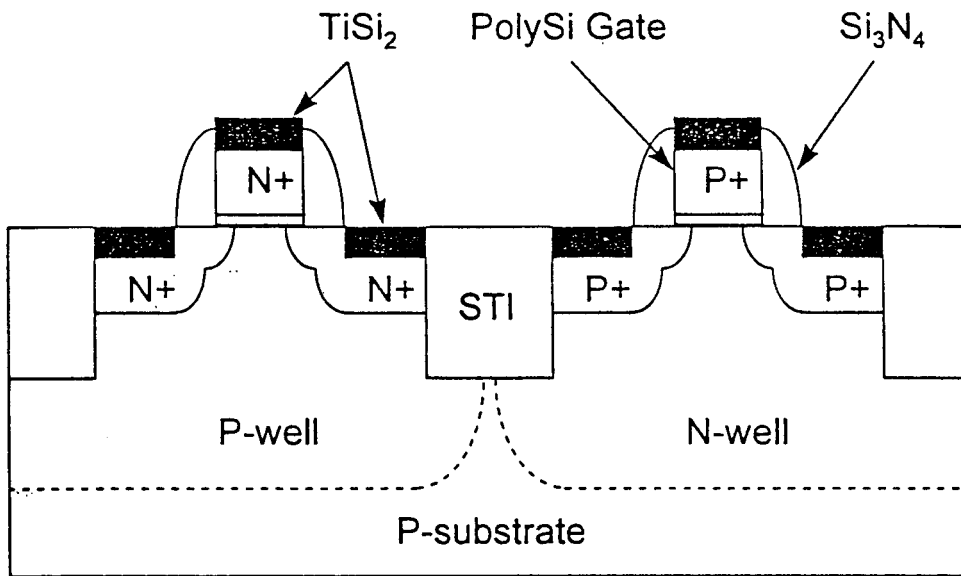
$V_G < V_T$ switch open

- Gain élevé
- Isolation
- Vitesse



$V_G > V_T$ switch closed

NMOS et PMOS



- *MOSFET*
 - Composant avec gain correct, isolation et vitesse
 - 2 particularités complémentaires (conduction des charges négatives + conduction des charges positives)
 - Facteur d'échelle autorisé (en taille)

3. Changement d'échelle du composant

- En 30 ans, la taille typique d'un CI s'est réduite considérablement
 - Bardeen, Brittain & Shockley $\approx 75 \mu\text{m}$
 - Travaux actuels $\approx 0.09 \mu\text{m}$
 - Limite dimensionnelle actuelle $\approx 0.05 \mu\text{m}$

