

Module : Technologie et fabrication des circuits intégrés



Module : Technologie et fabrication des circuits intégrés



Chapitre 1: Introduction à la technologie des semi-conducteurs

Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Technologies SSI, MSI, LSI, VLSI, ULSI

Salle blanche

Effet de la contamination

Les plus importants fabricants de CI dans le monde

**Rappels sur les matériaux et les semi-conducteurs
(Métal, Isolant, SC, Silicium intrinsèque, Si dope type n, Si dope type p)**

Description schématique des étapes technologiques (cycle complet de fabrication d'un circuit intègre).

I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

1- Le premier transistor

2- Le premier circuit intégré

3- Loi de Moore

I-1 Bref rappel de l'histoire des circuits intégrés

1- Le premier transistor

Introduction La découverte du transistor bipolaire a permis de remplacer efficacement les **tubes électroniques** dans les années 1950 et ainsi de perfectionner la miniaturisation et la fiabilisation des montages électroniques.



La première machine mathématique (machine PC) qui occupait une salle entière, était équipée de 17 468 tubes électroniques (un tube était nécessaire pour représenter chaque bit)

1- Le premier transistor

1-1 Définition: Le transistor bipolaire est un composant électronique utilisé comme : interrupteur commandé, amplificateur, stabilisateur de tension, modulateur de signal...

1-1 Histoire du transistor :

❖ 1947 : John BARDEEN et Walter BRATTAIN inventent le transistor à contact (transistor) au laboratoire de physique de la société BELL (USA). Cette découverte est annoncée en juillet 1948. Ces chercheurs ont reçu pour cette invention le prix Nobel de physique en 1956.



Une réplique du premier transistor

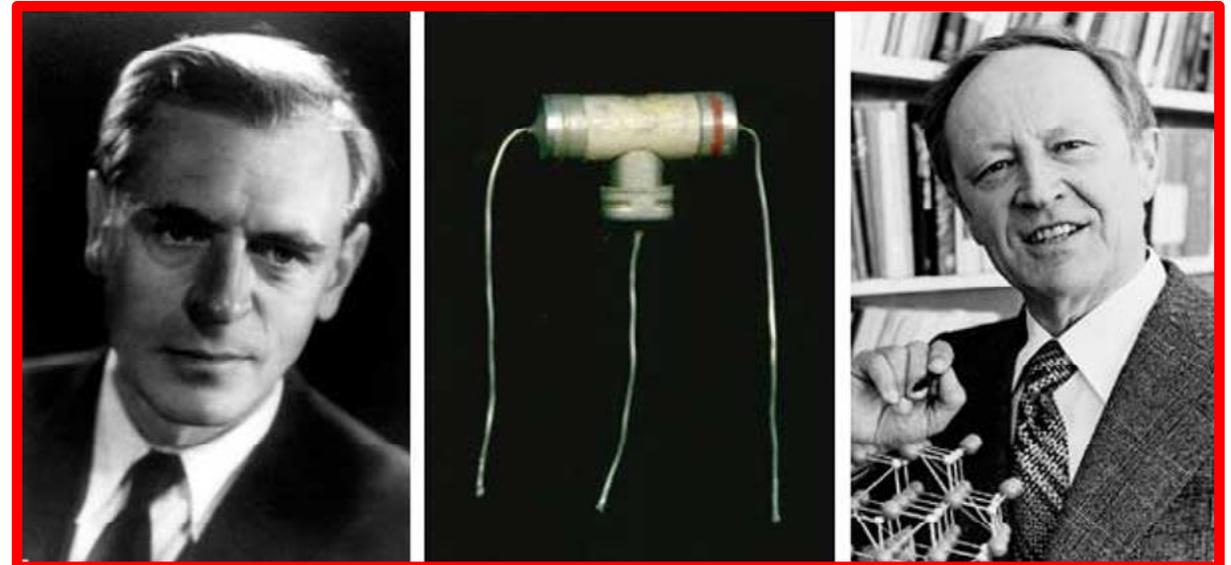
I-1 Bref rappel de l'histoire des circuits intégrés

1- Le premier transistor



1- Le premier transistor

- ❖ 1948 : Herbert MATARE et Heinrich WELKER inventent (indépendamment de BELL) aussi le transistor à contact en juin 1948 (en France). Ce transistor sera appelé le **Transistron** pour le distinguer de celui de BELL.



