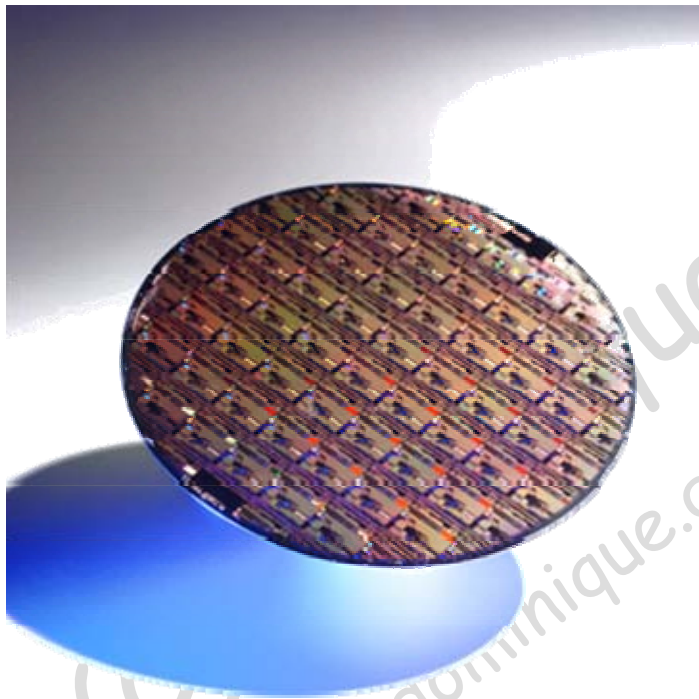


Micro *Électronique*

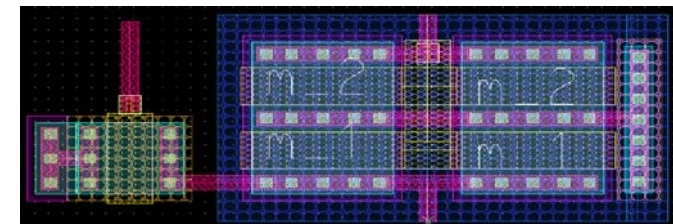


Chapitre 1

Introduction à la microélectronique numérique



Dominique GINHAC
dginhac@u-bourgogne.fr



Informations diverses



Qui suis-je ?

Dominique GINHAC, Maître de conférences ESIREM

Disciplines enseignées : informatique, électronique

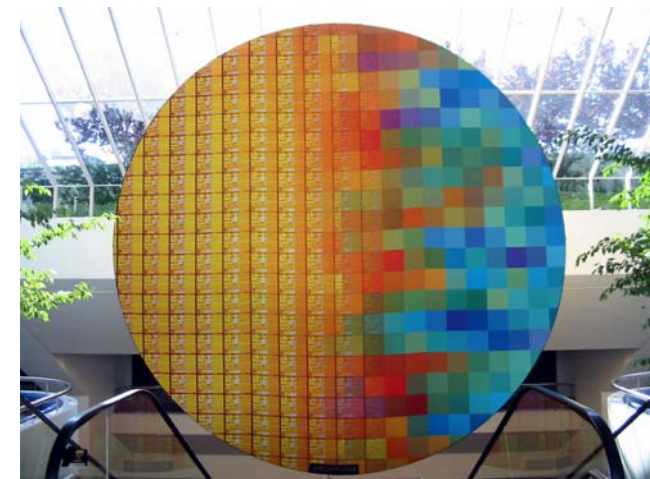
Fonctions diverses : Responsable 3^{ème} année Infotronique
administrateur réseau

Mail : dginhac@u-bourgogne.fr

Tel : 03 - 80 - 39 - 38 - 86

Bureau : Mirande Aile H

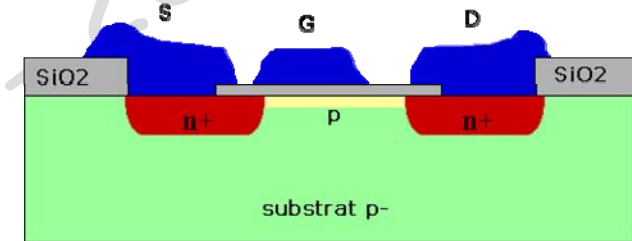
Bureau R10



Plan du cours

1- Introduction sur la microélectronique numérique

- ✓ Chiffres clés,
- ✓ Historique,
- ✓ Aujourd'hui,
- ✓ Demain,
- ✓ Infos sur le cours

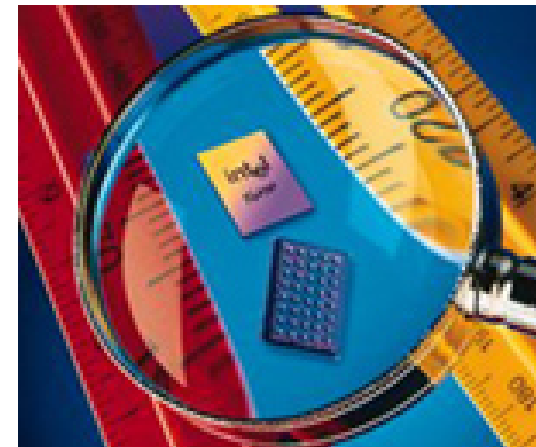


2- Physique des semi conducteurs

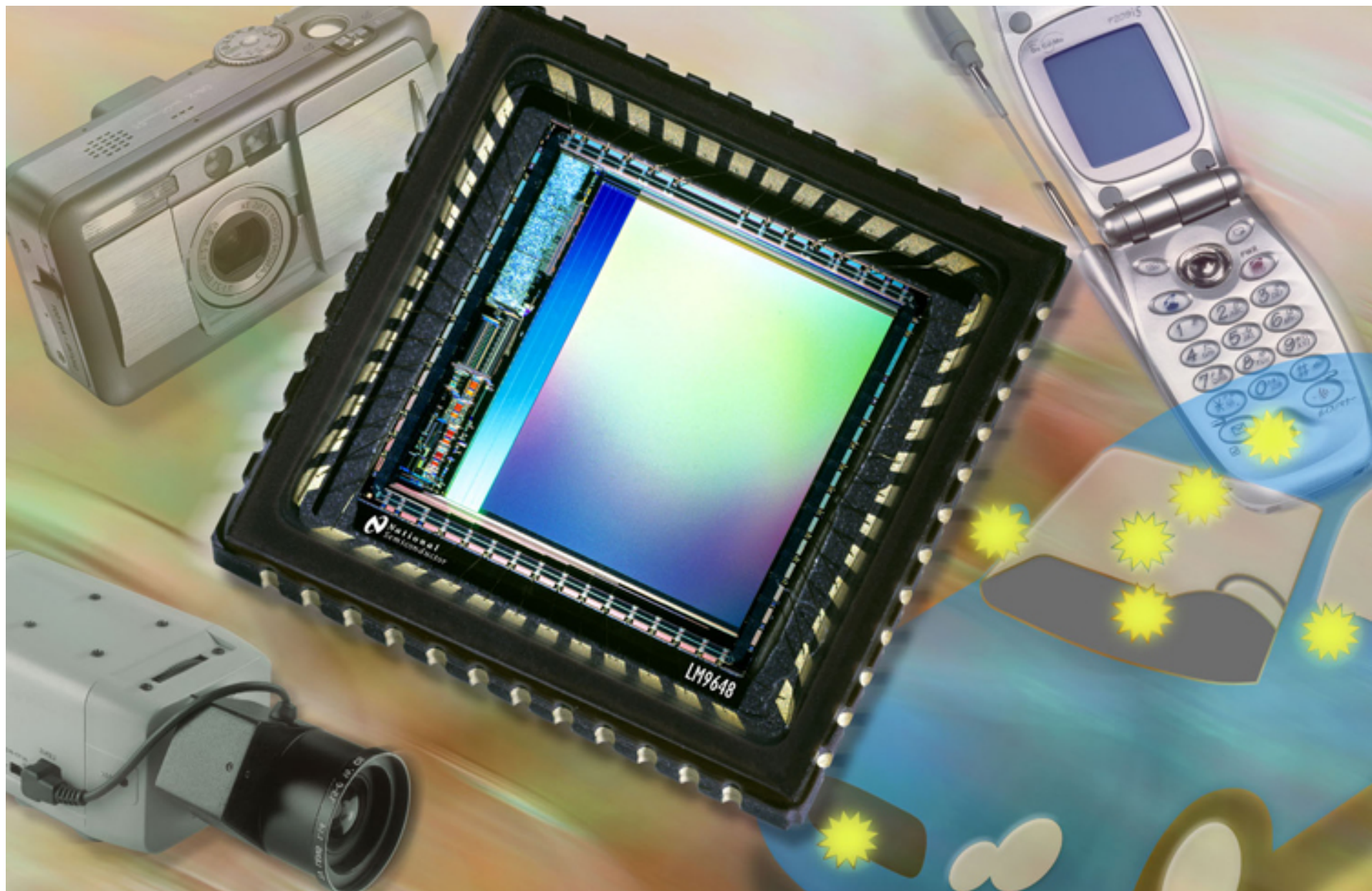
3- Bases de la technologie CMOS

4- Design de portes élémentaires

5- Technologie des composants



Introduction : Chiffres clés



Une brève introduction

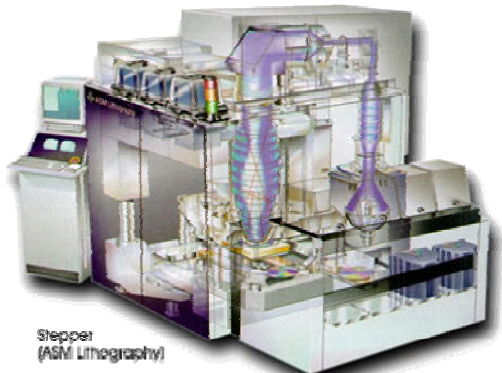
La micro-électronique consiste en la **réalisation miniaturisée de fonctions électroniques de plus en plus complexes** sur un seul support (du silicium en général).



Au départ, le but de la micro-électronique était la **réduction du poids** et du **volume des appareils**, mais ces deux critères sont devenus secondaires face à **l'amélioration de la fiabilité**, **l'accroissement de la puissance** et la **réduction du prix** de revient que permet l'intégration.

Un grand nombre d'acteurs

Activités en amont de la fabrication de CI :

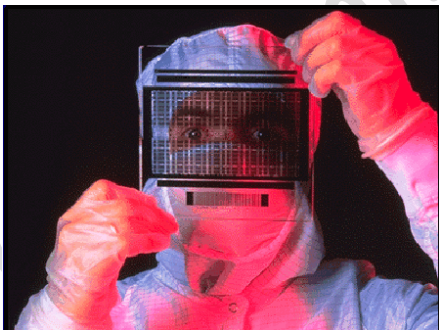


Fabricants d'équipement dédiés:

(équipements pour les salles blanches, produits chimiques, gaz, ...)

Fabricants de wafers :

(fonderies spécialisées dans la production des disques de silicium sur lesquels sont gravés les CI)



Fabricants de masques :

(Sous traitants réalisant les masques de gravure des CI Ex: Dupont de Nemours)

Un grand nombre d'acteurs (2)

Activités de fabrication:



Fabricants de Circuits Intégrés :

Sociétés réalisant toute les phases de la réalisation des CI : de la conception à la fabrication

Ex: Intel, Texas Instruments, AMD, Infineon

Fabless :

Sociétés réalisant le design des CI et sous traitant la fabrication des puces aux sociétés de fonderie

Ex : Nvidia, ATI, Xilinx

Sociétés de Fonderie :

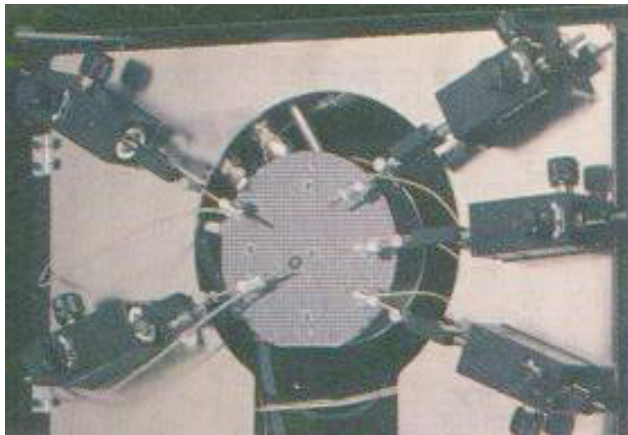
Sociétés fabriquant des CI sur wafers à partir de la conception de leur client (Taiwan principalement)

Ex : TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd.) et UMC (United Microelectronics Corp.)



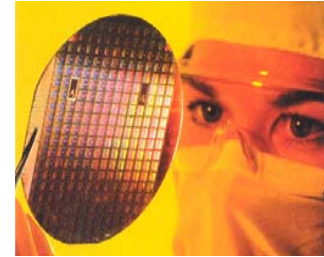
Un grand nombre d'acteurs (3)

De nombreuses autres activités :



Entreprises de tests :

(Sous traitant effectuant les tests des CI)



Intégrateurs :

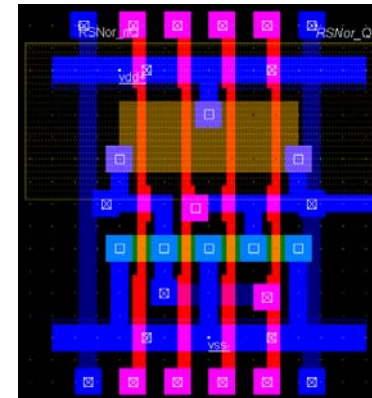
(Utilisateurs de CI fabriqués par d'autres entreprises Ex: Gemplus)

Concepteurs de logiciel :

(Ex: Cadence, Mentor Graphics, Synopsys)

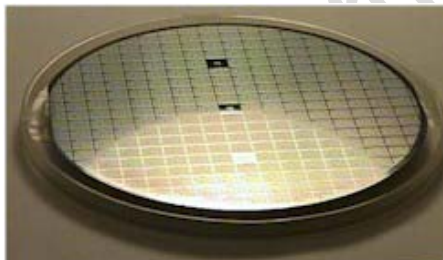
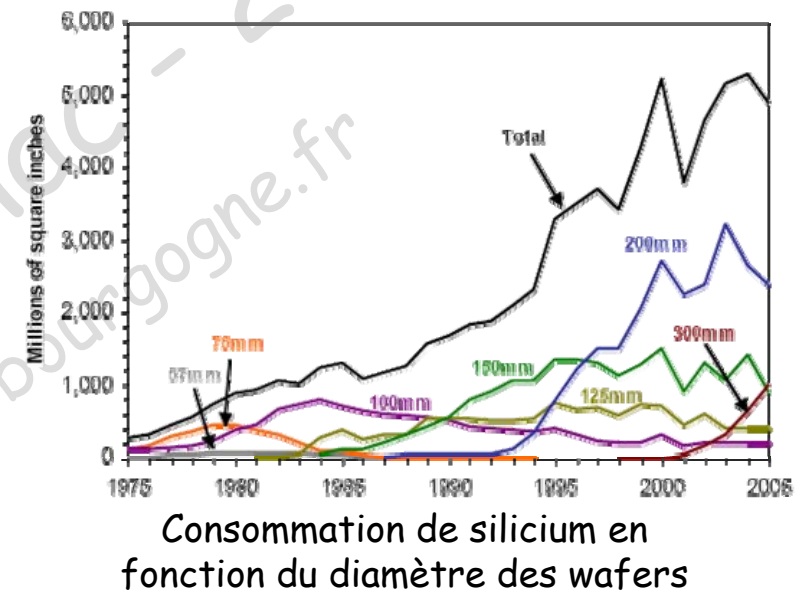
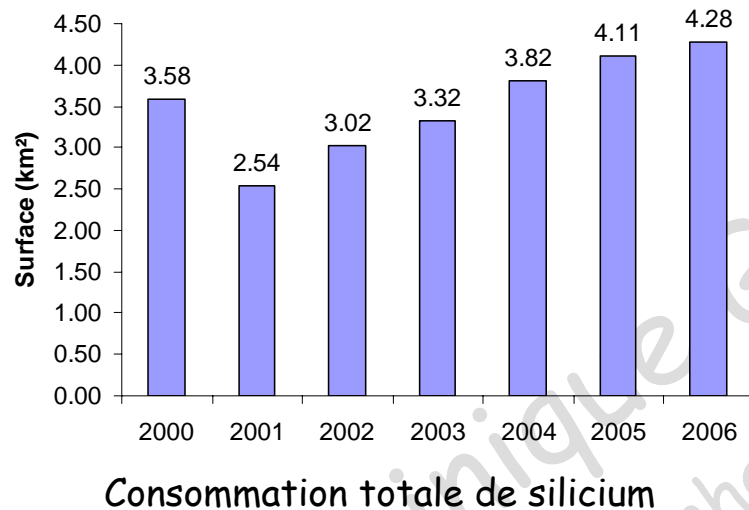
Concepteurs d'éléments de CI :

(Entreprises vendant la conception de CI sous la forme d'Intellectual Properties)



Quelques chiffres

Evolution de la consommation de silicium :