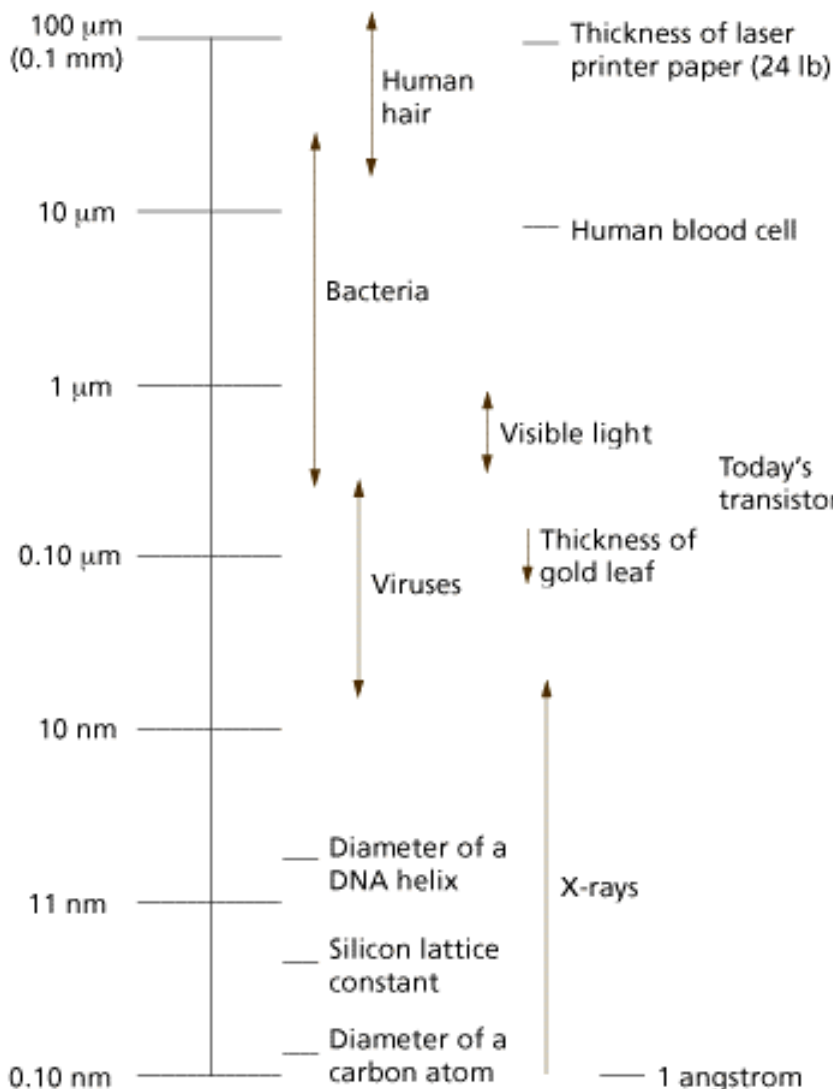
Bardeen,
Brittain &
Shockley-
1947

First IC-1959