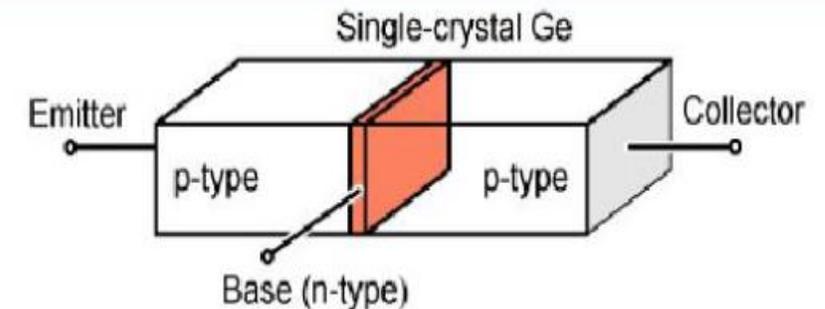
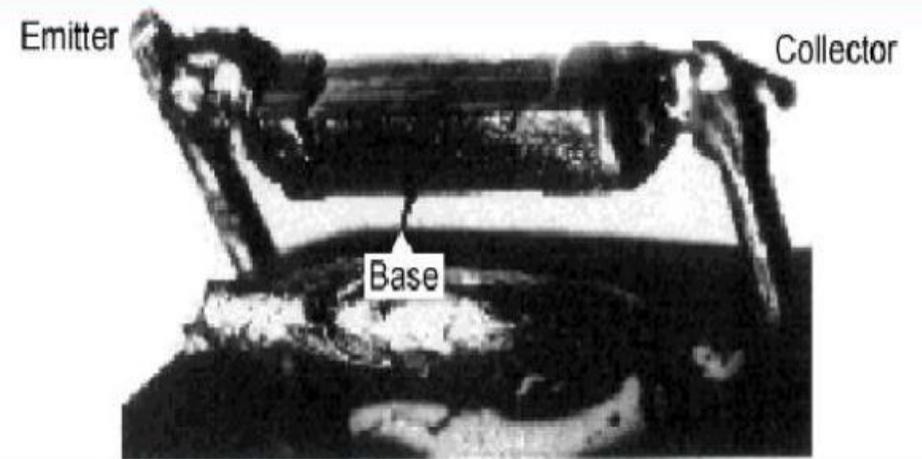
I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

1- Le premier transistor

1948 : en janvier William SHOCKLEY invente le transistor à jonction (bipolaire) mais la technique de fabrication ne sera maîtrisée qu'en 1951

The First Junction Transistor

First transistor with diffused pn junctions by William Shockley
Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1949)



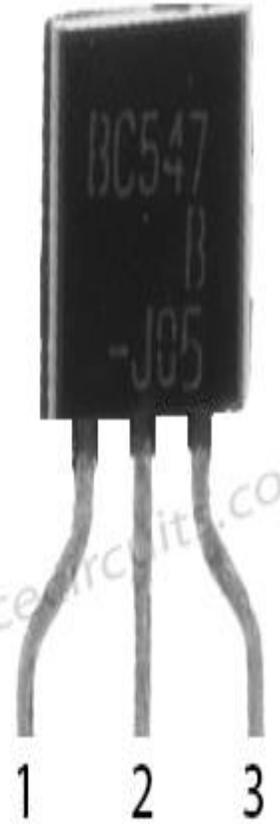
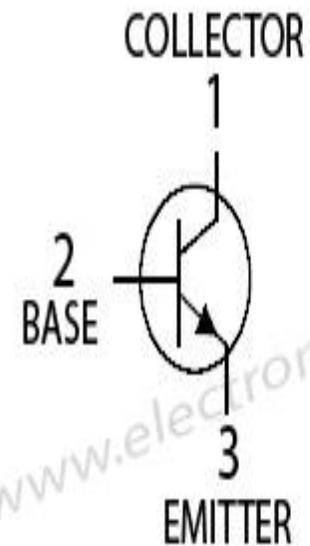
1- Le premier transistor

Conclusion

Le transistor est considéré comme un énorme progrès face au tube électronique : beaucoup plus petit, plus léger et plus robuste, fonctionnant avec des tensions faibles, autorisant une alimentation par piles, et il fonctionne presque instantanément une fois mis sous tension,

contrairement aux tubes électroniques qui demandaient une dizaine de secondes de chauffage, génèrent une consommation importante et nécessitent une source de tension élevée (plusieurs centaines de volts).

