

Technologie

des circuits intégrés numériques

- Historique:

La matérialisation des fonctions logiques a évolué par différents stades technologiques. Des fonctions **OU** et **ET** à diodes (circuits passifs), on est passé aux circuits actifs à transistors.

Les premiers circuits logiques intégrés ont été des transpositions des circuits à composants discrets : RTL (Résistor Transistor Logic) puis DTL (Diode Transistor Logic), aujourd'hui abandonnés. Actuellement, les circuits intégrés logiques sont étudiés en fonction de la technologie d'intégration.

Le passage à la réalisation matérielle d'un système logique à l'aide d'opérateurs intégrés du commerce implique le respect des contraintes technologiques : contraintes fonctionnelles (temps de calcul, fréquence maximale de fonctionnement, consommation...) et contraintes d'implantation physique (conditions physiques et climatiques de fonctionnement).

- Niveau d'intégration des circuits intégrés / Classification suivant le nombre de transistor par boîtier :

Catégorie	Nombre de portes (n)
SSI : Small Scale Integration (intégration à petite échelle)	$n < 10$
MSI : Medium Scale Integration (intégration à échelle moyenne)	$10 < n < 100$
LSI : Large Scale Integration (intégration à grande échelle)	$100 < n < 1000$
VLSI : Very Large Scale Integration (intégration à très grande échelle)	$n > 1000$

Les plus grands circuits actuels possèdent plus de 100 000 portes (environ 500000 transistors) pour les microprocesseurs et plus d'un million de transistors pour les circuits mémoires.

- Famille de circuits intégrés / Classification suivant la nature des éléments utilisés :

*Les transistors peuvent être caractérisés par deux états électriques différents dans un même circuit intégré. On parle de **logique saturée** si ces deux états sont bloqués ou saturés. Inversement, les circuits sont en **logique non saturée** si les transistors sont conducteurs ou bloqués.*

- Circuits utilisant des transistors bipolaires

- Logique en mode saturé :

- **RTL** (Résistor Transistor Logic) : logique à résistance d'entrée et transistor de sortie
- **DTL** (Diode Transistor Logic) : logique à diode d'entrée et transistor de sortie
- **TTL** (Transistor Transistor Logic) : logique à transistor d'entrée et transistor de sortie, série **N** (Normale), **H** (High speed) et **L** (Low power)

- Logique en mode non saturé :

- **TTL**, série **LS** (Low Power Schottky), **ALS** (Advanced LS), **S** (Schottky)...
- **ECL** (Emitter Coupled Logic) : Couplage électrique des émetteurs. C'est la famille logique la plus répandue actuellement (électronique numérique très rapide)

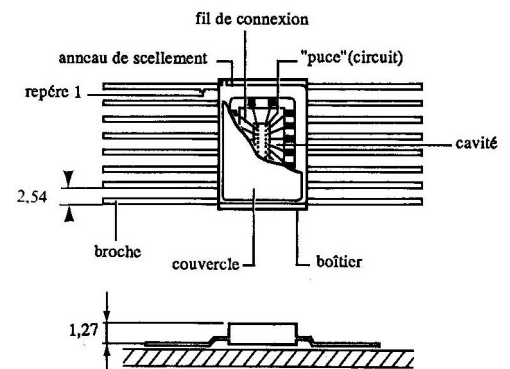
- Circuits utilisant des transistors à effet de champ à grille isolée

- **MOS** (Metal Oxide Semiconductor) : circuits composés initialement de transistors canal P (PMOS) puis à canal N (NMOS)
- **CMOS** (Complementary MOS) : circuits composés par l'association des 2 types de transistors MOS.