ICs-1980

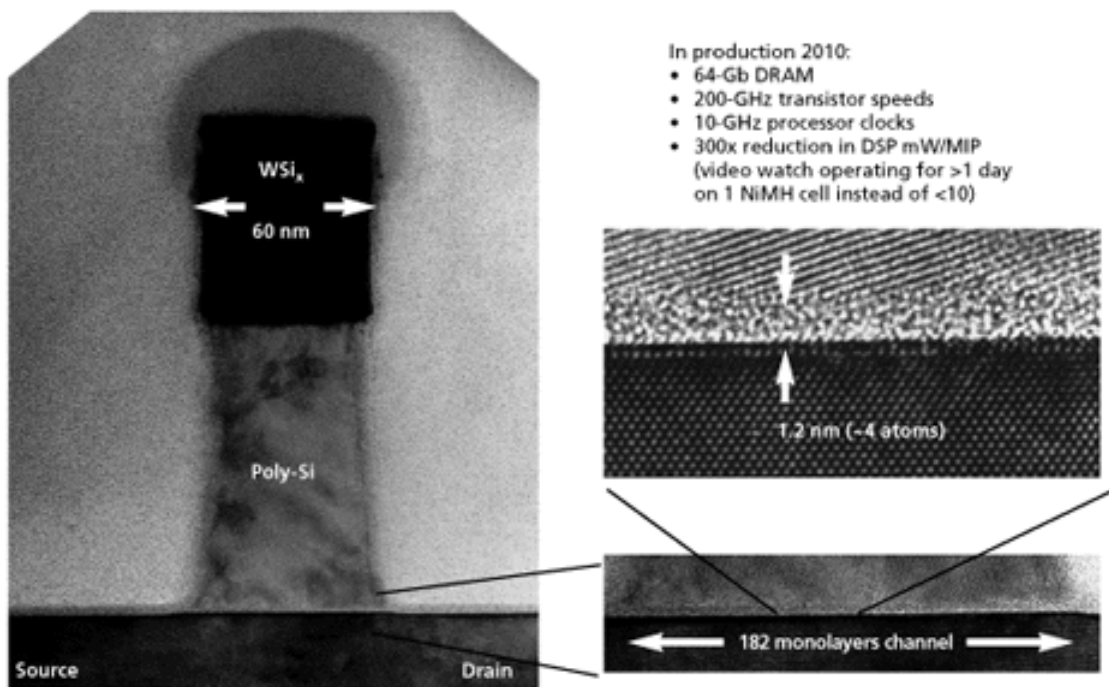
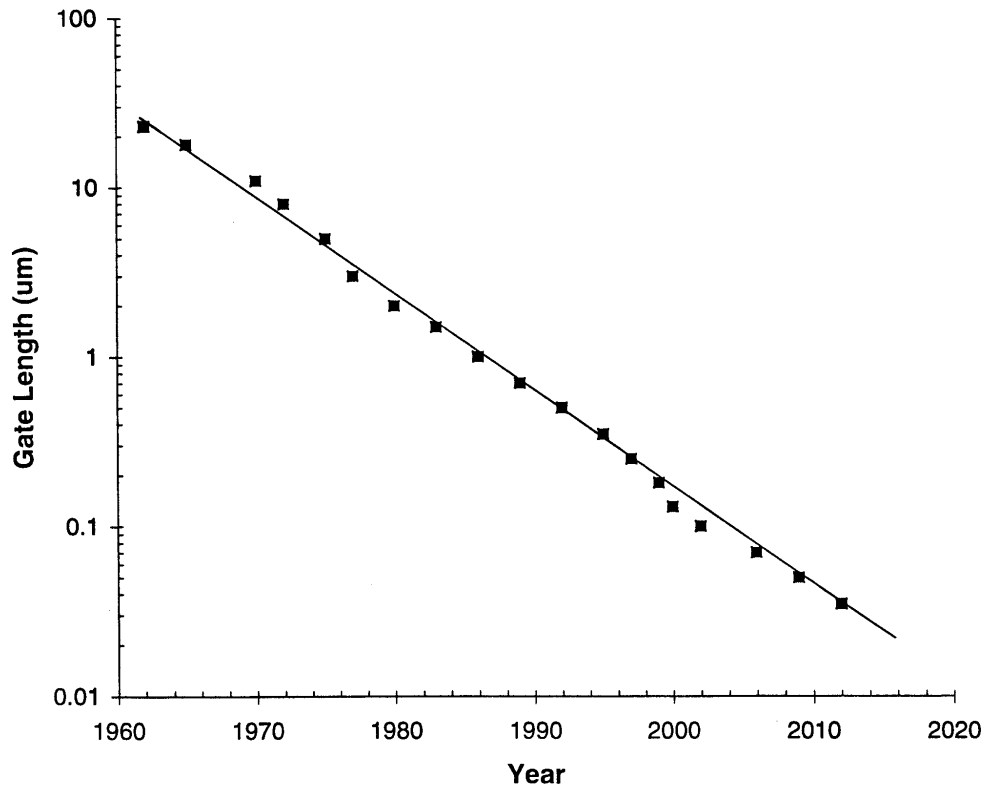
ICs-1999