BC547 NPN
TRANSISTOR



I-1 Bref rappel de l'histoire des circuits intégrés

1- Le premier transistor

les applications du transistor juste après l'invention

Les transistors remplacent les contacteurs électromécaniques des centraux téléphoniques et les tubes dans les calculateurs.



1953 – calculateur
(93 transistors + 550 diodes)

1953: première application portative du transistor entant que sonotone..

Sonotone
1010



1954 :
première
radio à
Transistors



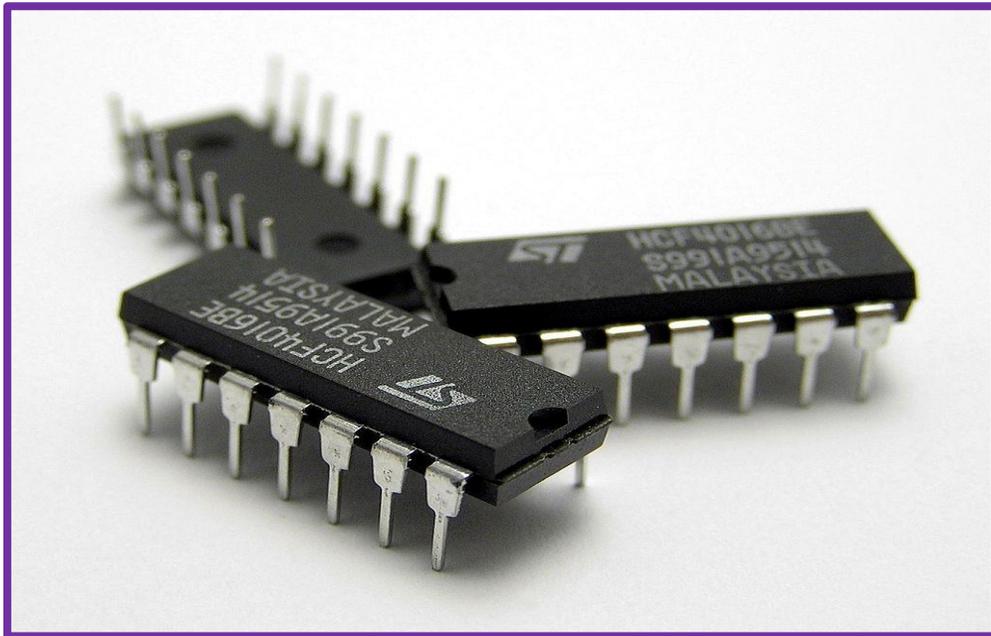
Régency TR-1
(4 transistors)



I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

2- Le premier circuit intégré

Introduction: Le circuit intégré (CI), aussi appelé puce électronique, est un composant électronique reproduisant une, ou plusieurs, fonction(s) électronique(s) plus ou moins complexe(s), intégrant souvent plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit (sur une petite plaque), rendant le circuit facile à mettre en œuvre.