Consommation totale en **hausse constante**

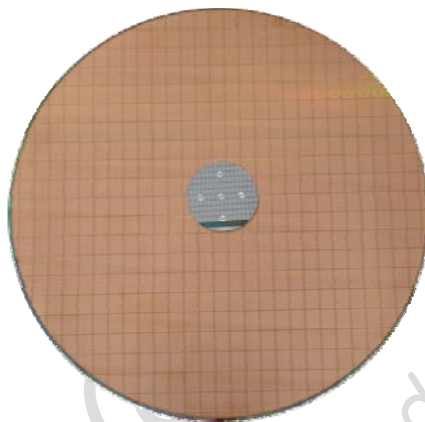
Démarrage des **fabs 300 mm**

Source : SEMI <http://www.semi.org>

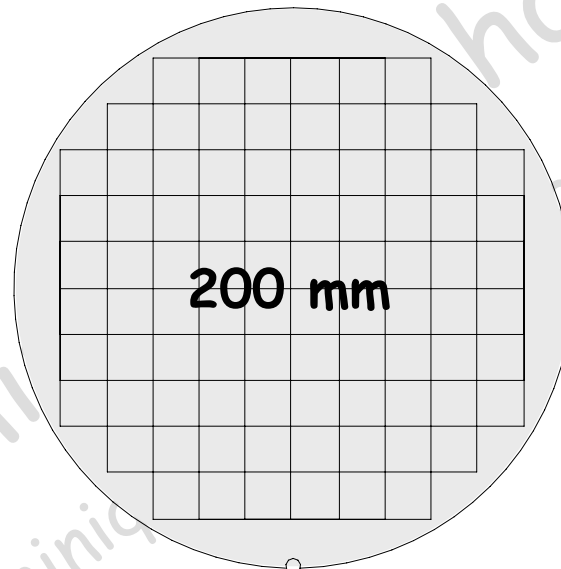
Quelques chiffres

Augmentation du nombre de circuits sur des wafers de plus grandes dimensions :

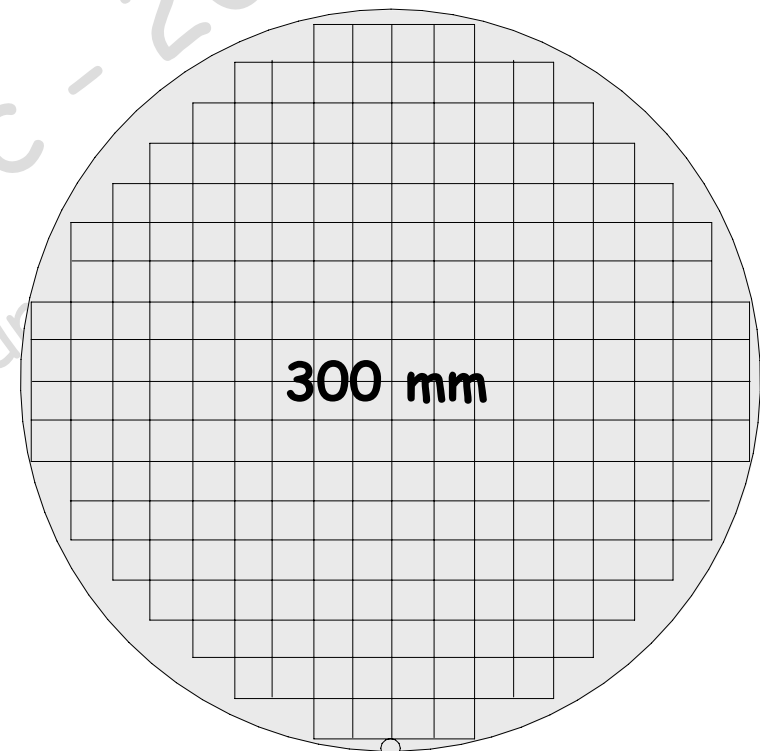
Hypothèse : Fabrication de processeurs de taille 1.5 x 1.5 cm



Wafer 4004 vs 300 mm



88 circuits
(Wafer nu : ~ 75 \$)

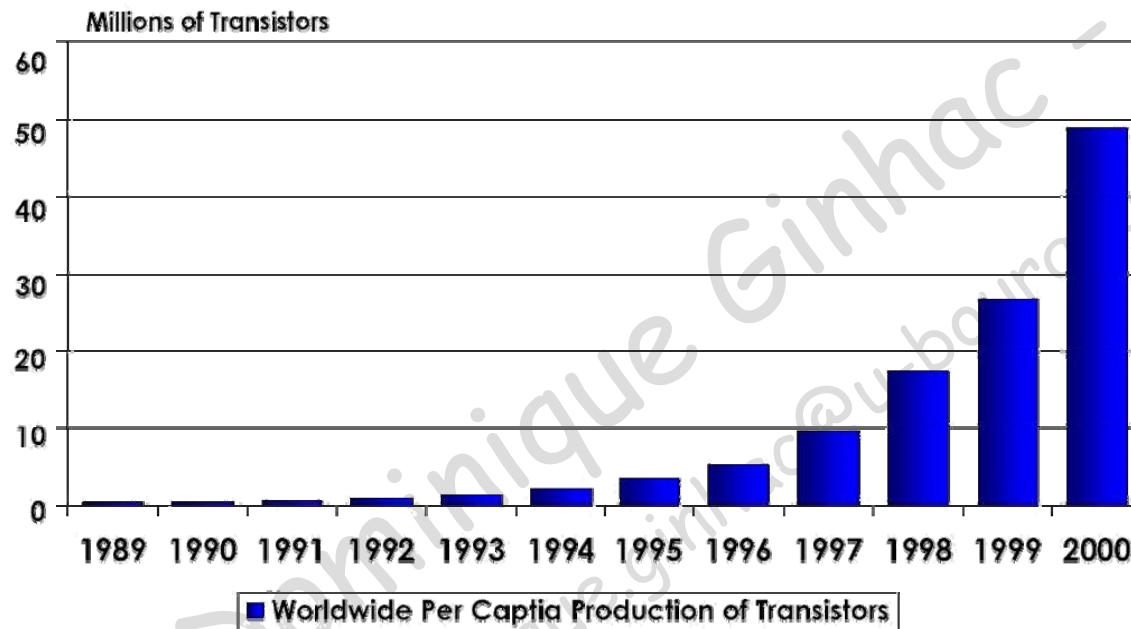


232 circuits
(Wafer nu : ~ 350 \$)

Quelques chiffres (2)

Evolution de la consommation de silicium :

50 Million Transistors Produced for Every Man, Woman & Child on Earth



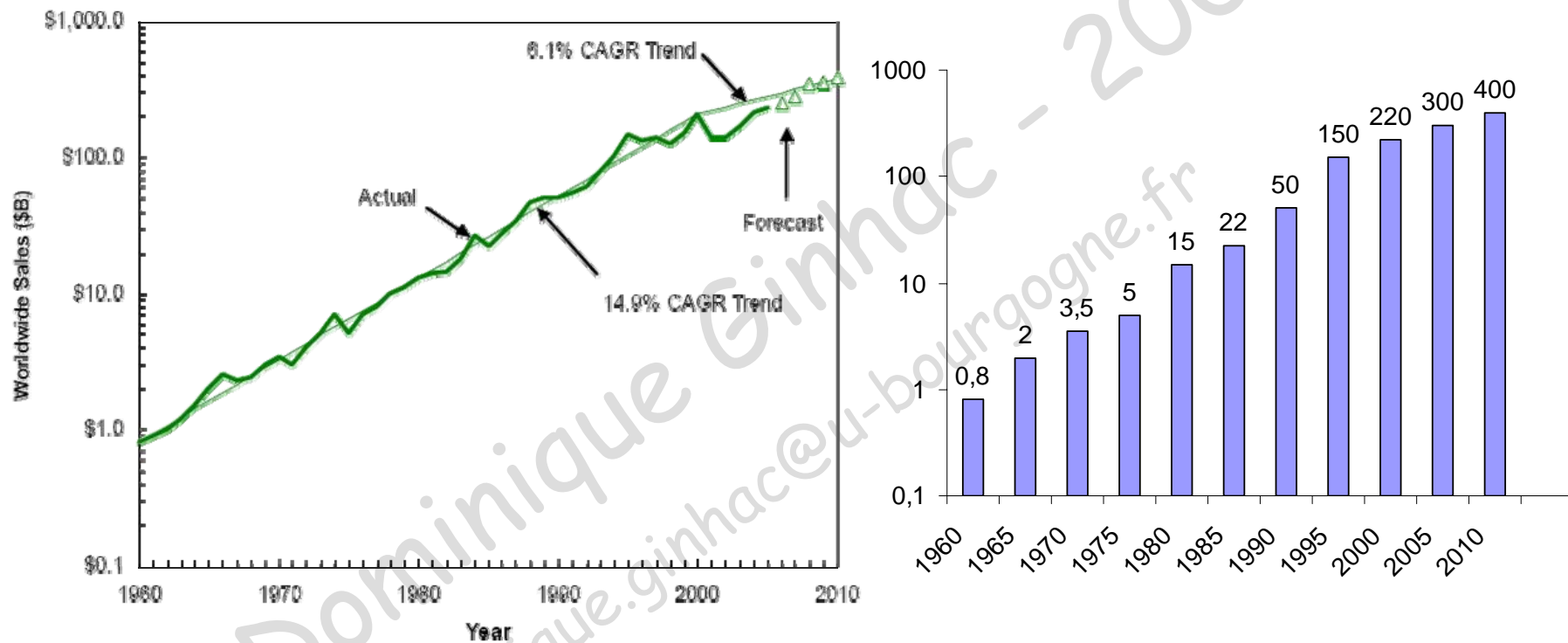
Gordon Moore estimated
in 2003 that the number
of transistors shipped
in a year had reached about
10,000,000,000,000,000 (10¹⁶).
That's about 100 times the number
of ants estimated to be
in the world.

2001 : 60 millions de transistors produits par an et par humain

2010 : ~ 1 milliard de transistors produits par an et par humain

Quelques chiffres (3)

Evolution des revenus du marché : 226 G\$ en 2005 (+6 %)

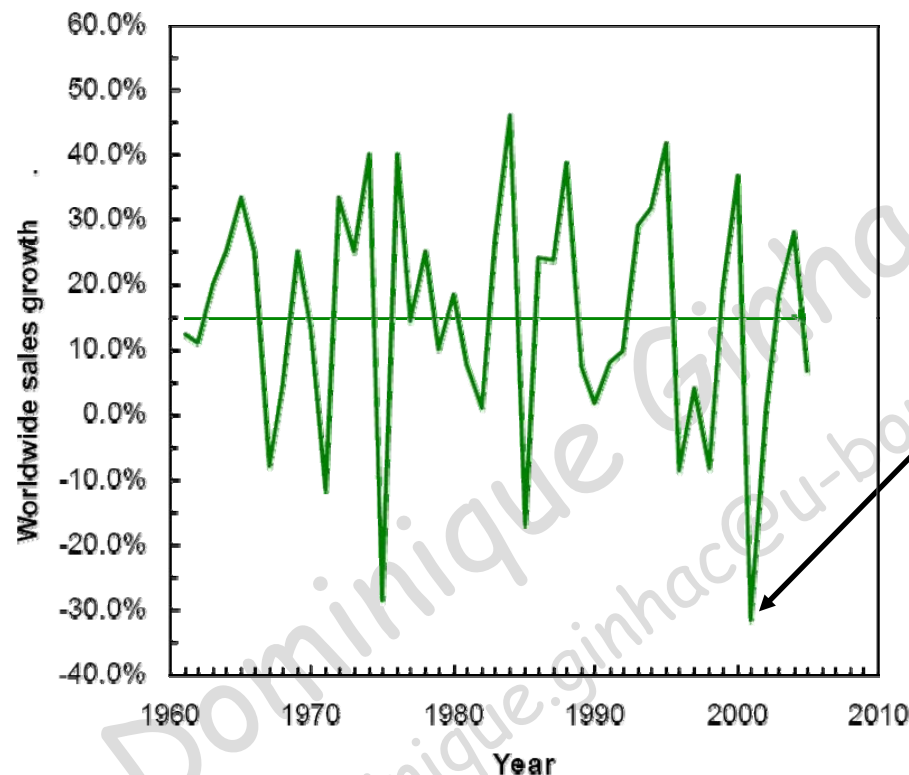


Croissance entre 1970 et 2000 : + 15% par an en moyenne

Croissance depuis 2000 : +6 % par an en moyenne

Quelques chiffres (4)

Evolution des revenus du marché électronique :



2001 : année catastrophique
en raison de la chute de la
« Net Economie »

Marché très sensible entraînant de **fortes disparités** selon les années (-30 % à +50 %)

Quelques chiffres (5)

Classement 2005 des fabricants de semi-conducteurs :

Rang	Compagnie	Origine	CA en M\$	%
1 (1)	Intel	USA	35 466	14.96
2 (2)	Samsung	Corée du Sud	17 210	7.26
3 (3)	Texas Instruments	USA	10 745	4.53
4 (7)	Toshiba	Japon	9 077	3.83
5 (6)	ST	France-Italie	8 881	3.75
6 (4)	Infineon	Allemagne	8 310	3.50
7 (5)	Renesas	Japon	8 266	3.49
8 (8)	Nec	Japon	5 710	2.41

Classement de quelques sociétés célèbres :

Philips (9), Sony (13), AMD (15), IBM (19)

Source : ISupply Corporation

<http://www.isuppli.com/>

Quelques chiffres (6)

En incluant les fonderies dans le classement :

Rang	Compagnie	Origine	CA en M\$	%
8	TSMC	Taiwan	8 180	3.45
18	UMC	Taiwan	3 320	1.4

Top 5 des Fabless en 2005 :

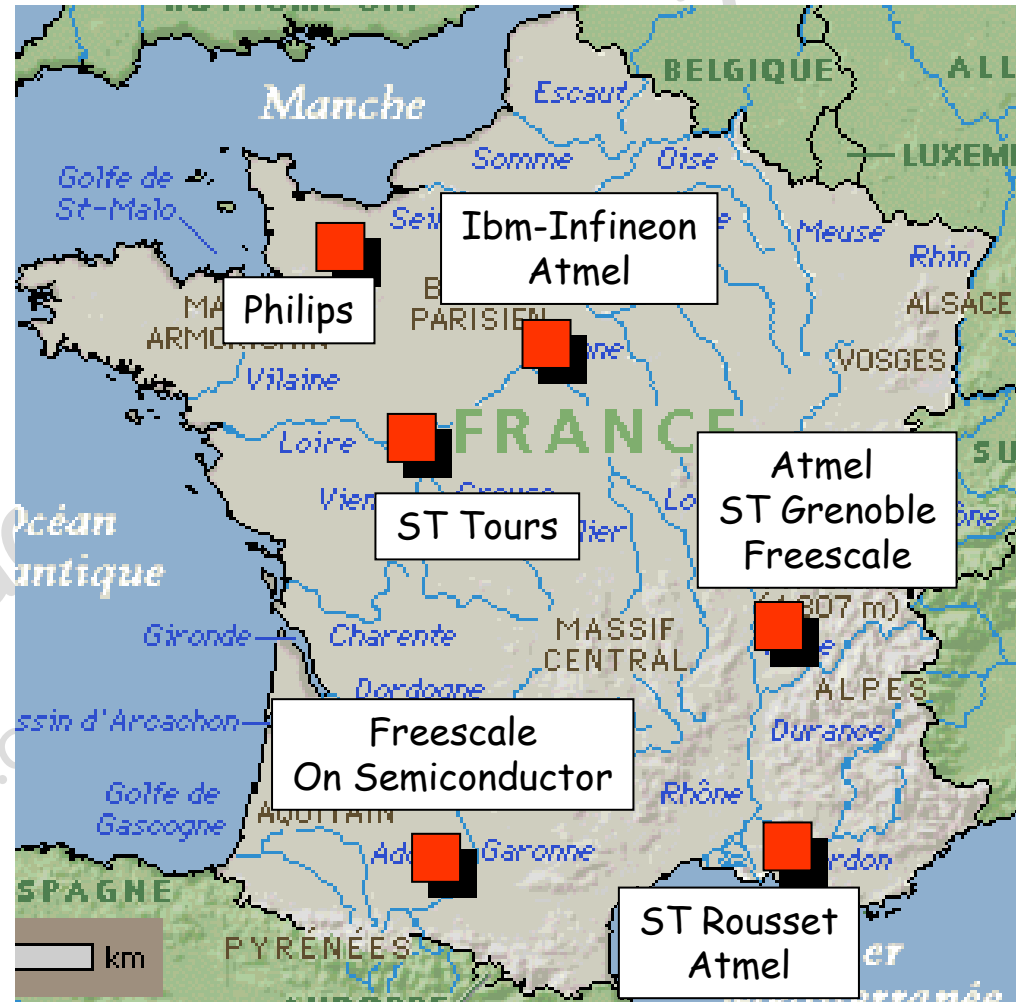
Rang	Compagnie	Origine	CA en M\$	%
1	Qualcomm	USA	3 457	1.46
2	Broadcom	USA	2 671	1.13
3	Nvidia	USA	2 079	0.88
4	ATI	Canada	2 028	0.86
5	Xilinx	USA	1 645	0.69

Source : ISupply Corporation <http://www.isuppli.com/>

Quelques chiffres (7)