End of the road?
20XX

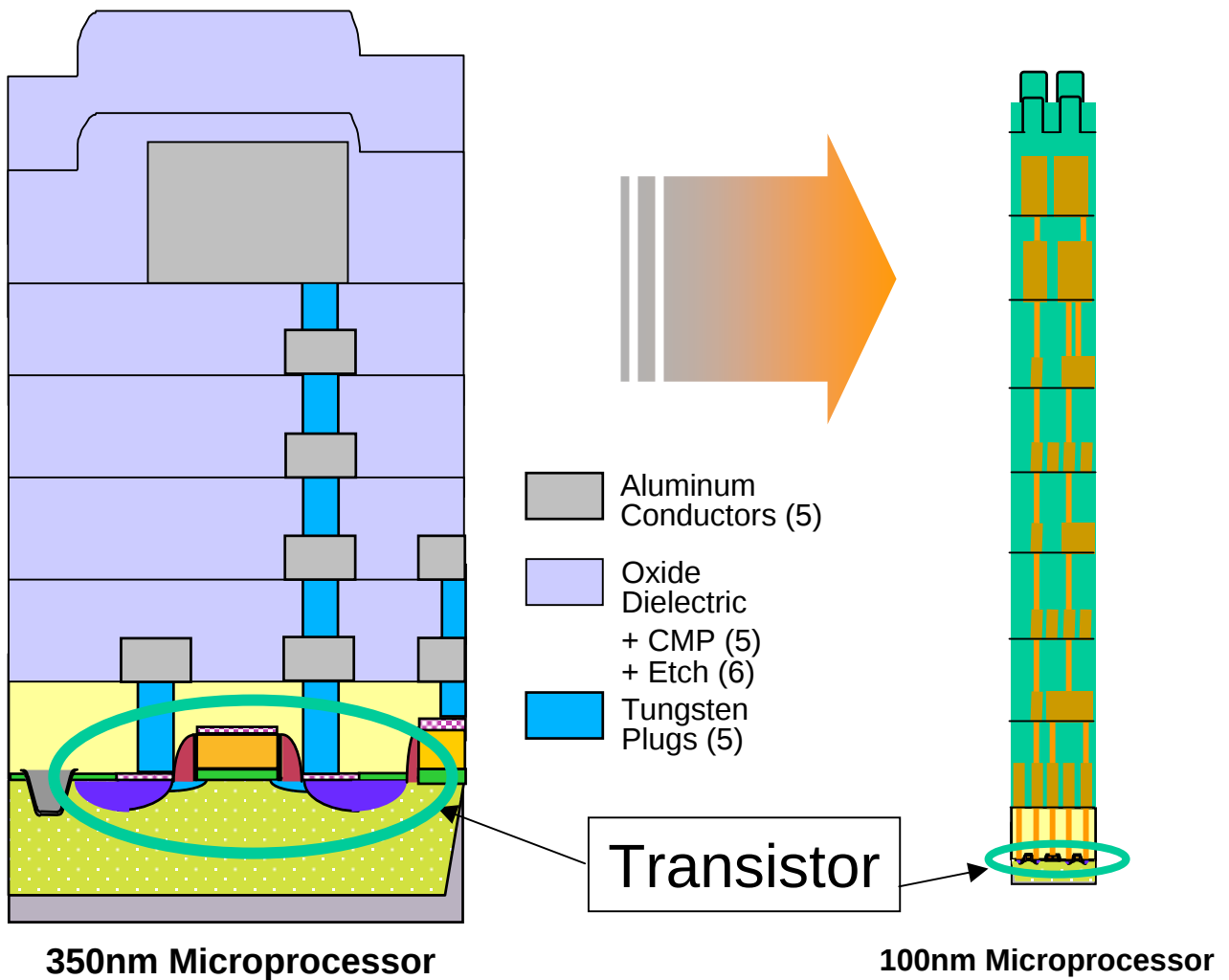


IC – Integrated circuit

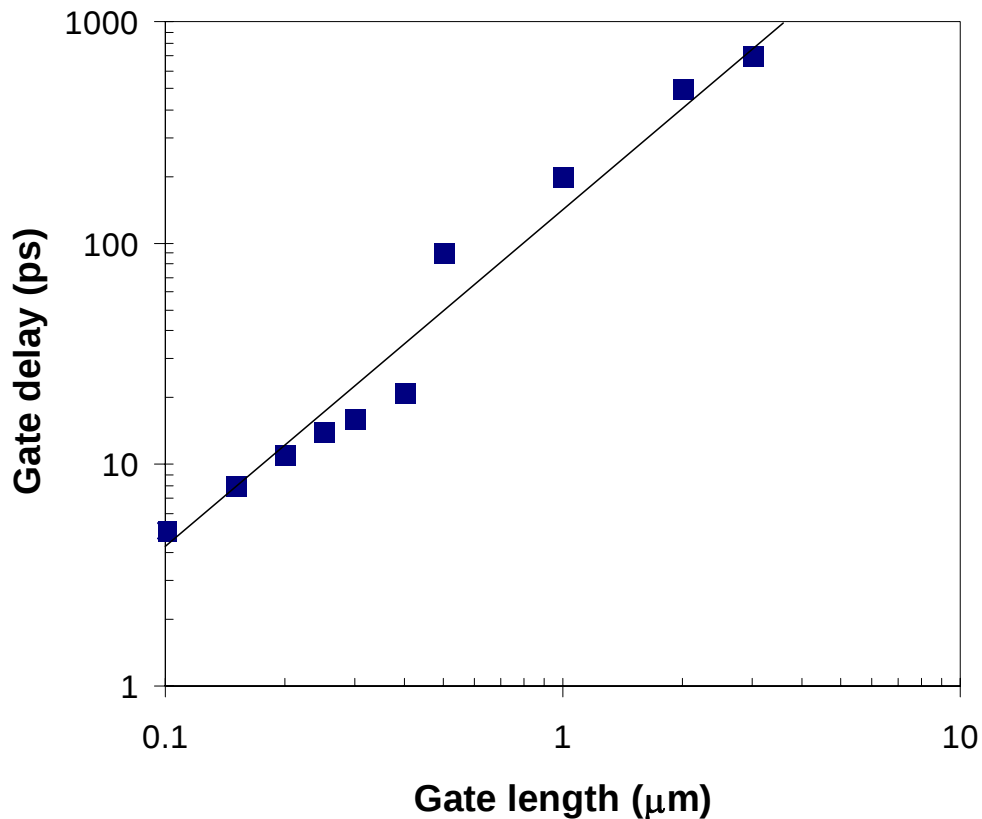