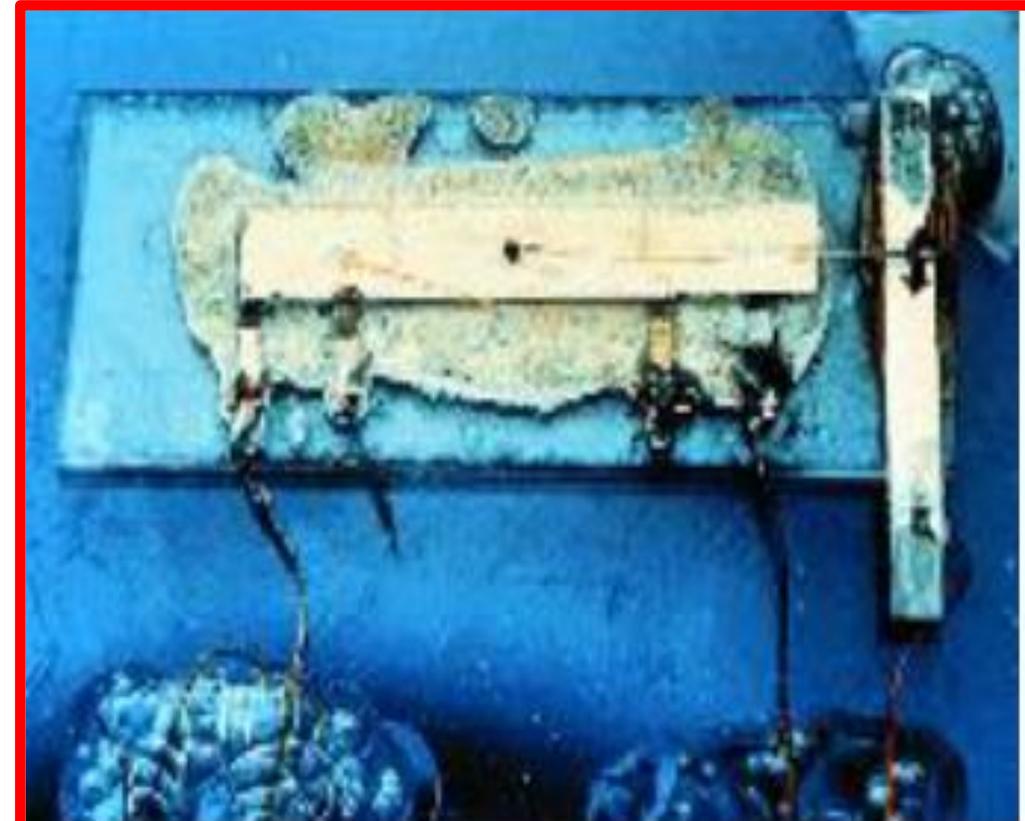


2- Le premier circuit intégré

Histoire des premiers circuits intégrés :

❖ Le premier circuit intégré, constitué de deux transistors bipolaires, a été développé au sein de la société Fairchild Semiconductor en 1958 par l'Américain Robert Noyce

❖ La même année et de manière indépendante, un autre Américain, Jack Kilby, de Texas Instruments, réussit à intégrer un transistor, trois résistances et une capacité sur une plaque de semi-conducteur. Kilby a tout simplement relié entre eux différents transistors en les câblant à la main.



1958 – premier circuit intégré

I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

2 - Le premier circuit intégré

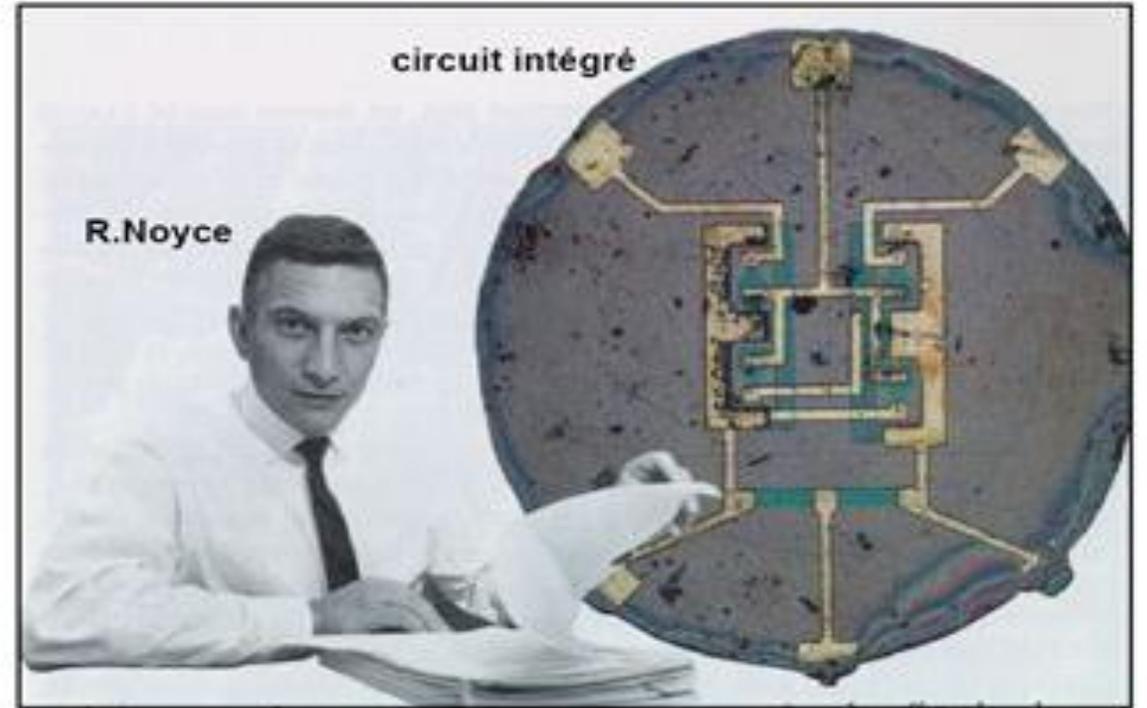
Histoire des premiers circuits intégrés :