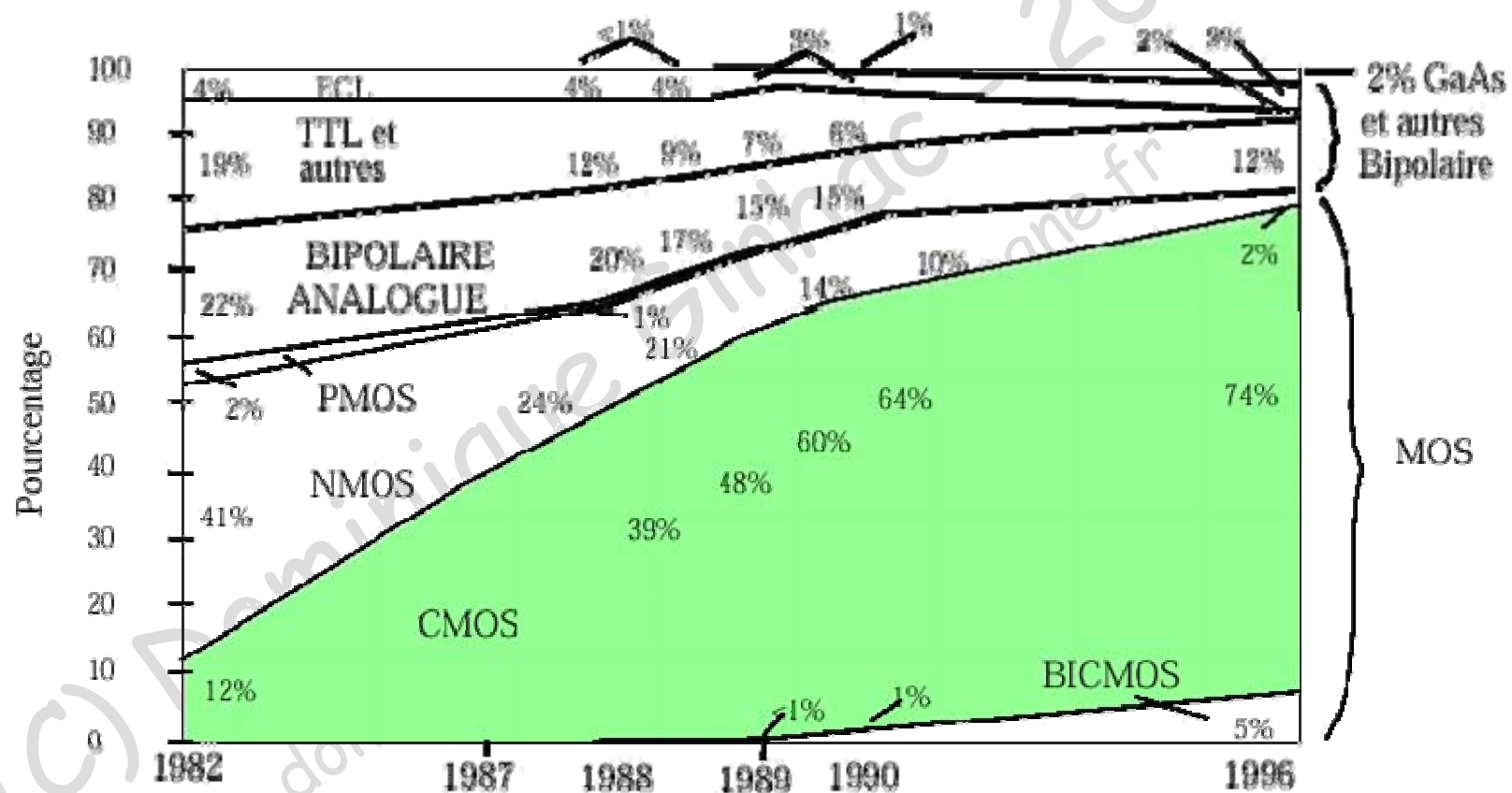


Source : SemiZone
<http://www.semizone.com/fab/>



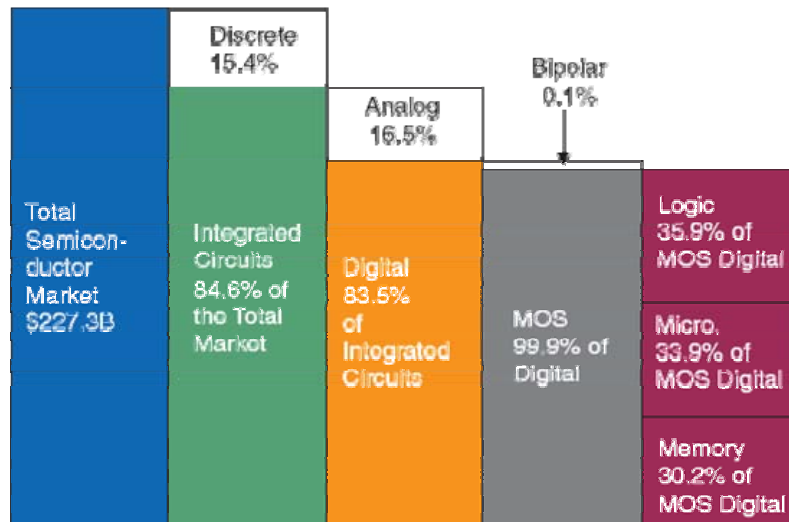
Quelques chiffres (8)

Evolution de la répartition des technos de 1980 à 2000 :

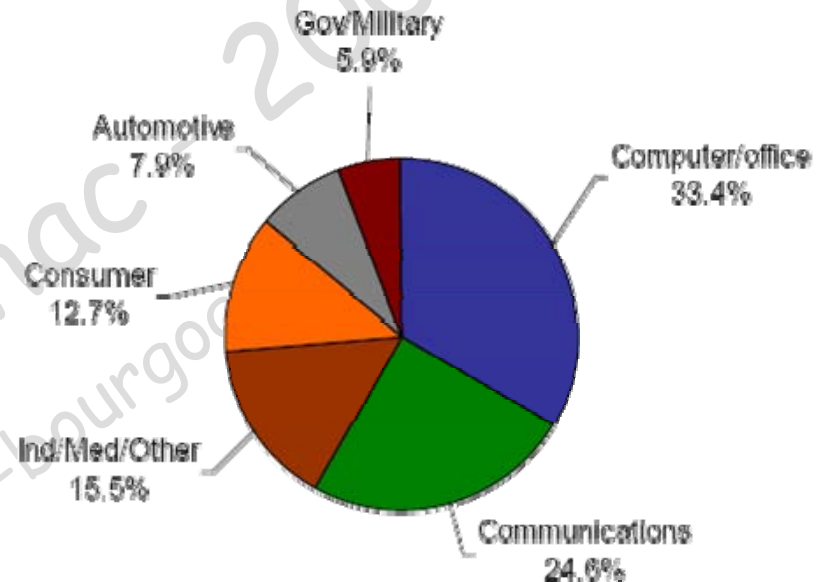


Quelques chiffres (9)

Répartition des différentes technologies en 2005 :



Répartition du marché mondial des semi-conducteurs

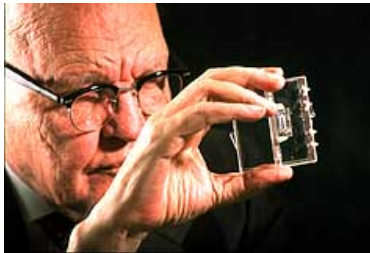


Répartition en fonction des secteurs d'activités

Prépondérance des CI (~ 85 %)

Conception quasi exclusive des CI en technos MOS (99.9%)

Au final

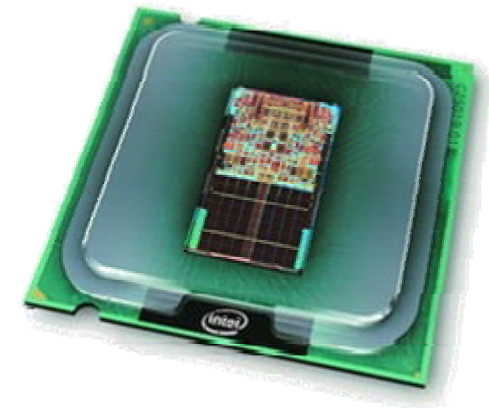


Un secteur à très forte croissance
depuis **l'invention du transistor en 1947**

Croissance depuis 1970 : **+15%/an**



70 % de la production
actuelle est constituée de
CI Numériques

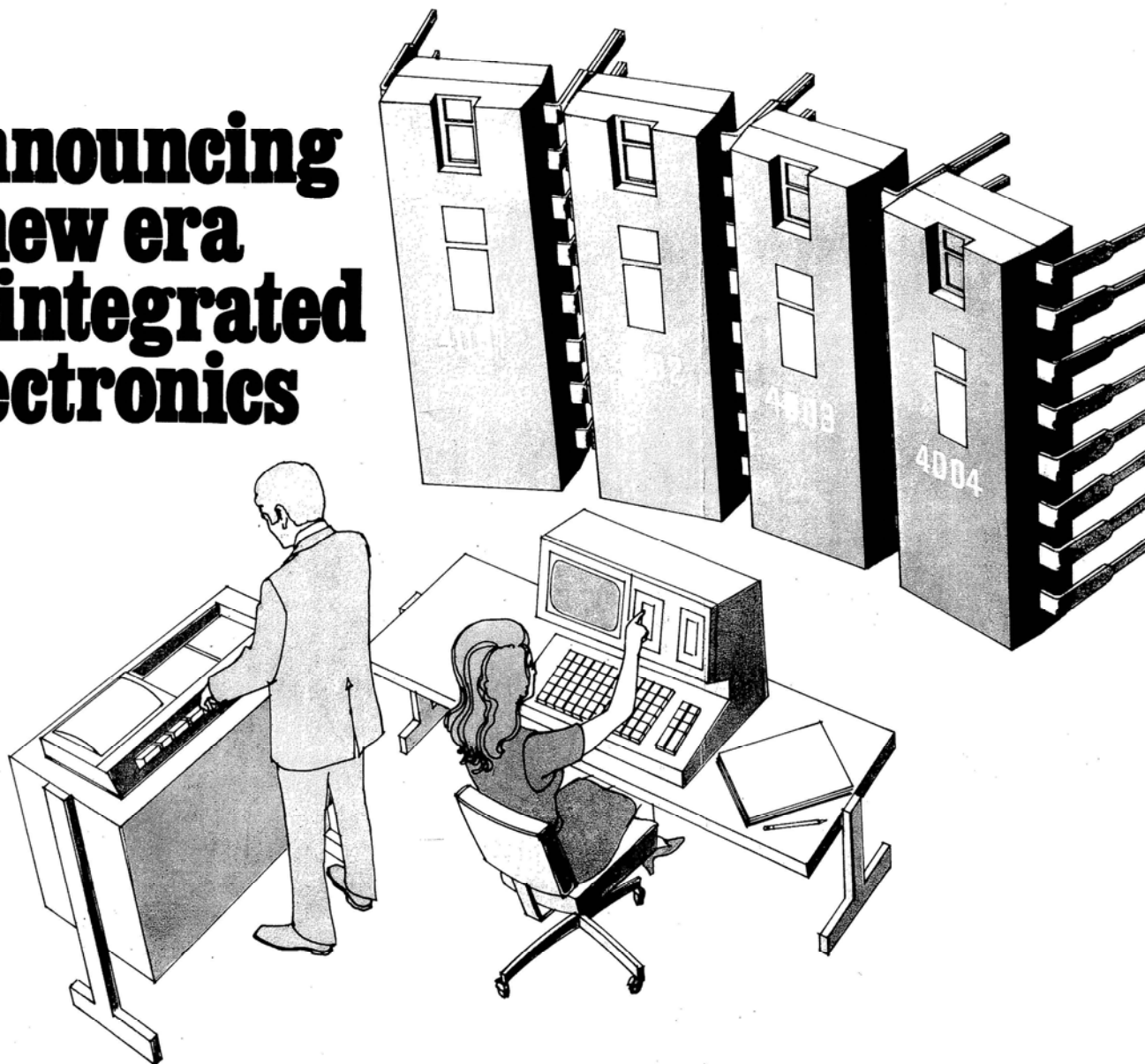


Par contre, les origines de l'électronique numérique
peuvent remonter jusqu'à la **préhistoire**



Introduction : Historique

Announcing a new era of integrated electronics



A micro- programmable computer on a chip!

Intel introduces an integrated CPU complete with a 4-bit parallel adder, sixteen 4-bit registers, an accumulator and a push-down stack on one chip. It's one of a family of four new ICs which comprise the MCS-4 micro computer system—the first system to bring you the power and flexibility of a dedicated general-purpose computer at low cost in as few as two dual in-line packages.

MCS-4 systems provide complete computing and control functions for test systems, data terminals, billing machines, measuring systems, numeric control systems and process control systems.

The heart of any MCS-4 system is a Type 4004 CPU, which includes a powerful set of 45 instructions. Adding one or more Type 4001 ROMs for program storage and data tables gives you a fully functioning micro-programmed computer. To this you may add Type 4002 RAMs for read-write memory and Type 4003 registers to expand the output ports.

Using no circuitry other than ICs from this family of four, you can create a system with 4096 8-bit bytes of ROM storage and 5120 bits of RAM storage. When you require rapid turn-around or need only a few systems, Intel's erasable and re-programmable ROM, Type 1701, may be substituted for the Type 4001 mask-programmed ROM.

MCS-4 systems interface easily with switches, key-boards, displays, teletypewriters, printers, readers, A-D converters and other popular peripherals.

The MCS-4 family is now in stock at Intel's Santa Clara headquarters and at our marketing headquarters in Europe and Japan. In the U.S., contact your local Intel representative for technical information and literature. In Europe, contact Intel at Avenue Louise 216, B 1050 Bruxelles, Belgium. Phone 492003. In Japan, contact Intel Japan, Inc., Parkside Flat Bldg. No. 4-2-2, Sendagaya, Shibuya-Ku, Tokyo 151. Phone 03-403-4747.

Intel Corporation now produces micro computers, memory devices and memory systems at 3065 Bowers Avenue, Santa Clara, Calif. 95051. Phone (408) 246-7501.

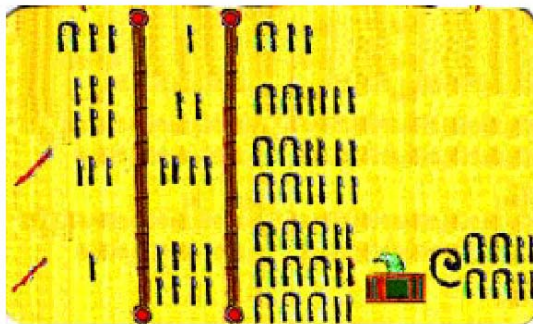
**intel[®]
delivers.**

Il y a bien longtemps ...

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ -3000 : **Octogone à trigramme** de l'empereur Chinois Fou-Hi

Invention et codage des 8 premiers chiffres sous forme binaire

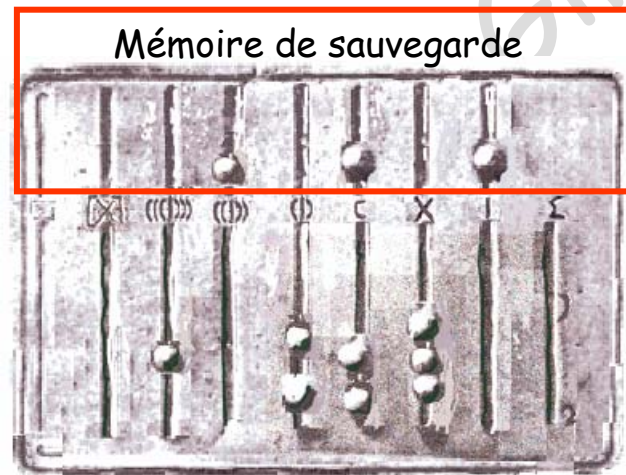


~ -1700 : **Multiplication égyptienne**
(Papyrus du RIND)

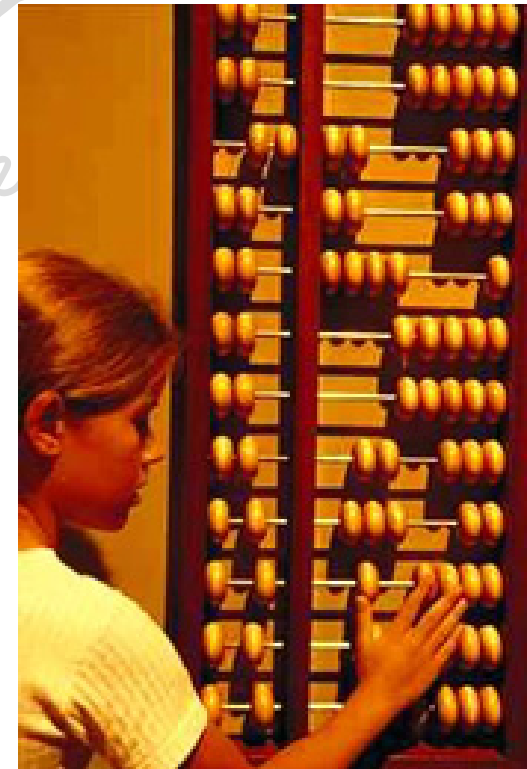
Il y a bien longtemps ... (2)

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ -500 : Apparition au Moyen Orient
du premier "outil" de calcul : l'**abaque**
et le **boulier**



Abaque romain
chiffres notés par des cailloux



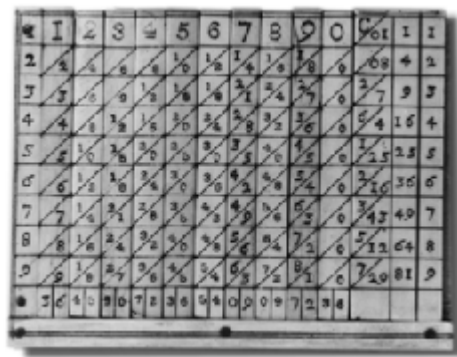
Il y a bien longtemps ... (3)

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ 800 : Invention de l'Algorithme par
Mukhammad ibn Musa Al'Khowarizmi

Les débuts de la programmation ?

~ 1615 : Les bâtons de **Neper** (NAPIER)



Il y a bien longtemps ... (4)

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ 1623 : Wilhelm Schickard invente «l'horloge calculante» (opérations +, -)
Calcul mécanique à base de roues dentées

~ 1632 : L'Anglais Oughtred invente la règle à calcul (et permet l'opération *).



~ 1642 : Pascal met au point la **Pascaline** (opérations +, -)
Souvent considérée comme la première de l'histoire.

Il y a bien longtemps ... (5)

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ 1679 : Leibnitz s'intéresse à l'**arithmétique binaire** et crée en 1694 une machine à calculs (opérations $+$, $-$, $*$, $/$)



~ 1833 : Babbage tente de réaliser une **machine analytique** (unité de calcul, mémoire, registre et cartes perforées.)

Hors de portée de la technologie de l'époque



Reconstituée d'après les plans originaux

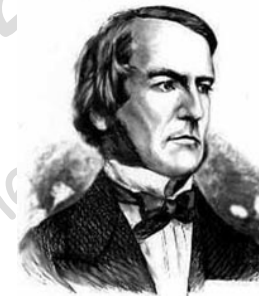
Il y a bien longtemps ... (6)

De -3000 à 1900 : 5000 ans pour développer les concepts !

~ 1854 : **G. Boole** (Théorie de la logique)

« An Investigation of the Laws of Thought »
», Dover Publications, Inc., 1854.