Courbe de la longueur de Grille



Echelle des composants et Interconnexions

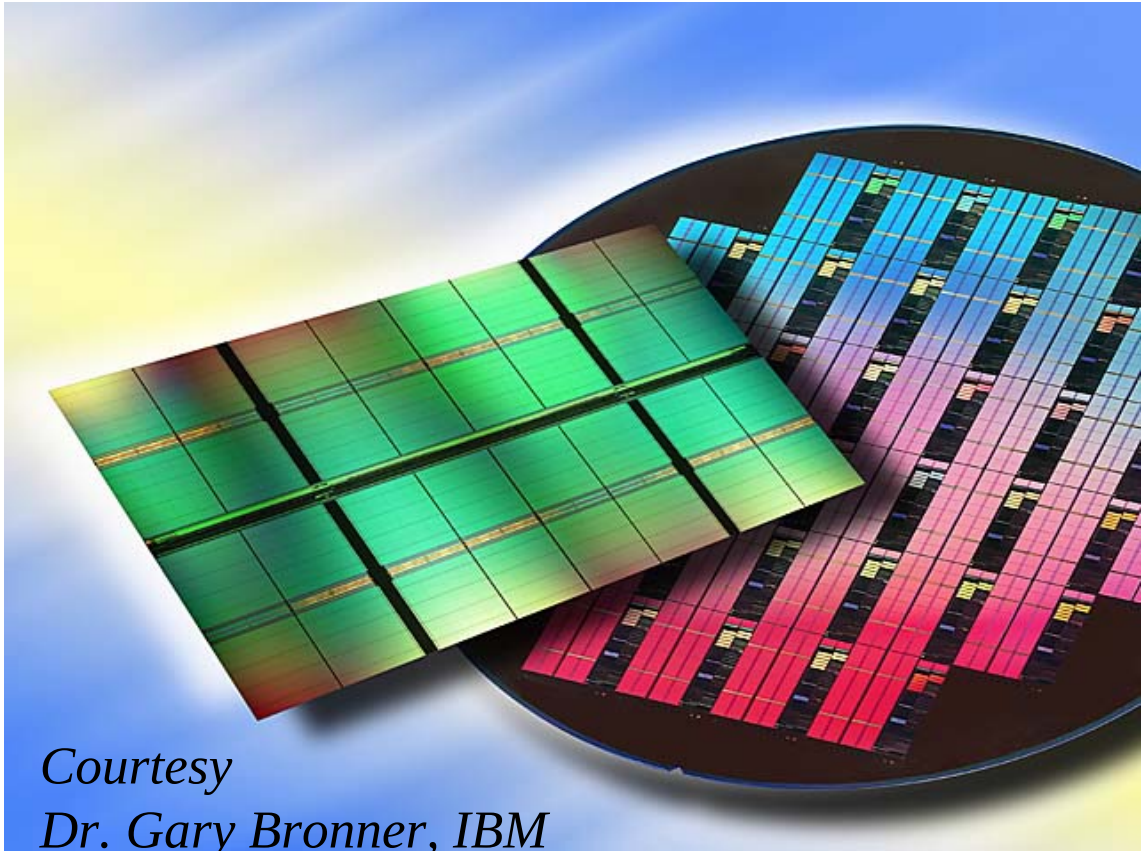


Temps de propagation (Grille)