❖ 1960 : production de la première mémoire Flip Flop par la société Fairchild Semiconductor.

1960 : **Premier circuit intégré** : utilisation de la technologie Planar (dopage avec des gaz pour assembler plusieurs transistors sur une puce) R. Noyce et Jack Kilby.

❖ 1963 Le premier circuit intégré CMOS sort simultanément des laboratoires R.C.A. (Radio Corporation of America)

❖ 1968 production en masse des circuit intégrés



I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

3 - Loi de Moore

Cofondateur de la société Intel, Gordon Moore avait affirmé dès 1965 que le nombre de transistors par circuit de même taille allait doubler, à prix constants, tous les ans (à cette époque, le circuit intégré le plus complexe comportait 64 composants).

Il rectifia par la suite en portant à dix-huit mois le rythme de doublement.

Il en déduisit que la puissance des ordinateurs allait croître de manière exponentielle, et ce pour des années. Il avait raison. Sa loi, fondée sur un constat empirique, a été vérifiée jusqu'à aujourd'hui. Il a cependant déclaré en 1997 que cette croissance des performances des puces se heurterait aux environs de 2017 à une limite physique : celle de la taille des atomes.

3 - Loi de Moore

En 1965, Gordon Moore note que le nombre de transistors sur une puce double à tous les 18 à 24 mois.

Il prédit que la technologie des semi-conducteurs doublera en efficacité à tous les 18 mois.