Cofondateur de la logique moderne avec **A. De Morgan** (lois de De Morgan)



Boole



De Morgan



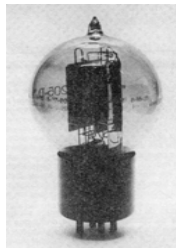
Shannon

~ 1938 : Mise en application par **C. Shannon** dans sa thèse au MIT

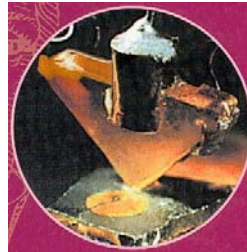
Chronologie du XXème siècle

De 1900 à aujourd'hui : Tout est prêt

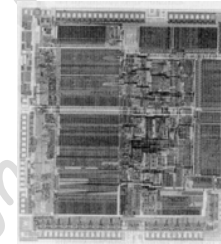
Tube à vide (1906)



Transistor (1947)

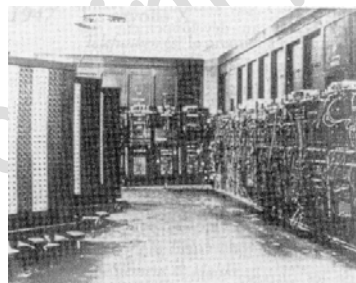


Microprocesseur (1971)

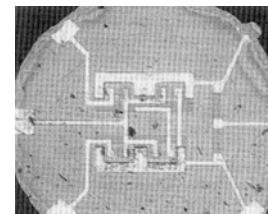


1900

2000



Ordinateur (1945)



Circuits
intégrés (1958)

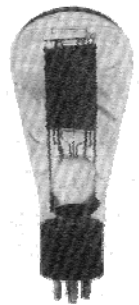


ASIC (1983)

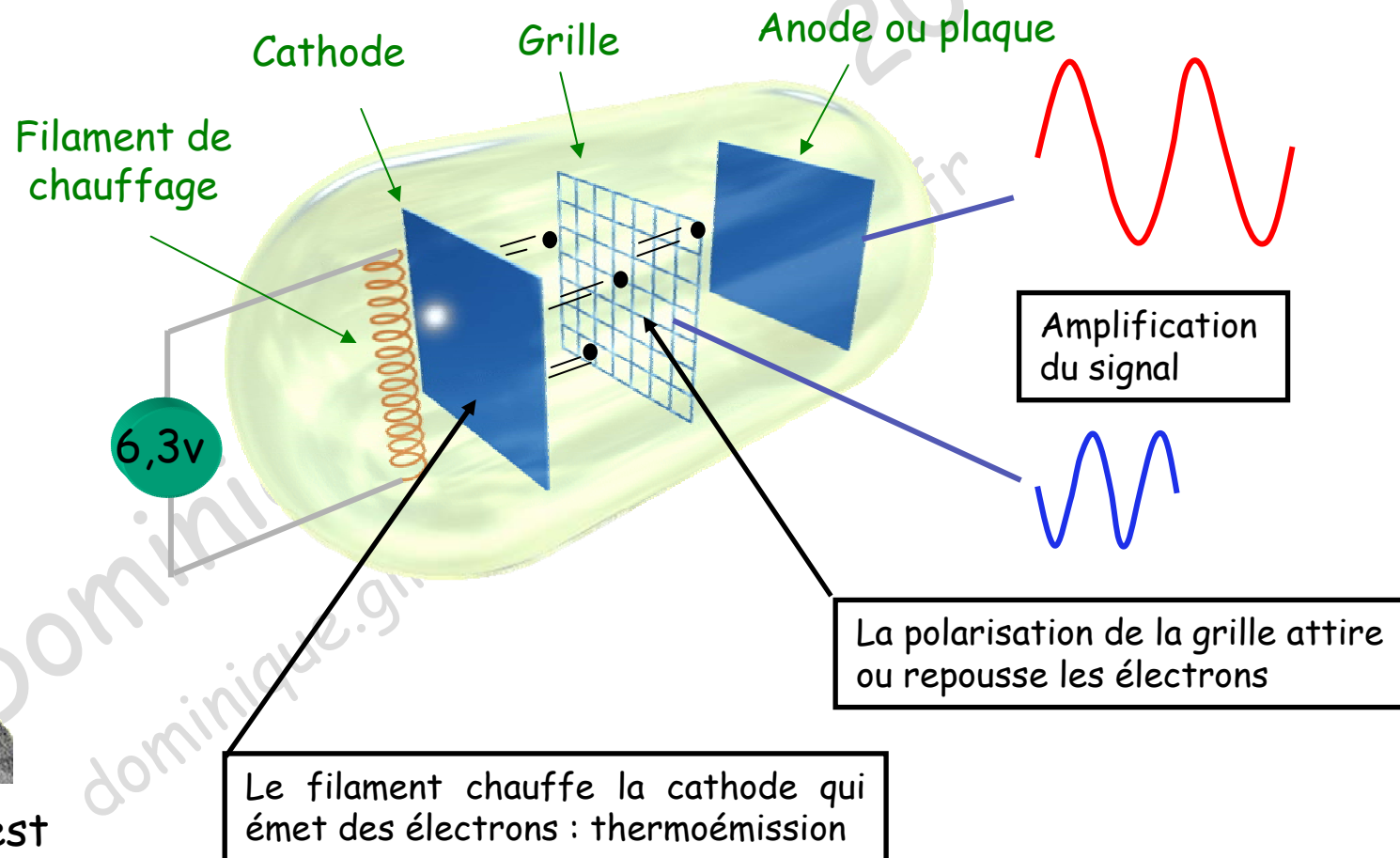
A l'origine fut le tube à vide...



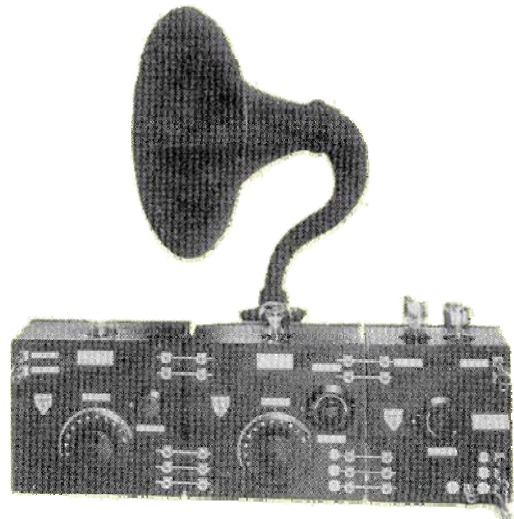
1906 : Lee de Forest invente le **tube électronique**



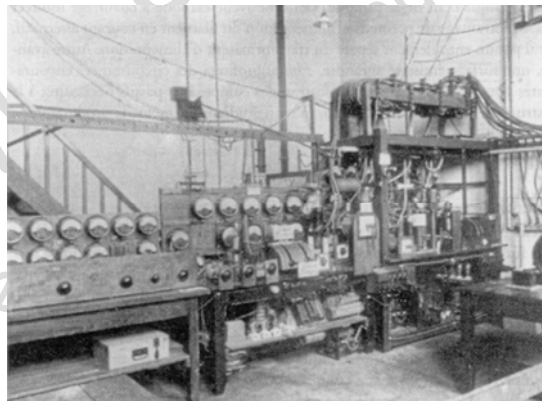
Lee de Forest



Premières applications



Récepteur radio



Émetteur radio

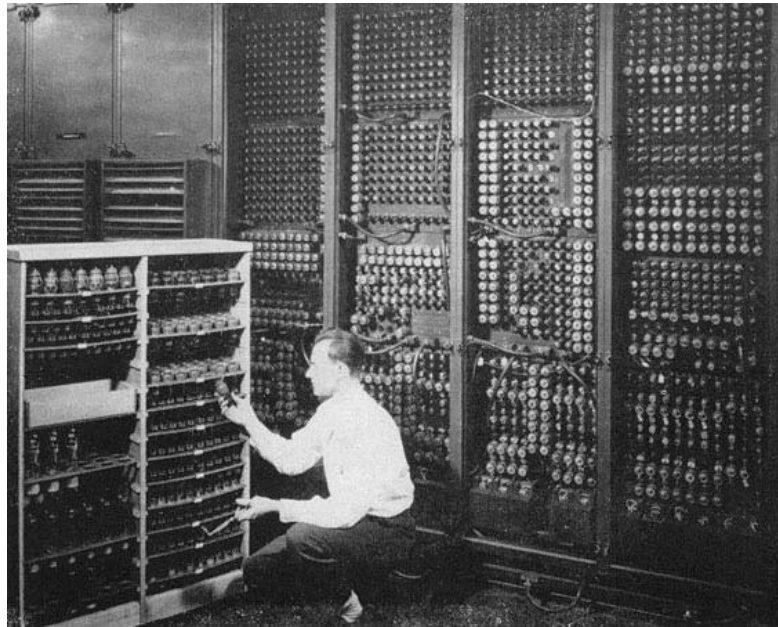


Amplificateur audio

Premier calculateur à tubes



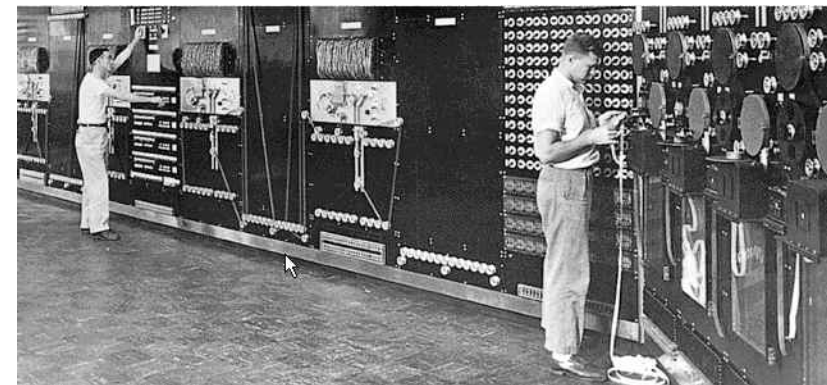
1945 : Apparition du 1^{er} calculateur à tubes : l'ENIAC



18 000 tubes à vides
70 000 résistances
10 000 capacités
6 000 interrupteurs

Dimensions : 30 m x 3 m x 1 m

Consommation de 140KW
Fréquence de 100 kHz
5 000 additions par seconde
500 multiplications par second



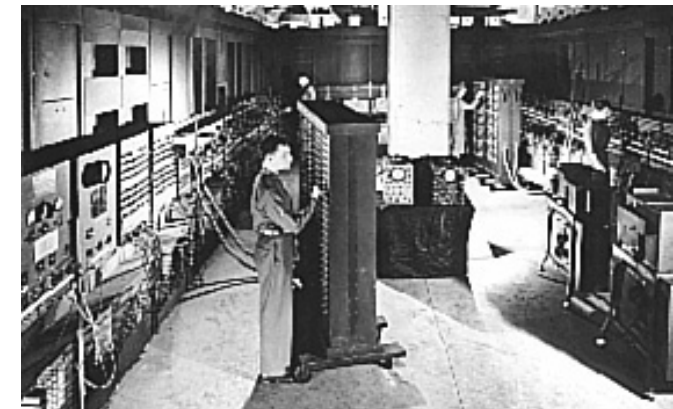
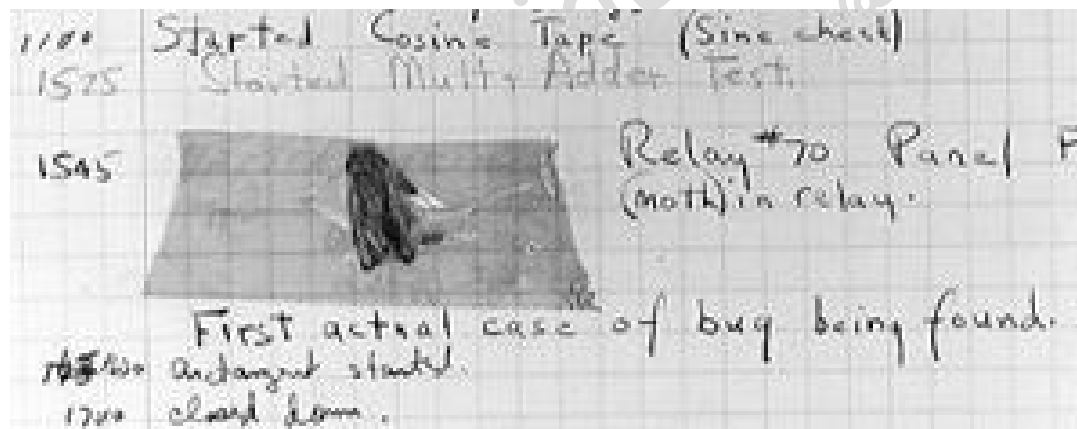
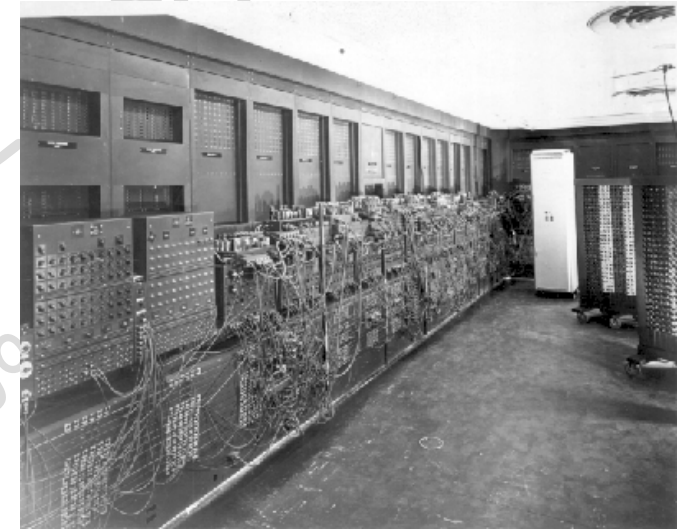
Premier ordinateur à tubes



1945 : Apparition du 1^{er} ordinateur à tubes : l'ENIAC

Mean Time Before Failure (MTBF) : ~ 1h

Premier cas de « Bug Informatique » en 1946

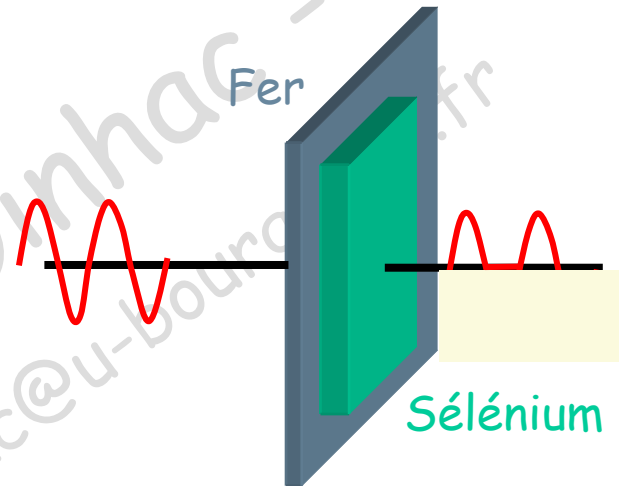


Et les semi-conducteurs ???

1874 : Braun réalise le **premier redresseur à base de semi-conducteur** (sélénium)



K. F. Braun



A l'époque on ne connaît que 2 matériaux semi-conducteurs:
le sélénium et l'oxyde de cuivre

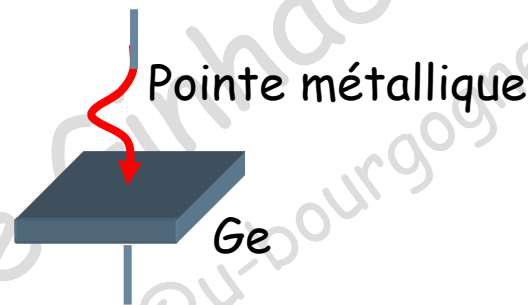
Ni le germanium, ni le silicium ne sont utilisés en tant que semi-conducteur

Premières diodes

1940 : Schottky met en évidence le **contact métal/semi-conducteur**.



W. Schottky



Encore utilisée
aujourd'hui en HF

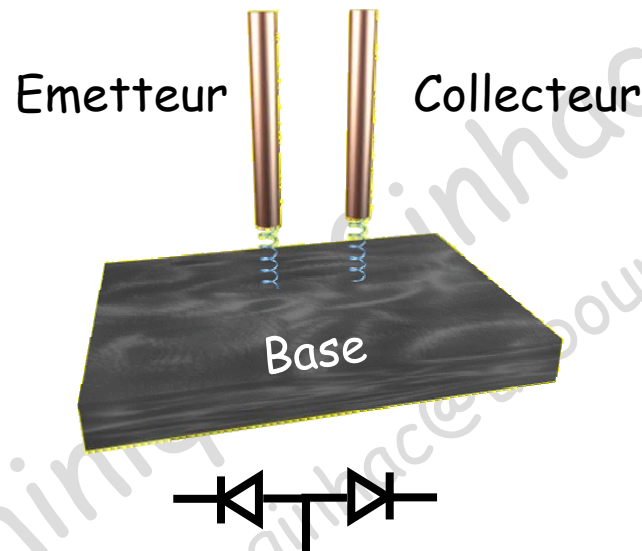
1942 : Production des **premières diodes à pointe** au germanium

Transistor Bipolaire

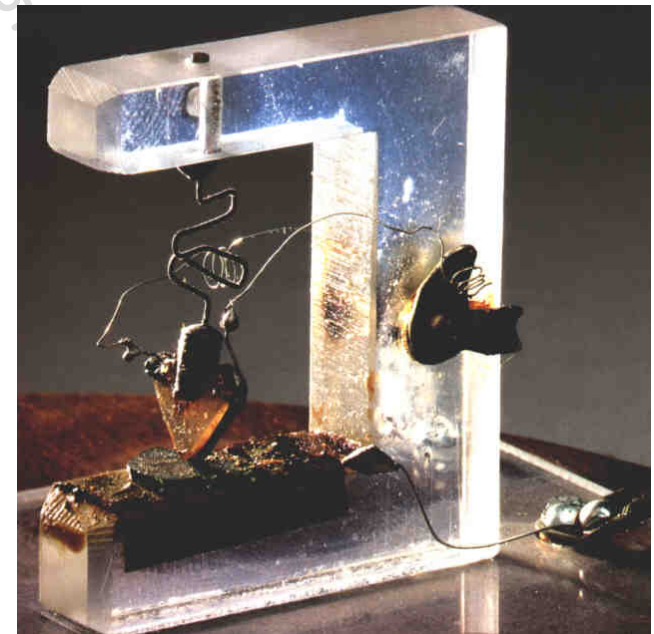
1947 : L'équipe de Shockley eut l'idée de faire **deux diodes à pointe** sur le même cristal de Germanium.