- La performance du MOSFET augmente
- alors que la taille diminue
 - Temps de commutation plus court ("distance" moins grande)
 - Consommation plus faible

4. Technologie Microfabrication

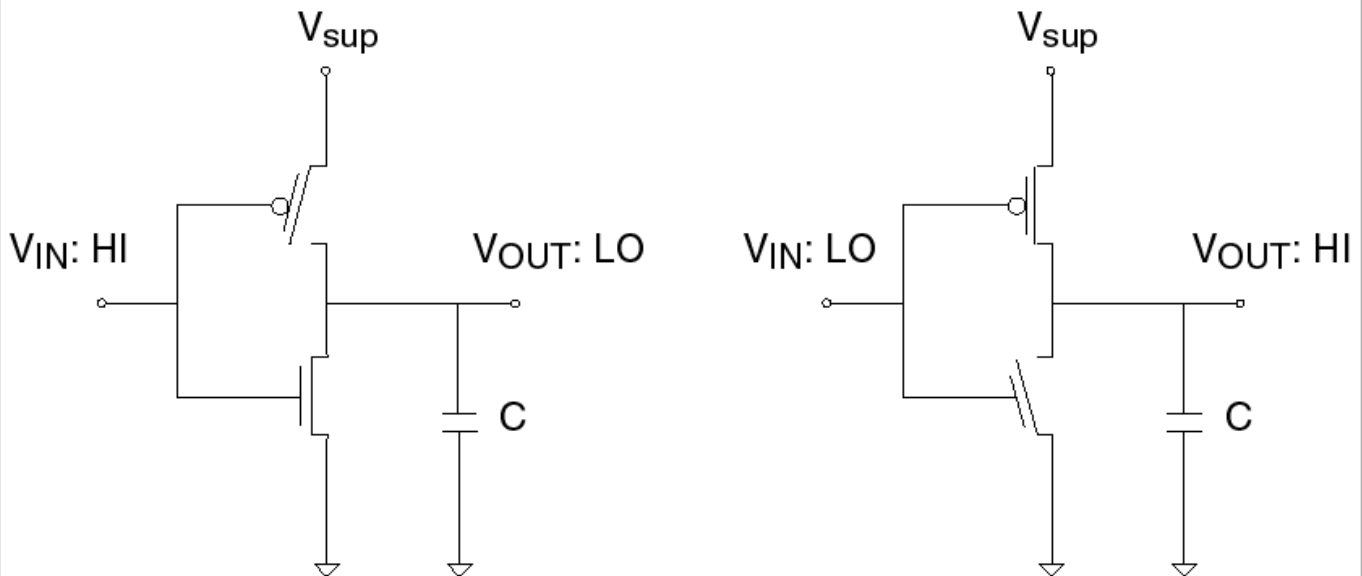


*Courtesy
Dr. Gary Bronner, IBM*

- Fabrication de structures, extrêmement petites précisément et de manière reproductible
- Intégration de composants différents avec une bonne isolation
- Fabrication grandes séries de systèmes complexes forte densité — 10^8 transistors et association des conducteurs sur Si

5. Circuits CMOS

"Complementary Metal-Oxide-Semiconductor"



- Interrupteur N-MOSFET actif pour $V > 0$
 - Décharge de la capacité quand le N-MOSFET est actif
- Interrupteur P-MOSFET actif pour $V < 0$
 - Charge de la capacité quand P-MOSFET est actif
- Pas de consommation "DC" (statique)

6. Ingénierie des Circuits

- Modèle simple au premier ordre basé sur la physique
 - permet conception analogique et numérique
 - permet estimation de l'impact des variations du composant sur les performances du circuit
- Techniques de conception tolerant les fluctuations logiques et diaphonie
- Techniques de conception qui s'adaptent à l'"environnement"
 - insensible aux variations de fabrications
- Techniques de conception qui minimisent la consommation par porte