I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

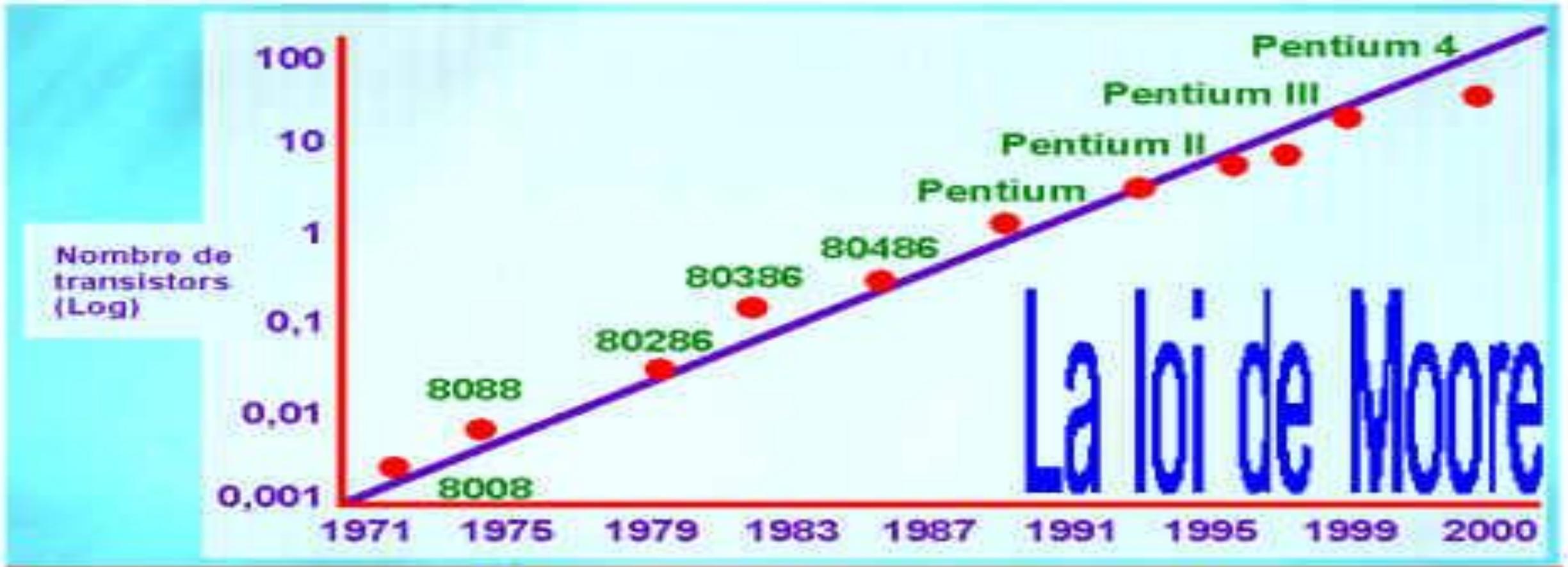
3 - Loi de Moore

La loi de Moore veut que la technologie double de puissance pour le même prix tous les 12 à 18 mois. Ce qui permet d'entrevoir que, sans répit, la technologie devient plus rapide, plus petite et moins chère, et par conséquent à la portée de tous.

Cette loi, exprimée pour la première fois en 1965, porte le nom de Gordon Moore, un des fondateurs d'Intel Corp., géant mondial des microprocesseurs. Confirmant le constat de Moore, le MIPS (million d'instructions par seconde) coûtait aux alentours de 100 dollars il y a encore 15 ans et coûterait moins de 1 dollar aujourd'hui. Ce prix rend particulièrement accessible une technologie hautement sophistiquée lui conférant une ubiquité inédite; le microprocesseur est désormais omniprésent dans les réfrigérateurs, les machines à laver, les réveille-matin, les bracelets montres, les voitures, les téléviseurs, les lecteurs vidéo et, bien sûr, les micro-ordinateurs. Sans en être pleinement conscients, nous sommes littéralement assiégés par les microprocesseurs. A telle enseigne qu'il est aujourd'hui parfaitement envisageable que les processeurs soient un jour prochain incrustés dans nos corps, nos cerveaux et nos autres organes vitaux.

I-1 Bref rappel de l'historique des circuits intégrés

3 - Loi de Moore



Tout ce qui est en rapport avec la technologie digitale est soumis à la loi de Moore: la technologie digitale permet de doubler la puissance pour le même prix et ce, tous les 12 à 18 mois. Ce qui permet d'entrevoir que sans répit, la technologie devient plus rapide, plus petite et moins chère, donc accessible à tous. C'est en 1965 que Gordon Moore, co-fondateur d'Intel Corp., avait prévu que la densité des microprocesseurs, mesurée en nombre de transistors, doublerait tous les 18 mois. Cette prédiction s'est toujours révélée remarquablement juste. Un corollaire de la loi de Moore veut qu'un ordinateur coûte 50% moitié moins cher tous les 18 mois.

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Introduction: On considère aujourd'hui que l'arrivée du circuit intégré dans le domaine d'électronique à marquer une évolution au moins aussi importante que celle marquée par la naissance du transistor.

Il est alors devenu possible d'associer, dans un seul bloc de silicium de l'ordre de millimètre de côté, des composants actifs (diodes, transistors) et passifs (résistances, capacités).

Il existe deux larges classifications des circuits intégrés, **les circuits hybrides** et **les circuits monolithiques**. Les circuits monolithiques sont devenus tellement communs que, par l'expression circuit intégré, on entend plutôt un circuit monolithique.

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Les circuits intégrés Monolithique veut dire d'une seule pierre, ce qui veut dire que tout le circuit est contenu dans un seul morceau monocristallin de silicium. Les éléments (transistors, résistors, condensateurs et diodes) sont isolés les uns des autres par des jonctions p-n en opposition, obtenues par diffusion d'impuretés dans un morceau de silicium monocristallin.

Les circuits intégrés sont souvent classés suivant le nombre d'éléments ou le nombre de fonctions intégrés sur un seul morceau, ils sont nommés par des abréviations d'expressions américaines : **SSI** (small scale integration), **MSI** (medium scale integration), **LSI** (large scale integration), **VLSI** (very large scale integration) et **ULSI** (ultra large scale integration).

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Les limites qui séparent ces catégories sont basées sur le nombre de fonctions ou d'éléments dans un seul circuit.

Les circuits **SSI** (small scale integration: **Intégration à petite échelle**): comportent moins de 12 fonctions ou moins de 50 éléments et de 1 à 10 transistors, date de sortie est 1964.