W. Shockley

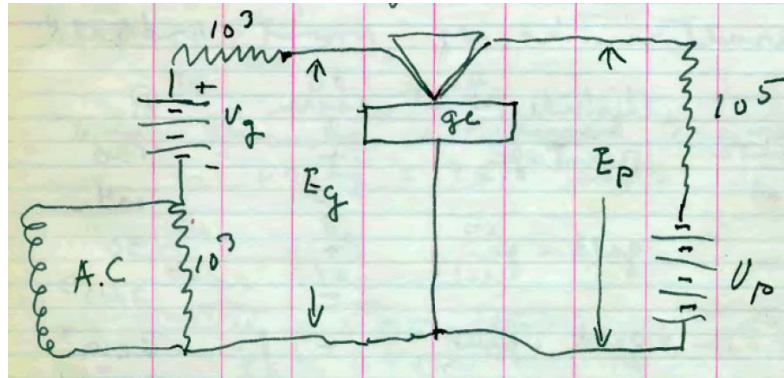


Lorsque les deux pointes sont proches, le courant de l'une influence l'autre.



Ils donnèrent au phénomène le nom de **transistor = transconductance + varistor**

Transistor Bipolaire (2)



- ✓ Invention du transistor en décembre 1947 (curiosité de labo)
- ✓ Premier brevet en 1948
- ✓ Production commerciale en 1954
- ✓ Prix Nobel de Physique en 1956

Schéma de principe tiré des notes de Brattain (16/12/47)

Patented Sept. 25, 1951

2,569,347

Transistor. This is an abbreviated combination of the words "transconductance" or "transfer", and "varistor". The device logically belongs in the varistor family, and has the transconductance or transfer impedance of a device having gain, so that this combination is descriptive.

UNITED STATES PATENT OFFICE

2,569,347

CIRCUIT ELEMENT UTILIZING SEMICONDUCTIVE MATERIAL

William Shockley, Madison, N. J., assignor to Bell Telephone Laboratories, Incorporated, New York, N. Y., a corporation of New York

Application June 26, 1948, Serial No. 35,423

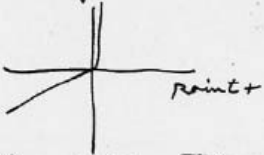
Explication du choix du nom « Transistor » dans le document « Terminology for Semiconductor Triode » (28/05/1948)

Entête du brevet final déposé par Shockley

Transistor Bipolaire (3)

DATE: Dec 16, 1947
CASE NO. 38139-7

pressed down on the bare surface.
both gold contacts to the surface
rectified nicely



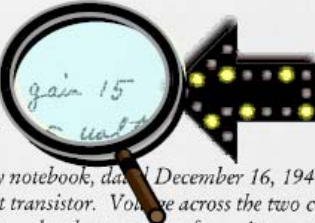
point	IT
+	30 ohms
-	3×10^4 ohms

the separation between points
was about 4×10^{-3} cm.

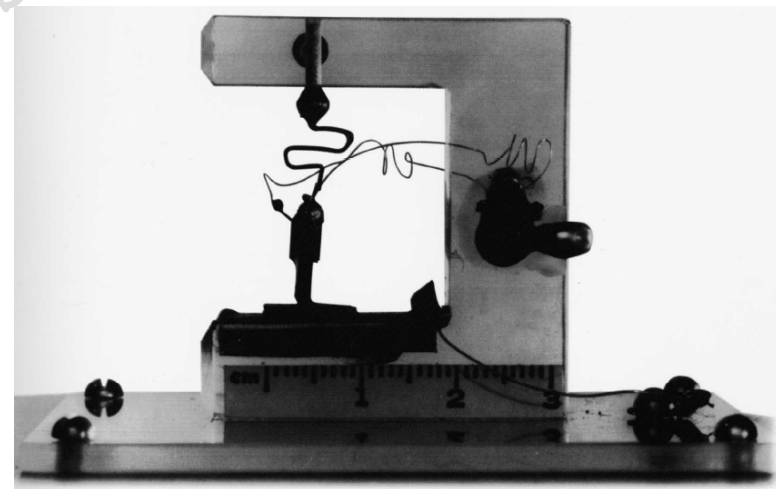
One point was used as a grid
and the other point as a plate
The bias (D.C.) on the grid had
to be positive to get amplification
Several cases were measured.

~~For~~ D.C. bias on grid ~ 1.0 volts
A.C. $E_g = 0.6$ volts $D.C. I_g \sim 1 \times 10^{-4}$
 $I_g = 1.25 \times 10^{-3}$
 $P_g = 7.5 \times 10^{-3}$
 $E_p = 10$ volts
 $R_p = 10^4$
 $P_p = 10^{-2}$

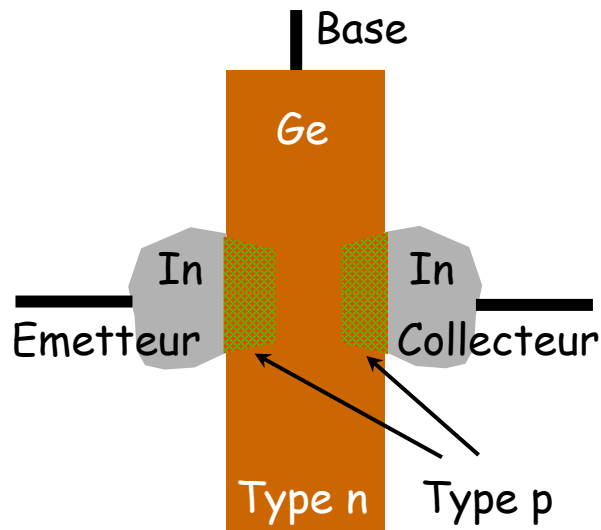
power gain 1.3 volts
at a plate bias of about



Walter Brattain's laboratory notebook, dated December 16, 1947:
the birth of the point-contact transistor. Voltage across the two con-
tacts resulted in a power gain – the phenomenon of transistor action.



Transistor bipolaire (4)



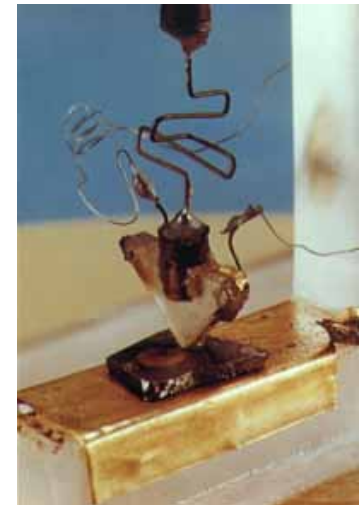
A l'origine la **fabrication** est relativement **rudimentaire**

Les principales difficultés sont :

- ✓ la **reproductibilité**,
- ✓ l'**épaisseur** de la base.

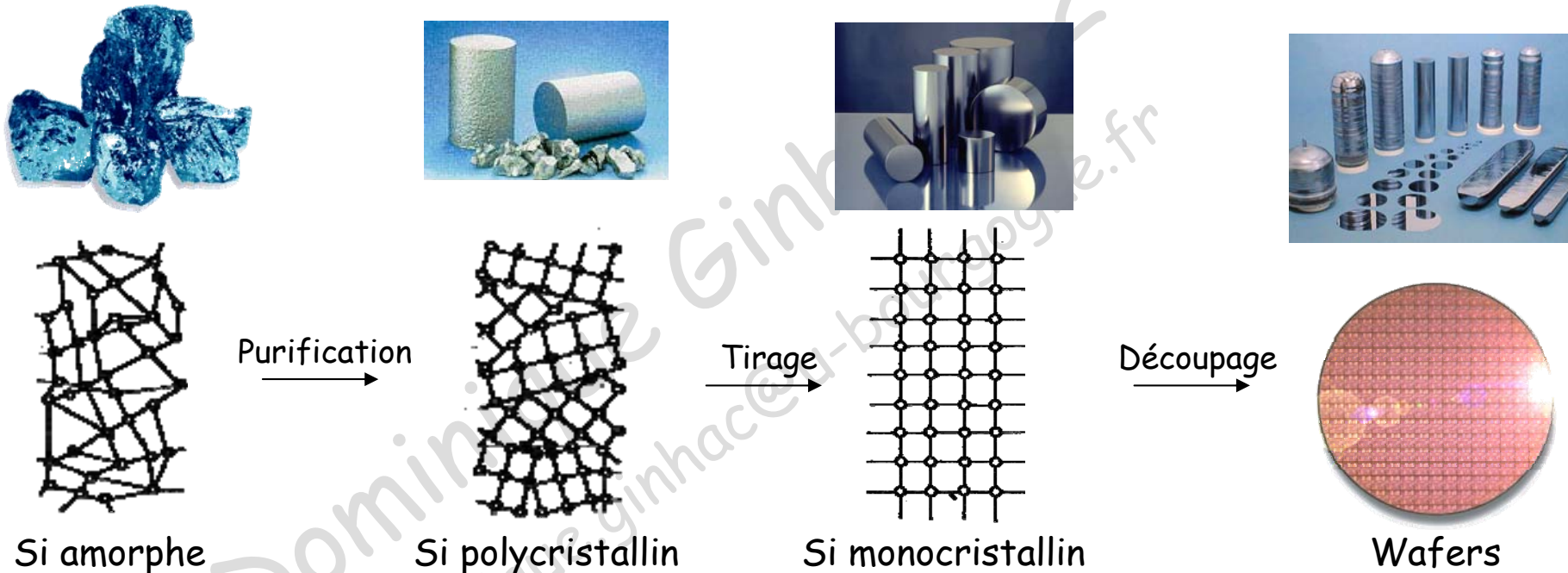
La nécessité d'améliorer les **performances** des transistors bipolaires a poussé les chercheurs à développer de **nouvelles techniques** permettant :

- ✓ L'utilisation **d'autres semi-conducteurs** tels que le Silicium
- ✓ L'obtention de **semi-conducteur ultra pur**
- ✓ La fabrication en **grande série** de transistors ayant des propriétés identiques



Transistor bipolaire en Silicium

1952 : Bell Labs présente une méthode pour réaliser le **tirage du Silicium monocristallin** avec une pureté de 99,7%.



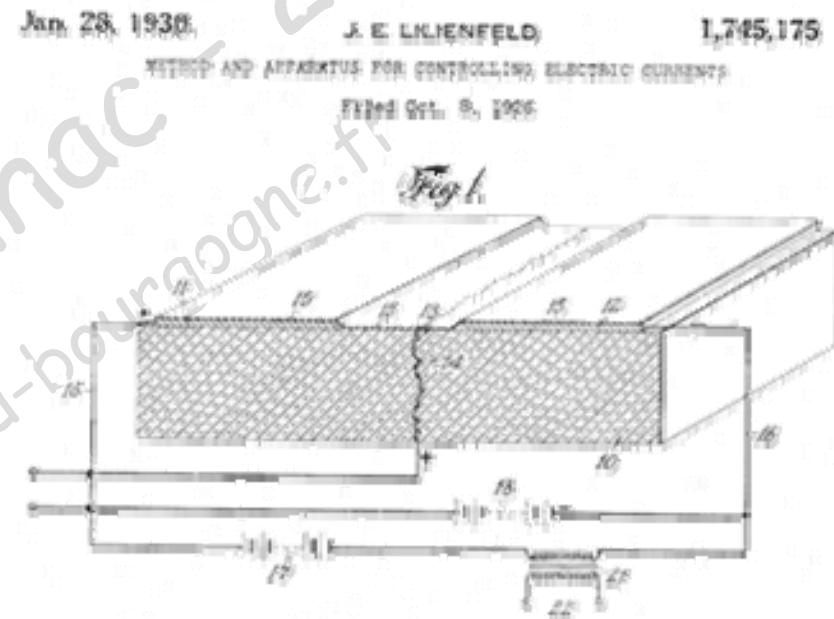
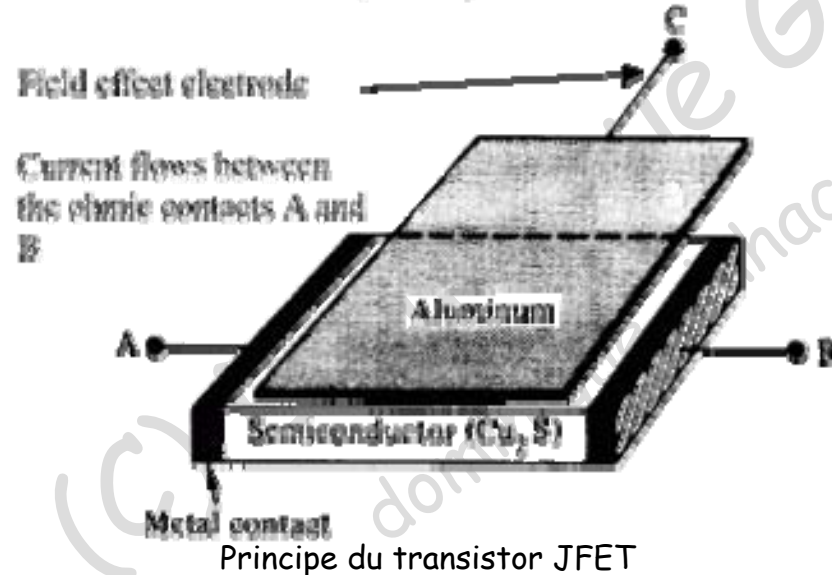
1954 : Première utilisation du **Silicium** à la place du Germanium

Transistor à effet de champ

1928 : Dépôt du **brevet du principe** par Lilienfeld et Heil

Principe : L'application d'une tension sur un matériau peu conducteur doit changer sa conductivité et permettre ainsi une amplification

Lilienfeld transistor (1930s)



Figures tirées des brevets déposés par Lilienfeld

Transistor à effet de champ (2)

1952 : Publication et **description** très **fouillée** de Shockley

$$G = \frac{1}{R} = q \cdot n_d \cdot u_e \cdot \frac{S}{L}$$

Modifier la section :
JFET

Modifier la densité
de porteurs: MOSFET



Premier JFET

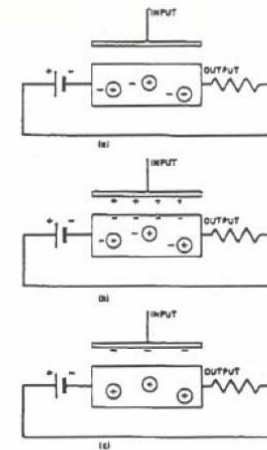


Fig. 6. The theory of a field-effect transistor using a thin layer of semiconductor: (a) The structure of the transistor with no control voltage applied. (b) The situation prevailing when a positive charge is placed on a control plate to increase the conductance of the semiconductor. (c) The situation when a negative charge is put on the capacitor plate to reduce the conductance of the semiconductor.

Shockley (1952)

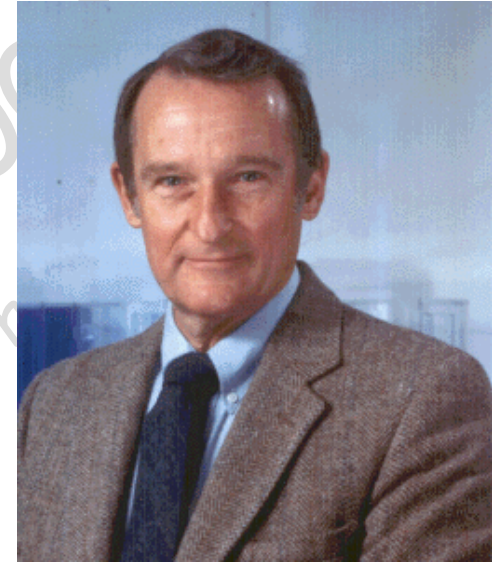
1953 : Dacey et Ross réalisent le
premier JFET en **Germanium**

Premier ordinateur transistorisé

1957 : *Seymour Cray* réalise le CDC 1604, **premier ordinateur** commercial entièrement **transistorisé**.



Processeur 48 bits,
Mémoire de 32 K mots de 48 bits
cycle mémoire : 5 microsecondes.



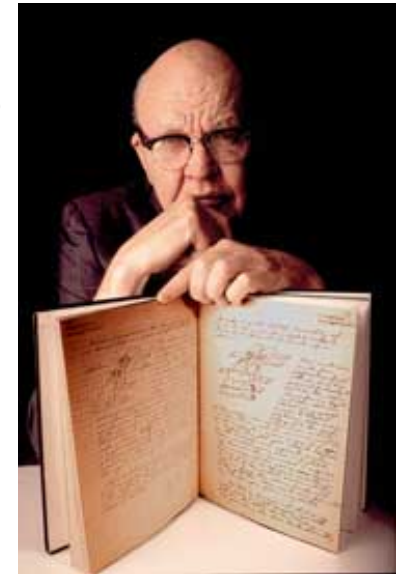
S. Cray



Invention du circuit intégré

1958 : Jack Kilby de chez *Texas Instruments* met au point le **premier circuit intégré** comprenant **5 composants passifs**.

Possibilité de placer plusieurs composantes microscopiques sur un même substrat au lieu de câbler des composantes discrètes sur un circuit imprimé.