Les circuits **MSI** (medium scale integration: **Intégration à moyenne échelle**): comportent de 12 à 100 fonctions ou de 50 à 500 éléments et de 10 à 500 transistors, date de sortie est 1968.

Les circuits **LSI** (large scale integration: **Intégration à grande échelle**): comportent de 100 à 1000 fonctions ou de 500 à 10 000 éléments et de 500 à 20 000 transistors, date de sortie est 1971.

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Les circuits **VLSI** (very large scale integration: **Intégration à très grande échelle**): comportent de 1000 à 10000 fonctions ou de 10 000 à 99 999 éléments et de 20 000 à 1 000 000 transistors, date de sortie est 1980.

Les circuits **ULSI** (ultra large scale integration: **Intégration à très très grande échelle**): comportent plus de 100000 fonctions et plus de 1 000 000 transistors, date de sortie est 1984.

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Des dates importante

- 1961 Début de la production en série des CI
- 1964 Intégration à petite échelle (SSI de 1 à 10 transistors)
- 1968 Intégration à moyenne échelle (MSI de 10 à 500 transistors)
- 1971 Intégration à grande échelle (LSI de 500 à 20 000 transistors)
- 1980 Intégration à très grande échelle (VLSI plus de 20 000 à 1000 000 transistors).
- 1984 Intégration à très grande échelle (ULSI plus de 1000000 transistors)

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Classification des circuits intégrés

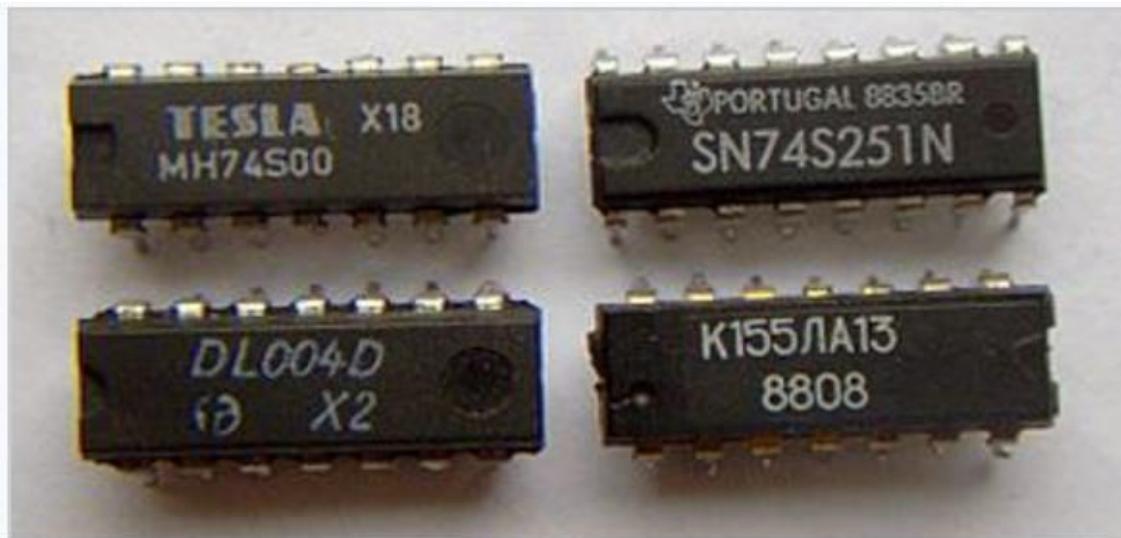
Les circuits intégrés sont aussi classés par leur technologie :

- ✓ le type de transistors,
- ✓ la manière dont les transistors sont connectés,
- ✓ la technique utilisée pour fabriquer les transistors.

Cette dernière classification est plus significative. Deux exemples de cette classification : les circuits TTL (transistor-transistor logic) et les circuits MOS (metal-oxide semiconductor).

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Les circuits intégrés TTL utilisent des transistors bipolaires et sont souvent de la catégorie SSI ou MSI. inventée dans les années 1960. Cette famille tend à disparaître du fait de sa consommation énergétique élevée (comparativement aux circuits [MOS](#)).



Composants TTL

La technologie TTL est normalisée pour une tension d'alimentation de 5 V. Un signal TTL est défini comme niveau logique bas entre 0 et 1,4 V, et comme niveau logique haut entre 2,4 V et 5 V

I-2 Evolution des technologies des CI et leurs caractéristiques

Les circuits intégrés MOS sont à base de transistors MOS à effet de champ (MOSFET) et sont de la catégorie LSI ou VLSI.

Les circuits intégrés hybrides sont construits sur un substrat isolant. Le cœur du circuit est une puce monolithique qui est fixée sur le substrat, la puce est connectée à d'autres éléments qui ont été fabriqués directement sur le substrat. Les circuits hybrides sont classés selon la manière dont sont fabriqués les autres éléments (résistor, condensateur, ...), on a ou bien un "thin film" ou bien un "thick film".

Salle blanche

Une salle blanche (ou plus exactement salle propre selon la norme ISO 14644-1) est une pièce ou une série de pièces où la concentration particulaire est maîtrisée afin de minimiser l'introduction, la génération, la rétention de particules à l'intérieur, généralement dans un but spécifique industriel ou de recherche scientifique. Les paramètres tels que **la température, l'humidité** et la pression relative sont également maintenus à un niveau précis (définition selon la norme ISO 14644-1).



Salle blanche de la NASA.



Salle blanche de fabrication micro-électronique (en construction)

Salle blanche

L'utilisations des Salles blanches

Les salles blanches sont utilisées dans les domaines sensibles aux contaminations environnementales : la fabrication des dispositifs à semi-conducteurs, les biotechnologies et d'autres domaines de la biologie. Ces salles sont également utilisées dans le cadre de la recherche médicale pour la fabrication de radioéléments par exemple.

Dans ces domaines, les objets et substances manipulés ont des tailles de l'ordre du micromètre ou du nanomètre et les particules présentes dans l'air non purifié peuvent être bien plus grosses et se fixer dessus.

Salle blanche

Norme ISO 14644-1

particules par mètre cube

Classe	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO 1	10	2	1	0	0	0
ISO 2	100	24	10	4	0	0
ISO 3	1 000	237	102	35	8	0
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	3
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO 7	∞	∞	∞	352 000	83 200	2 930
ISO 8	∞	∞	∞	3 520 000	832 000	29 300
ISO 9	∞	∞	∞	35 200 000	8 320 000	293 000

Les plus importants fabricants de CI dans le monde

Rang 2013	Rang 2012	Société	Nationalité/localisation	Chiffre d'affaires (Million de \$ USD)	2013/2012	Part de marché
1	1	Intel Corporation	 États-Unis	46 960	-1,0 %	14,8 %
2	2	Samsung Electronics	 Corée du Sud	33 456	+7,0 %	10,5 %
3	3	Qualcomm	 États-Unis	17 341	+31,6 %	5,5 %
4	10	Micron Technology	 États-Unis	14 168	+109,2 %	4,5 %
5	7	Hynix	 Corée du Sud	13 335	+48,7 %	4,2 %
6	5	Toshiba Semiconductors	 Japon	12 459	+11,9 %	3,9 %
7	4	Texas Instruments	 États-Unis	11 379	-5,5 %	3,6 %
8	9	Broadcom	 États-Unis	8 121	+3,5 %	2,6 %
9	8	STMicroelectronics	 France  Italie	8 076	-4,9 %	2,5 %
10	6	Renesas Technology	 Japon	7 822	-15,3 %	2,5 %
11	13	Infineon Technologies	 Allemagne	8 096	+5,7 %	1,6 %
12	12	Advanced Micro Devices	 États-Unis	5 076	-4,2 %	1,6 %
13	14	NXP	 Pays-Bas	4 658	+13,2 %	1,5 %
14	18	MediaTek	 Taiwan	4 434	+32,1 %	1,4 %
15	11	Sony	 Japon	4 394	-28,1 %	1,4 %
16	16	Freescale Semiconductor	 États-Unis	3 958	+5,8 %	1,2 %
17	15	NVIDIA	 États-Unis	3 612	-5,6 %	1,1 %
18	19	Marvell Technology Group	 États-Unis	3 281	+3,6 %	1,0 %
19	22	ON Semiconductor	 États-Unis	2 740	-4,5 %	0,9 %
20	23	Analog Devices	 États-Unis	2 677	+0,2 %	0,8 %