J. Kilby

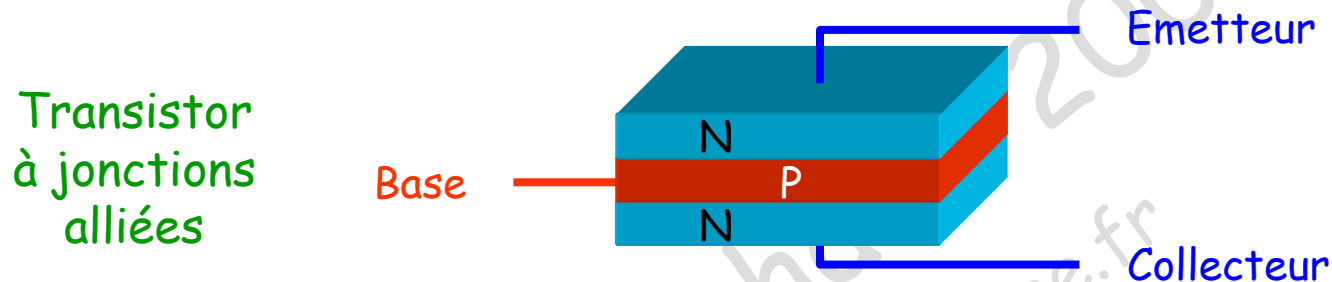


20
EP NO. 2,851,001
DATE Sept. 12, 1958

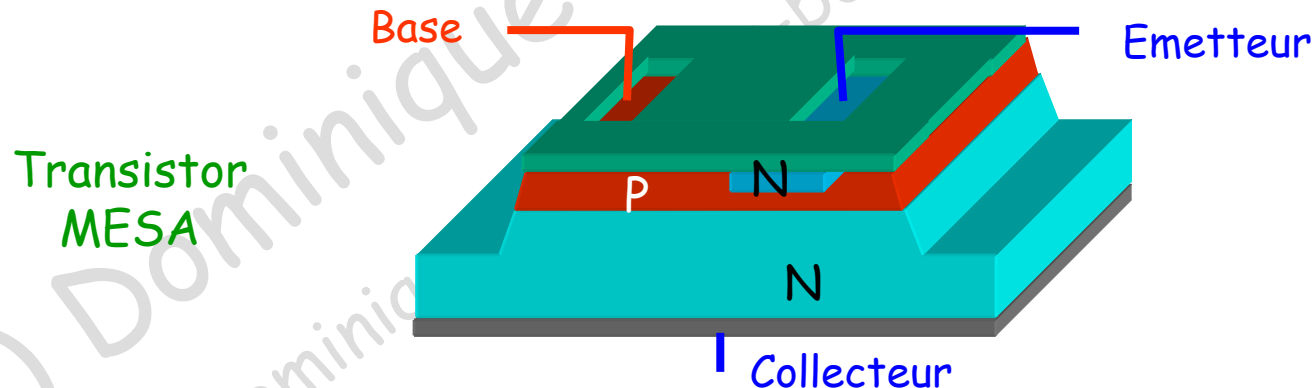


Amélioration des transistors

A l'origine, le transistor était réalisé par **empilement** de couches NPN



Puis un autre type de transistor a été mis au point



Inconvénient : Les **électrodes** sont de **part et d'autre** de la structure

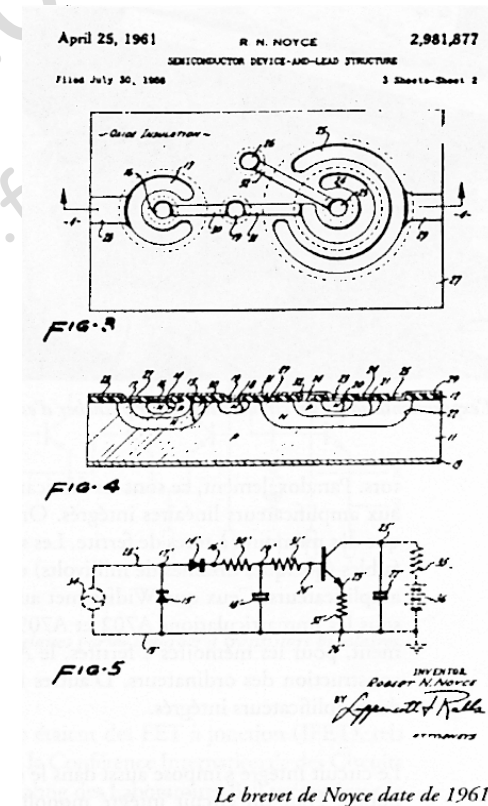
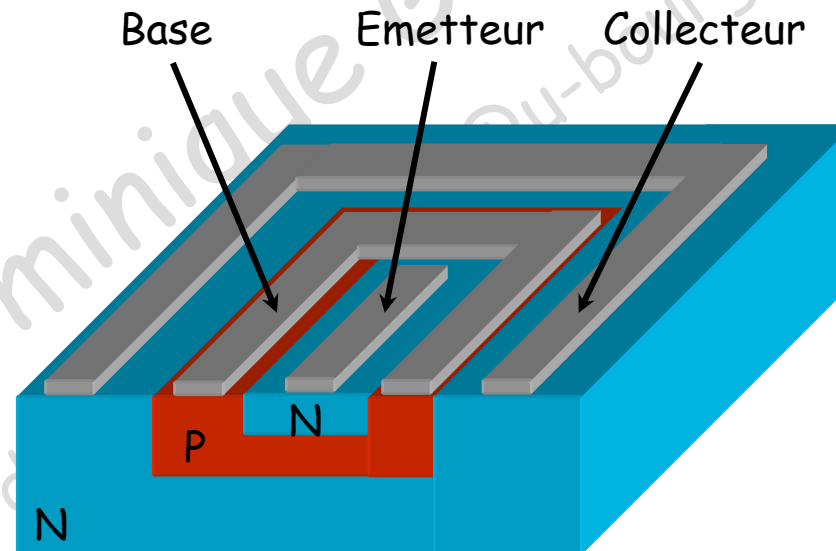
Amélioration des transistors (2)

1960 : Les laboratoires *Fairchild semiconductor* mettent au point le **procédé planar**.

Dans le transistor Planar, toutes les **connexions** sont en **surface** et du **même côté** : Facilité pour **intégrer des transistors sur un CI**



R. Noyce

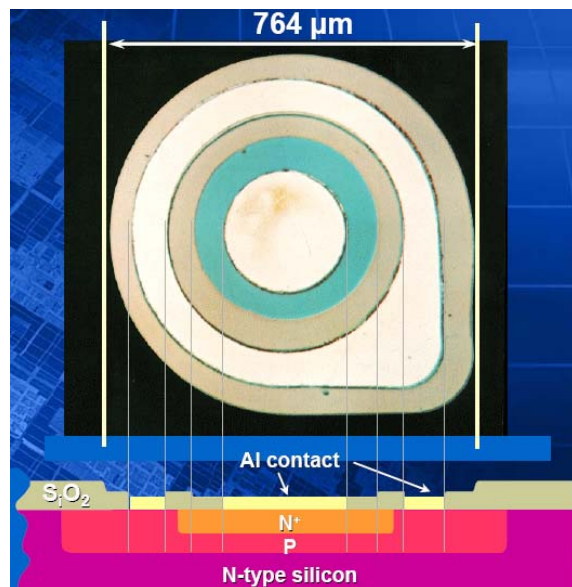


Le brevet de Noyce date de 1961.

Brevet du procédé planar
(1961)

Amélioration des transistors (3)

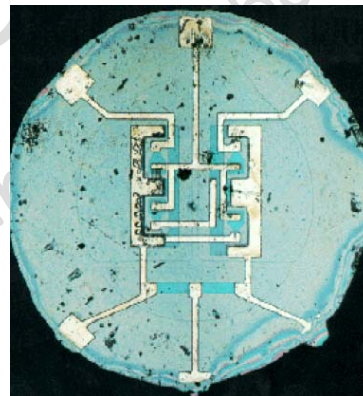
1961 : Début de la fabrication à **grande échelle** des CI en procédé planar



Premier transistor
en procédé planar

A l'origine, prix 10 fois supérieur aux composants discrets

Bénéficie des crédits du programme APOLLO



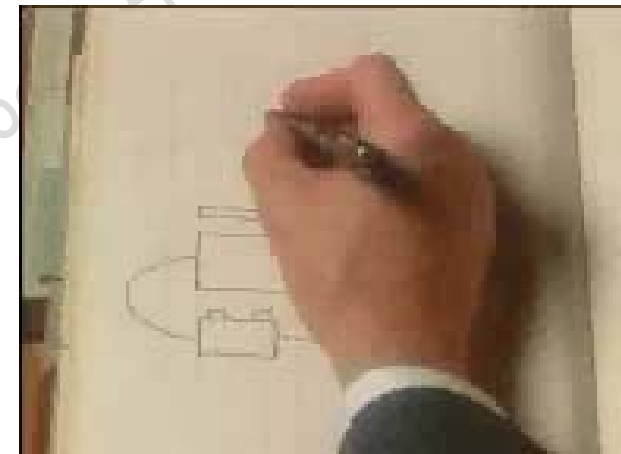
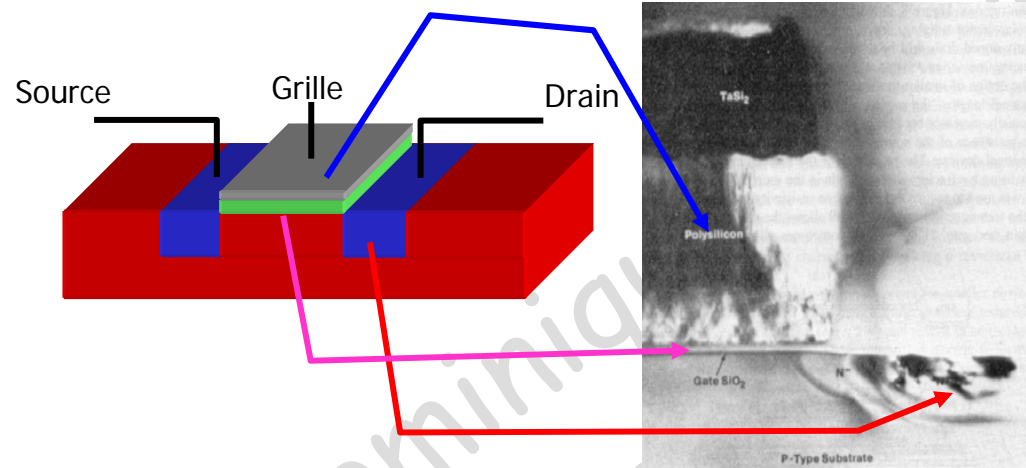
Premier CI moderne en
procédé planar



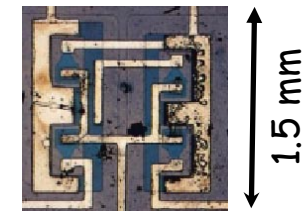
Circuit à base de
composants discrets

Invention du transistor MOS

1960 : Atalla et Kahng de Fairchild *semiconductor* mettent au point le **premier transistor MOS**



1963 : Hofstein et Heiman de RCA réalisent le **premier CI** avec 8 paires de **transistors NMOS**



Invention de la RAM

1968 : R. Noyce, G. Moore et A. Grove quittent *Fairchild semiconductor* et créent une société nommée **INTEL**



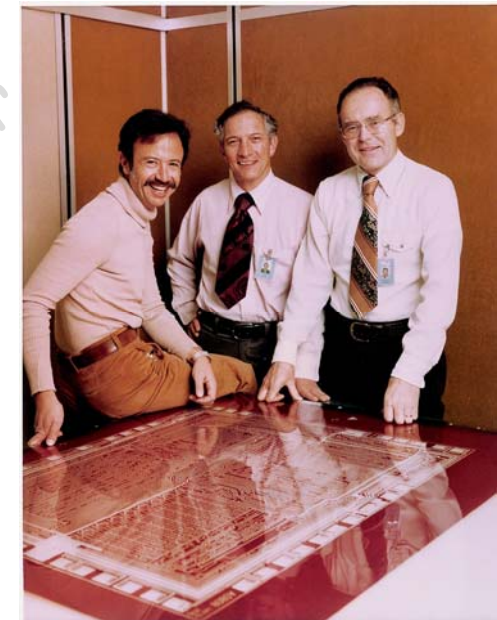
R. Noyce



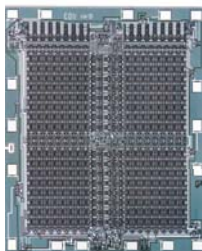
G. Moore



A. Grove



1970 : **INTEL** met au point la **première RAM** : la 1103



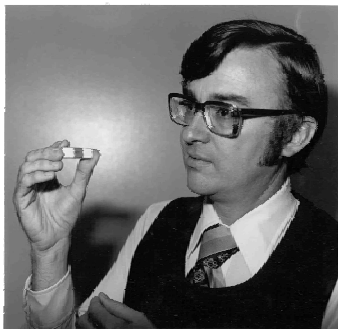
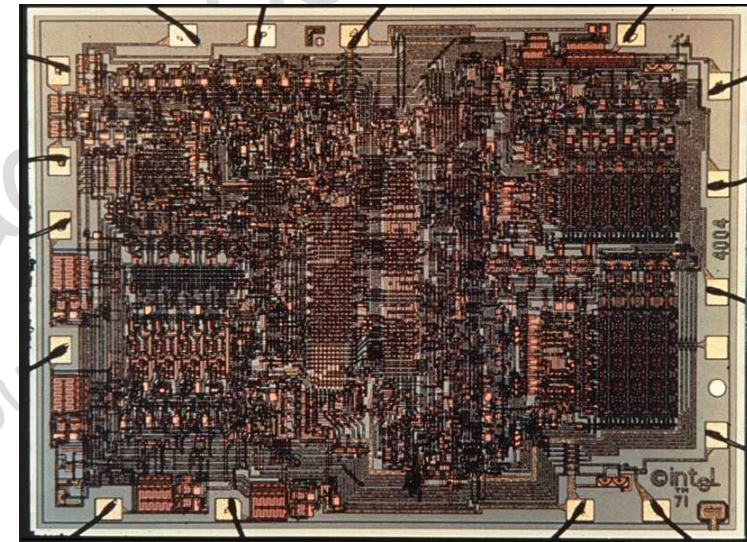
2.87 mm

1 kbits (65000 puces 1103 pour obtenir 8 Mo !!)
Premier Circuit LSI (Large Scale Integration) en technologie 8 μm - 1 bit en 2400 μm^2 - Die size de 10 mm² - Prix : 21 \$ US

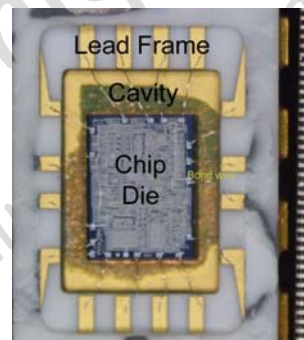
Invention du microprocesseur

1971 : Intel met au point le **premier microprocesseur** : Le 4004

Nombre de transistors : 2300
Technologie : $10\ \mu$
Fréquence de fonctionnement : 108 khz
Dimensions : 3 mm sur 4 mm
Puissance de calcul : 0.06 MIPS
Prix : 200 \$ US



T. Hoff



Boitier 4004

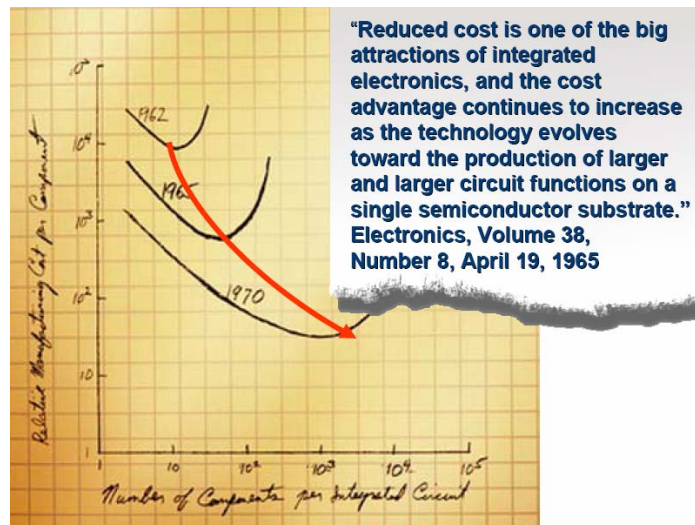
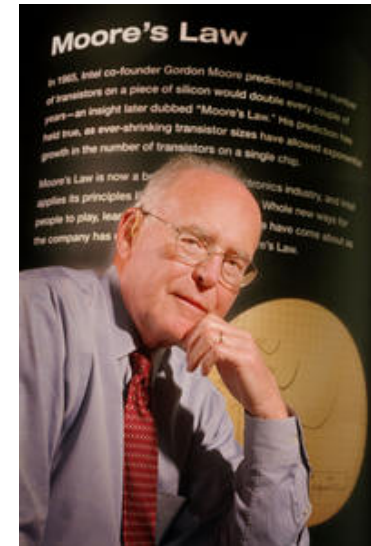


Calculatrice et carte électronique Busicom

Lois de Moore

1965 : Gordon Moore énonce que la complexité des CI **double tous les ans** depuis leur invention en 1959 (1^{ère} loi)

1975 : Moore affirme que le nombre de transistors des microprocesseurs **double tous les 2 ans** (2^{ème} loi)



La **loi de Moore** est devenue **référence** car elle se vérifie toujours.

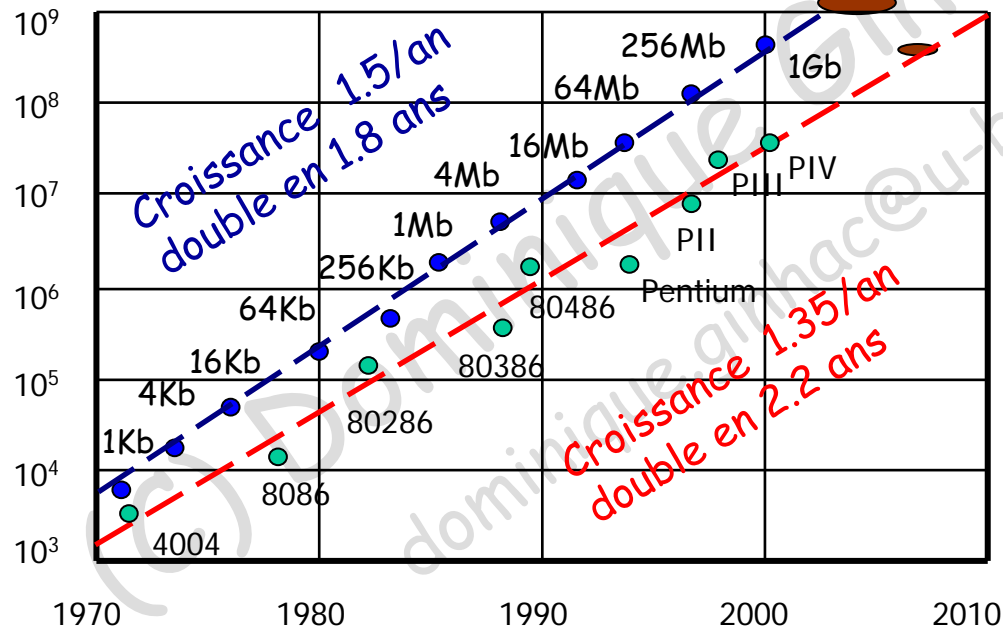
Entre 1971 et 2001, la densité des transistors a doublé tous les 1.96 années

Complexité des CI

Nombre de transistors doublé tous les 24 mois :-o)

2008 : 1 Giga
transistors en techno
45 nm sur 1 cm²

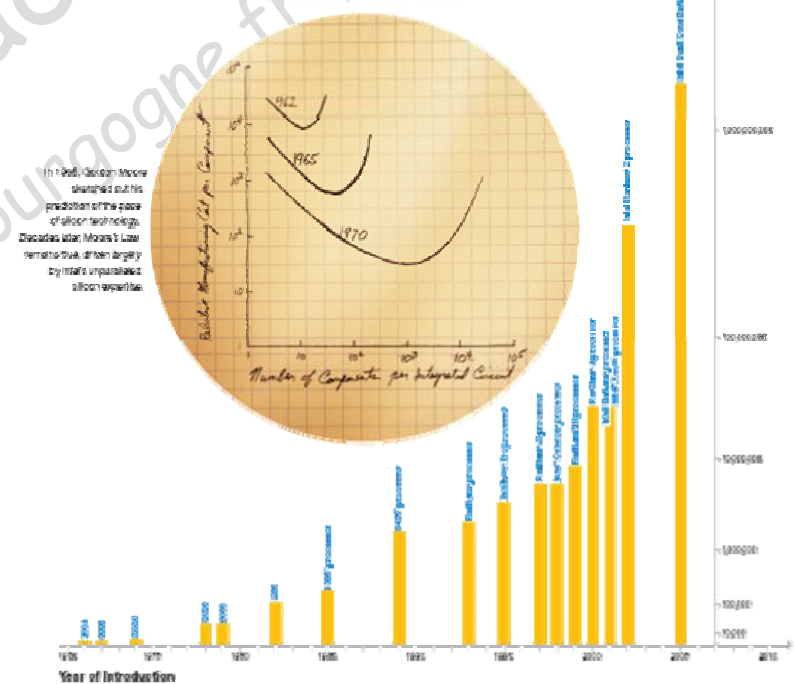
Transistors



Moore's Law

"The number of transistors incorporated in a chip will approximately double every 24 months."

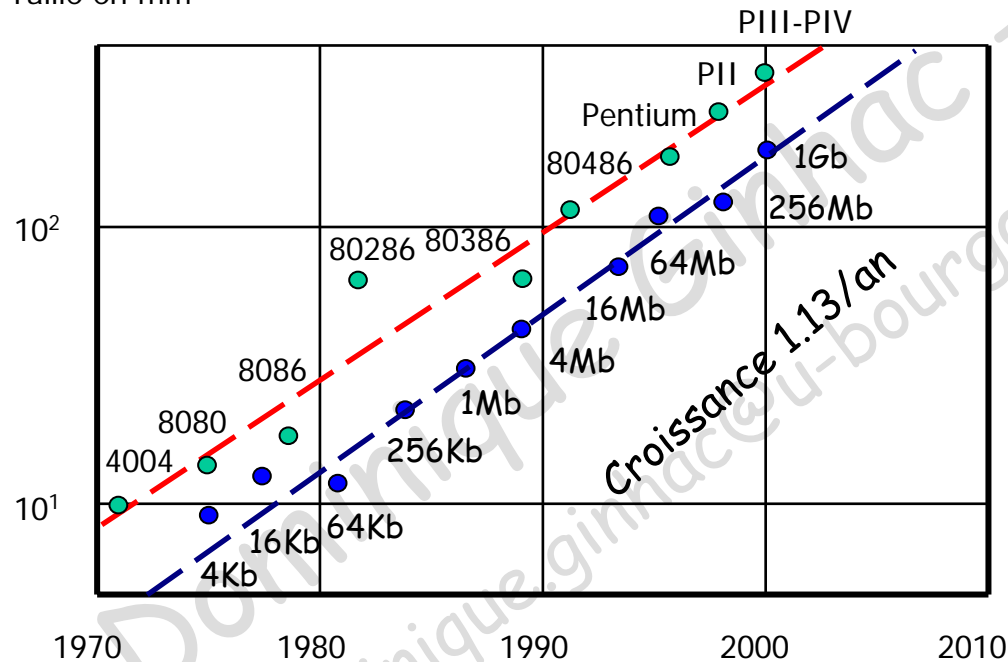
Geoffrey Moore, Intel Co-founder



Surface des CI

Taille des Circuits Intégrés doublée tous les 5.5 ans :-o)

Taille en mm²



Intel 4004

10 μ m - 12 mm² - 2300 tr

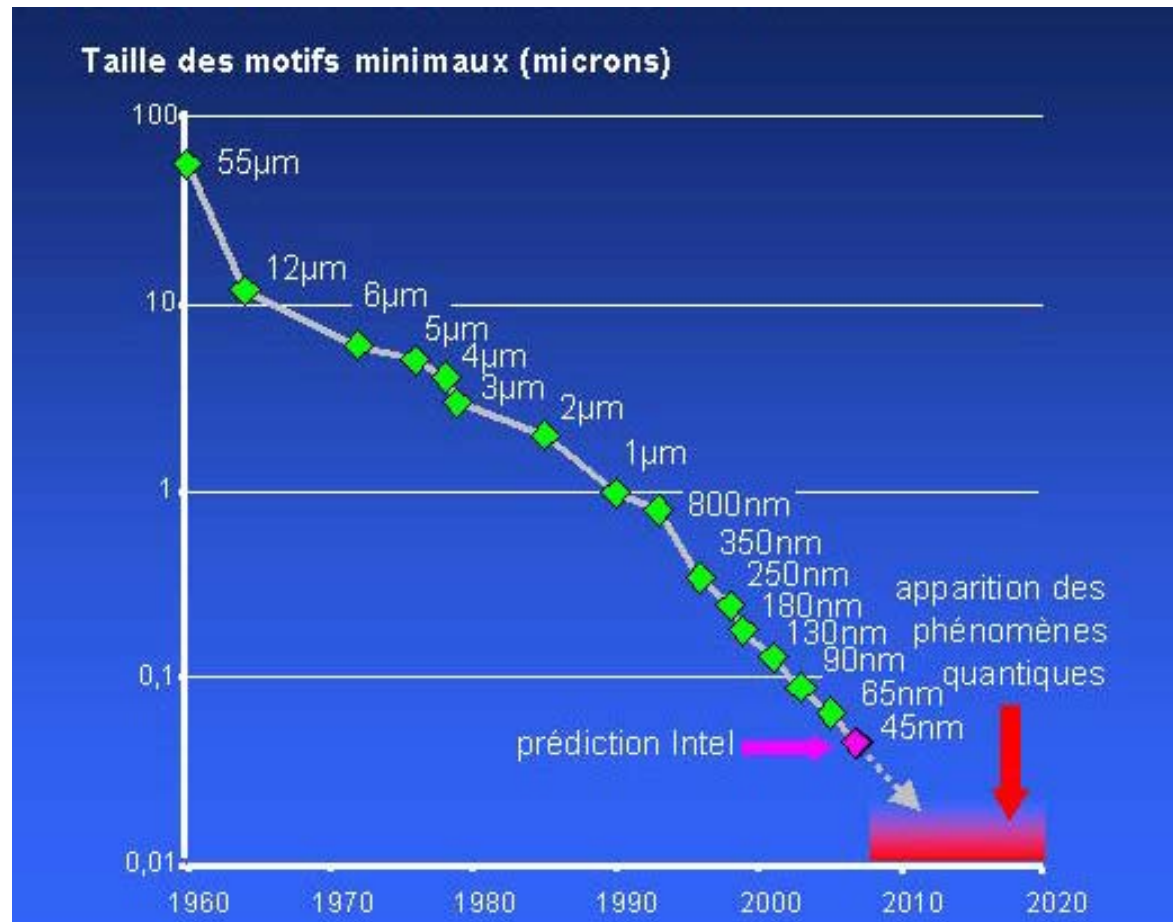


Intel Core 2 Duo

65 nm - 143 mm² - 291 M tr

Technologie

Longueur de grille divisée par 1.5 tous les 3 ans :-o)



AMS 0.8 µm - 1.2K gates/mm²



AMS 0.6 µm - 3K gates/mm²



AMS 0.35 µm - 17K gates/mm²



STM 0.25 µm - 35K gates/mm²



STM 0.18 µm - 75K gates/mm²



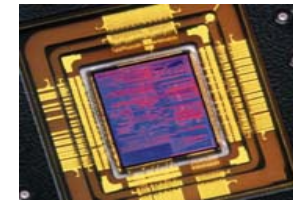
STM 65 nm - 800K gates/mm²

Aspects financiers

Le **respect** de la Loi de Moore implique:

1 - Des coûts de **design** très **élevés** :

Complexité des circuits à mettre en œuvre



2 - Des **Time to Market** très faibles et **des durée de vie** des produits très courtes :

Méthodologie de conception et gestion de projet cruciales

3 - Des coûts de **fabrication au mm²** très **élevés** pour des prototypes (*source CMP 2006*)

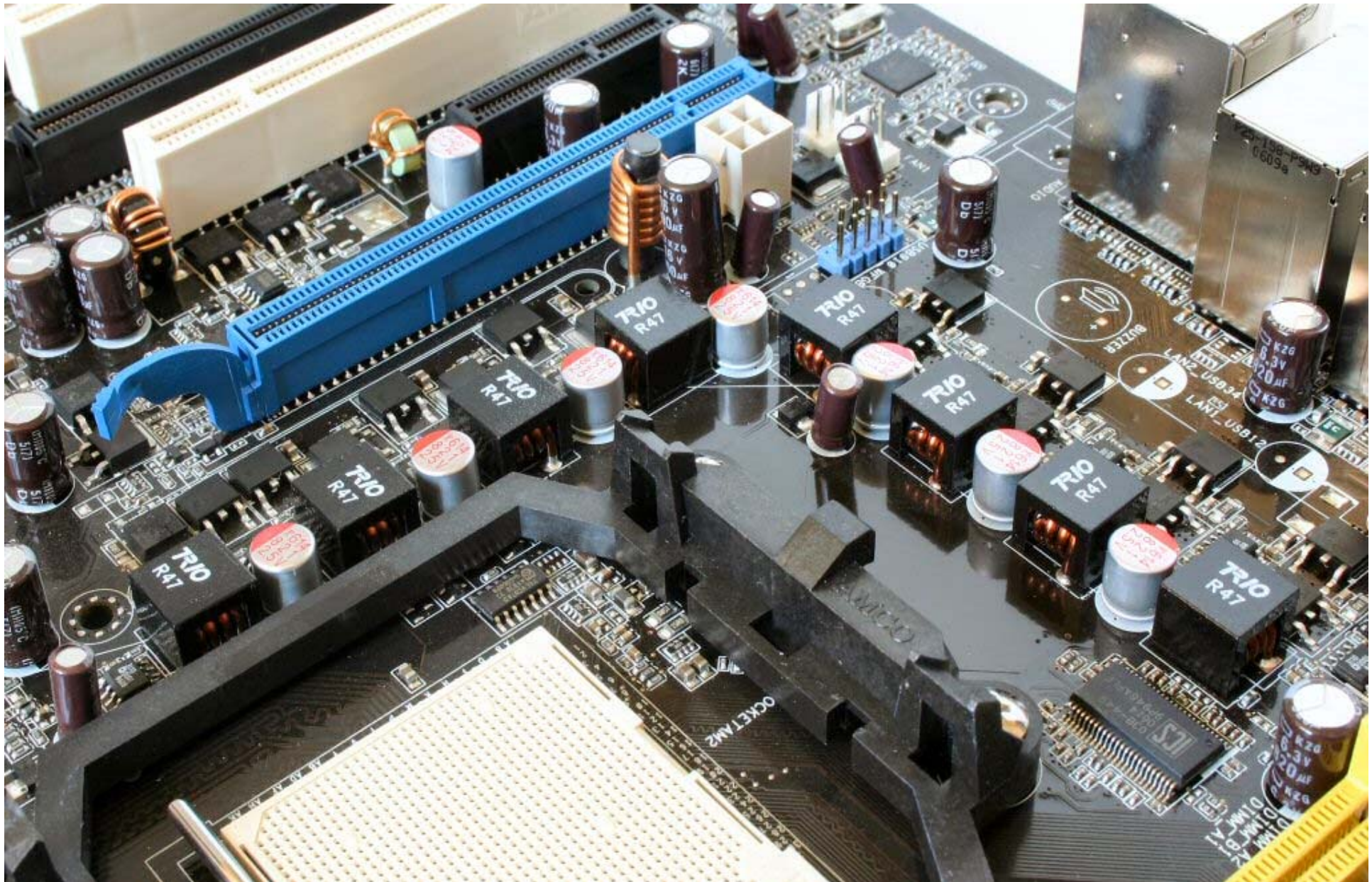
AMS : 0.6 μm : 390 €/mm ²	0.35 μm : 650 €/mm ²
ST : 0.18 μm : 990 €/mm ²	0.13 μm : 2990 €/mm ²
90nm : 5000 €/mm ²	65nm : 9500 € / mm ²



4 - Des **usines** de production de plus en plus **chères** :
2 G\$ en 2004, 10 G\$ en 2007, 18 G\$ en 2010



Introduction : Aujourd'hui puis demain...

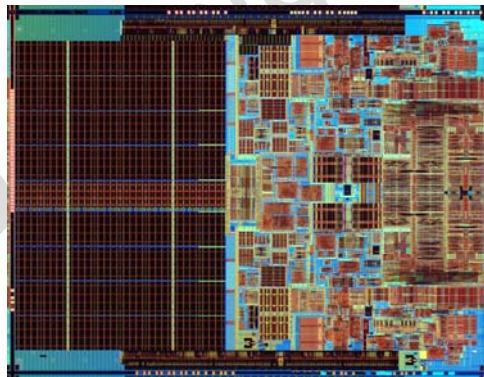


Ex. de Produits fabriqués en 2006

Microprocesseurs et Puces graphiques grand public :

Nvidia **G80** (nov 2006)

- ✓ 4 ans de travail et 400 M \$ de R & D
- ✓ Techno **90 nm** de **TSMC**
- ✓ **681 M** transistors (2 fois plus qu'un G70)
- ✓ **480 mm²** die size (22 x 22 mm)
- ✓ 128 unités de traitement



Intel Core 2 Extreme Edition

Intel **Core 2 Duo** (juillet 2006)

- ✓ Techno **65 nm** Intel
- ✓ **296 M** transistors
- ✓ **143 mm²** die size
- ✓ **5 millions** d'unités vendues en 3 mois

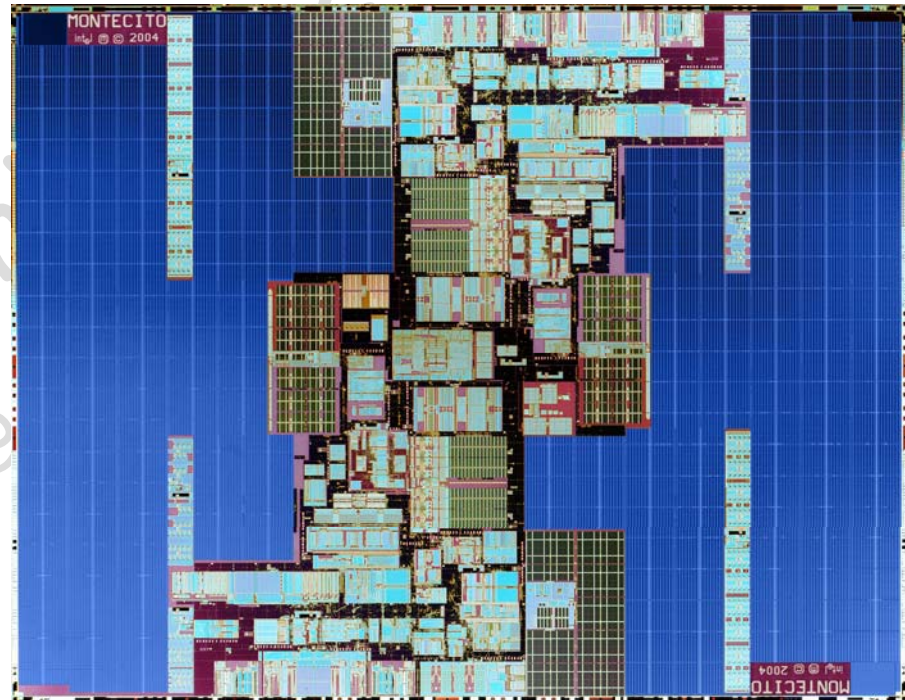
Ex. de Produits fabriqués en 2006 (2)

Microprocesseurs professionnels :

Produit Professionnel:

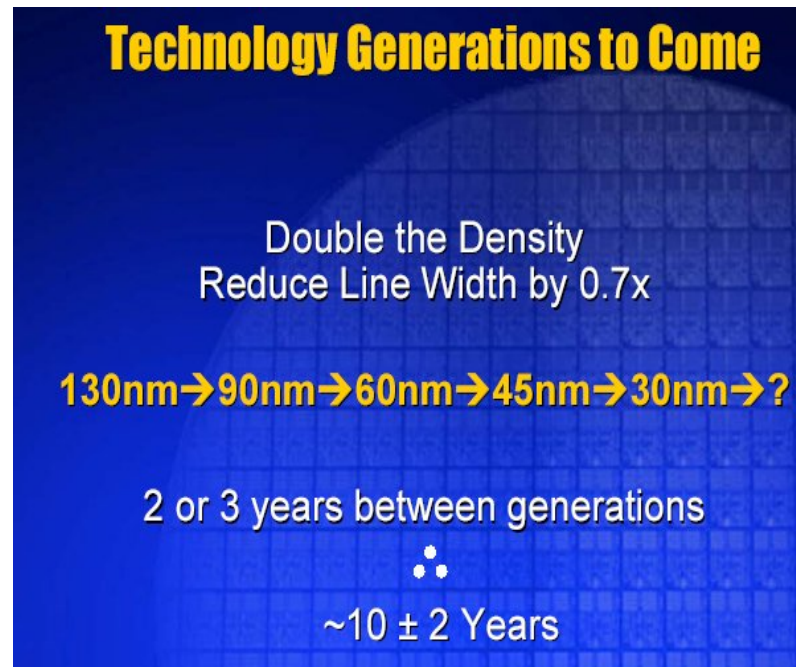
Intel Dual Core Itanium (2006)

- ✓ Techno 90 nm
- ✓ 1720 M transistors
- ✓ 580 mm² de surface
- ✓ Double coeur HT
- ✓ 26 Mo de mémoire cache



Demain...

2000 : Les analystes prévoient que la loi de Moore est encore valable pour **10 à 15 ans**



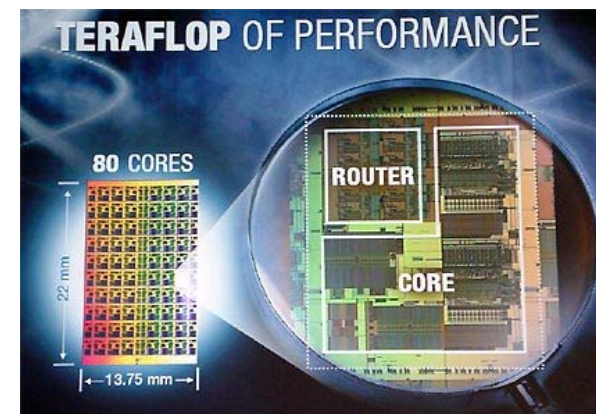
D'après G. Moore,

« No exponential is forever... But We can delay « forever » (ISSCC03)

La fréquence des processeurs actuels atteint des limites (~ 5 Ghz) d'où le développement de **processeurs Multi Cœurs** pour augmenter la puissance

Objectif : **80 cœurs** en 2010 pour une puissance de **1 teraflop**

(PIV 3.0 Gz, 0.006 Teraflop = 6 Gigaflops)

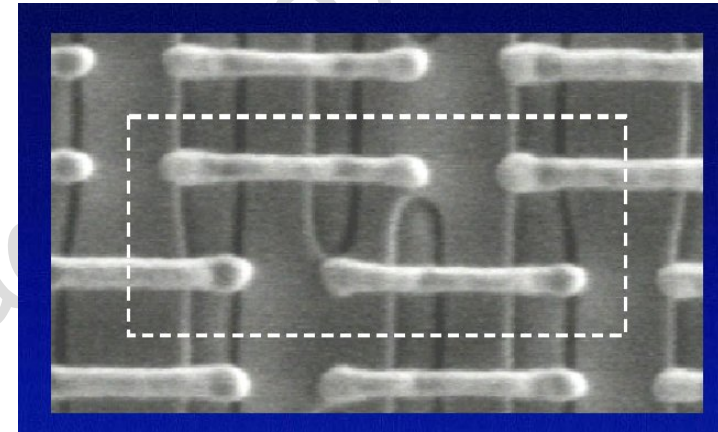


Demain... (2)

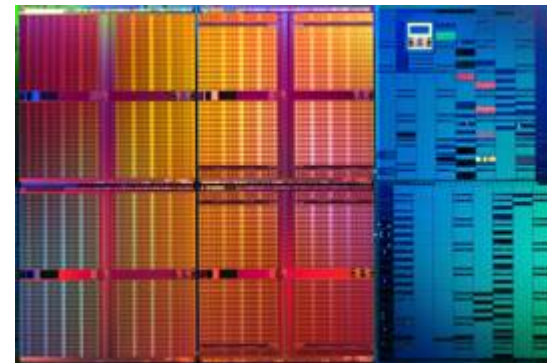
Prototypes de Mémoires SRAM :

Mémoires SRAM Intel (2006)

- ✓ Techno 45 nm
- ✓ 1 G transistors
- ✓ 18 M tr / mm²
- ✓ 1 bit occupe 0.346 μm²
- ✓ Techno 2 fois plus compacte que la techno 65 nm



Cellule 1 bit de SRAM



153 Mbits = 1 G transistors

Industrialisation prévue à Fab32 (Arizona) et Fab28 (Israel) en 2007

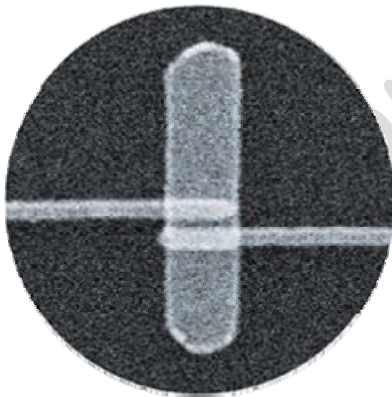
Un futur plus lointain (2)

Des **perspectives hallucinantes** à moyen terme :

Le CEA/LETI a déjà réalisé un transistor de **20 nm**

Des perspectives fantastiques :

- Microprocesseurs à **20 Ghz**
- Puissance de calcul de **100 TeraFlops**
- Mémoires de **10 Terabits**



Une industrialisation possible
vers **2015** !!!!!

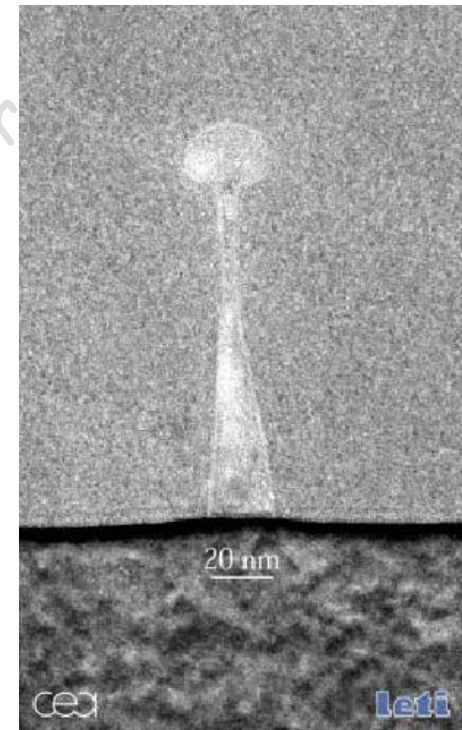
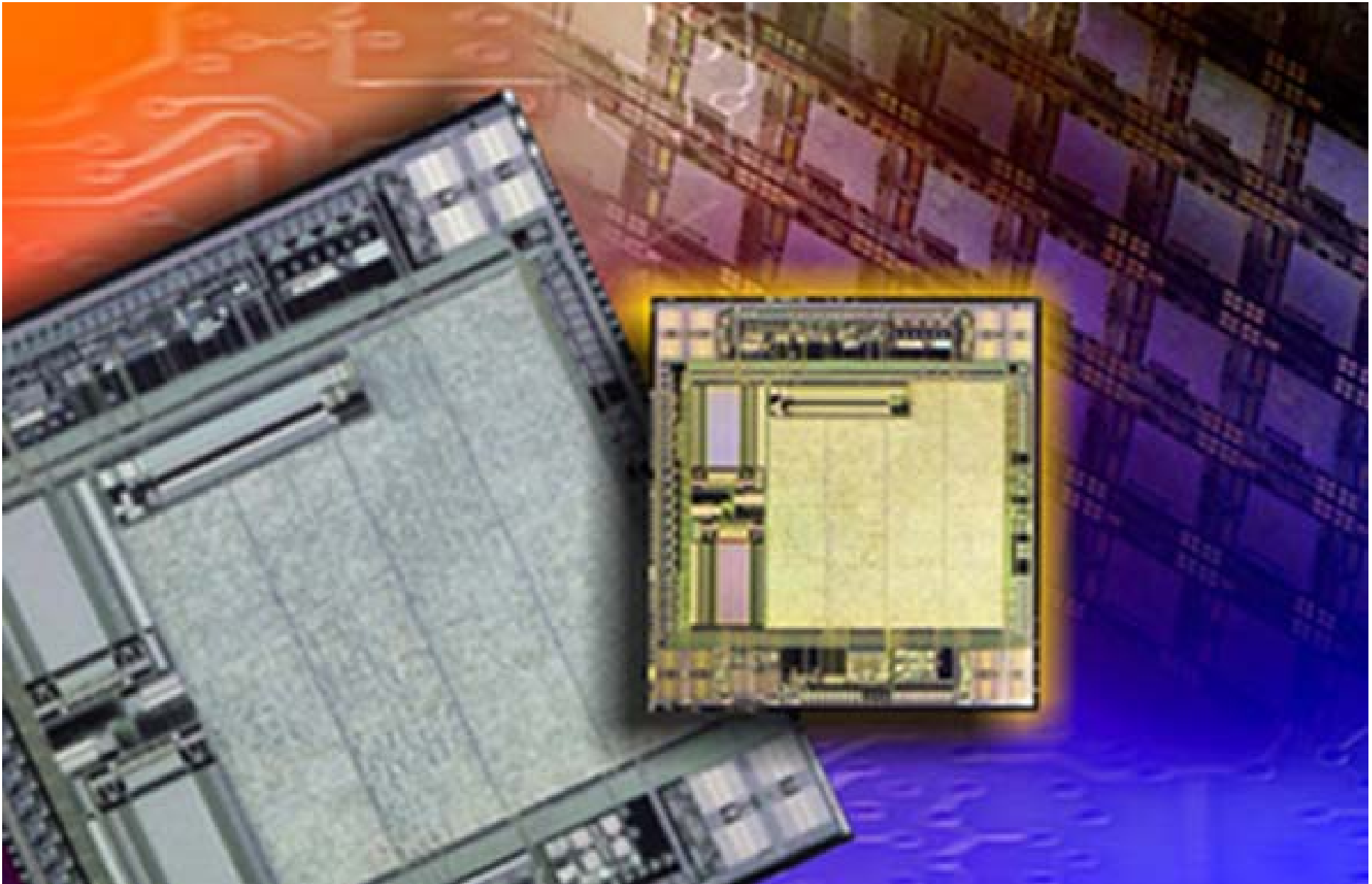


Photo microscope électronique
grossie 500000 fois

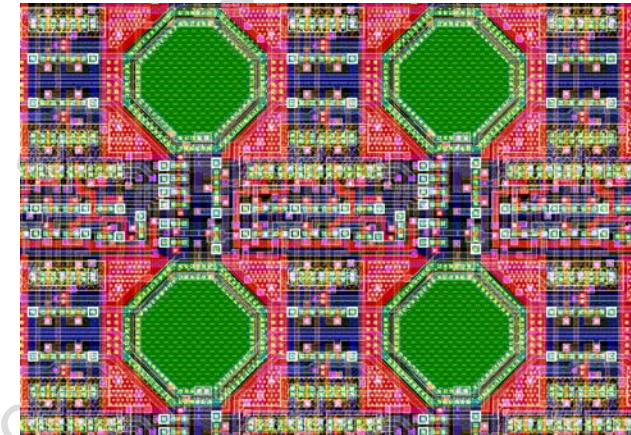
Infos sur le cours de CMOS numérique



Objectifs

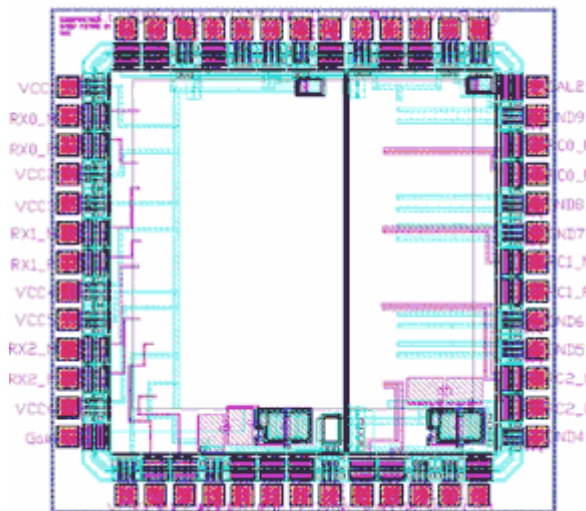
Objectifs principaux du cours :

- ✓ Découvrir la technologie CMOS
- ✓ Comprendre et Apprendre le design de circuits numériques élémentaires et complexes



Objectifs principaux des TD et TP :

- ✓ Mettre en pratique les principes vus en cours
- ✓ Apprendre le design de circuits élémentaires de A à Z
- ✓ Pratique intensive des outils de CAO Mentor Graphics et du design kit AMS CMOS 0.35 μm



Planning

Cours

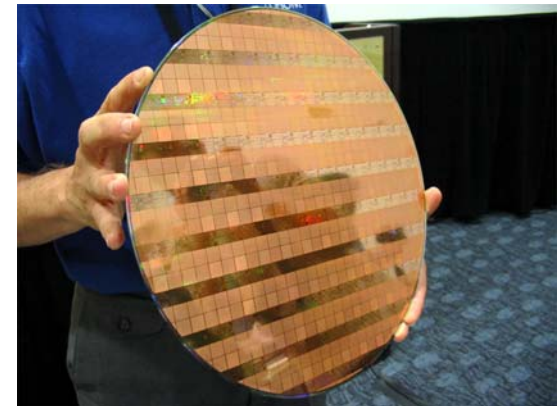
Combien : 10 créneaux de 2 heures soit 20 h assurés par D. Ginhac

Travaux Dirigés en Salle info (D428 Mirande)

Combien : 7 créneaux de 2 heures soit 14 h assurés par Jérôme Dubois

Travaux Pratiques en Salle info

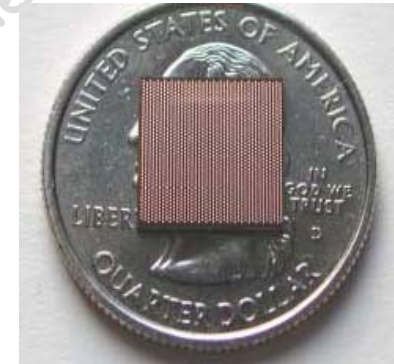
Combien : 4 créneaux de 4 heures soit 16 h assurés par Jérôme Dubois



Bibliographie

Livres essentiels :

- ✓ J. Millman and A. Grabel, **Micro Electronique**, Mc Graw - Hill, 1988
- ✓ R.J. Baker and H.W. Li and D.E Boyce, **CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation**, IEEE Press, 1998
- ✓ N. Weste and K. Eshragian, **Principles of Cmos VLSI Design: A Systems Perspective**. Addison-Wesley Publishing Co., 1982.
- ✓ S. Kang and Y. Leblebici, **CMOS Digital Integrated Circuits**, Mc Graw - Hill, 1999



Bibliographie web

Sites et cours français :

- ✓ Physique des composants semi-conducteurs :

<http://www-phase.c-strasbourg.fr/~mathiot>

- ✓ De l'atome au circuit intégré :

<http://www.eudil.fr/eudil/bbbsc/sc00a.htm>

- ✓ Microélectronique :

<http://tima-cmp.imag.fr/~guyot/Cours/>

- ✓ Cours d'Electronique Numérique :

<http://www-ensps.u-strasbg.fr/coursen/>



Bibliographie web

Sites et cours anglo-saxons :

- ✓ Introduction to VLSI Systems :

<http://www.stanford.edu/class/ee271/>

- ✓ Introduction to VLSI System :

<http://www.ece.mcgill.ca/~info548/>

- ✓ Integrated Systems Design course VLSI Design Project :

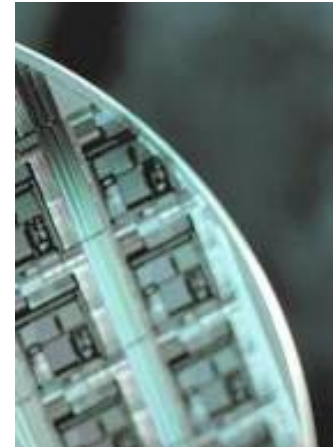
<http://lsiwww.epfl.ch/LSI2001/teaching/>

- ✓ VLSI Design :

<http://www.microlab.ch/courses/vlsi/e.html>

- ✓ Digital Integrated Circuits and vlsi fundamental :

<http://www.seas.upenn.edu/~ese570/>



Documents disponibles

Site associé au cours :

- ✓ Mise en place d'un site web dédié à l'enseignement du CMOS :
`http:// cerbere.u-bourgogne.fr/enseignement/`
- ✓ Disponibilité des diapos des CM au fur et à mesure des cours,
- ✓ Disponibilité d'autres documents éventuels.



A suivre...

(C) Dominique Ginhac - 2007
dominique.ginhac@u-bourgogne.fr