- Les boîtiers

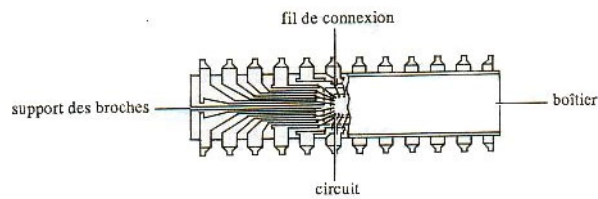
- Les **boîtiers plats** (flat package) :

- le circuit avec ses connexions est disposé entre deux plaques planes en céramique
- Boîtier hermétique et de faible épaisseur, soudé sur un circuit imprimé du côté des composants

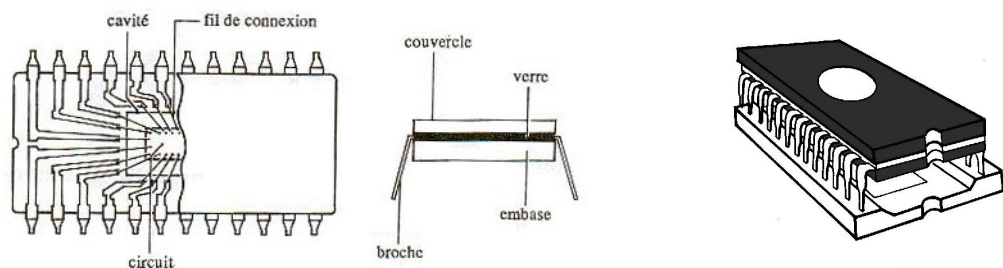


□ Les **boîtiers DIL** (Dual In Line) :

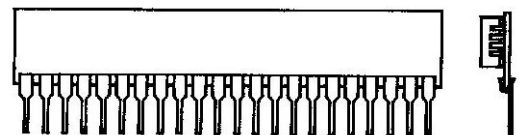
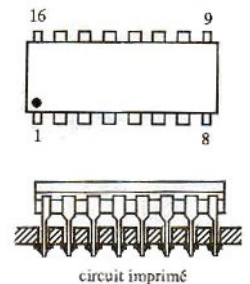
- Boîtiers les plus fréquemment rencontrés aujourd'hui,
- 8 à 64 connexions réparties en 2 lignes



- DIL plastique (circuit monté sur un cadre et encapsulé dans un matériau plastique,
- DIL céramique (circuit placé entre deux plaques de céramique)

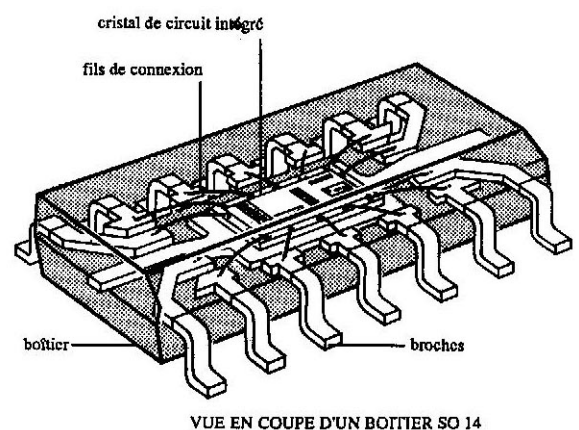


- Connexions numérotées dans le sens trigonométrique à partir de l'encoche du boîtier ou du repère (point)
- Boîtiers robustes. Ils sont soit soudés directement ou mis sur des supports (échange facilité lors d'une panne)
- Lorsque les connexions sont placées que d'un seul côté, le boîtier est appelé **SIL** (Single In Line)



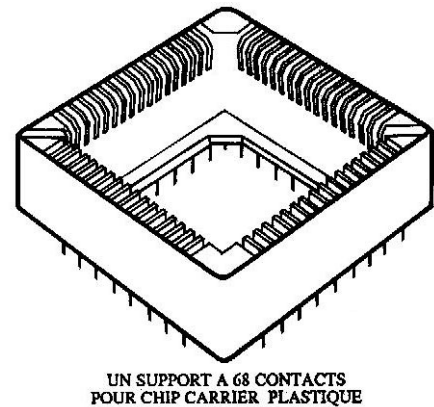
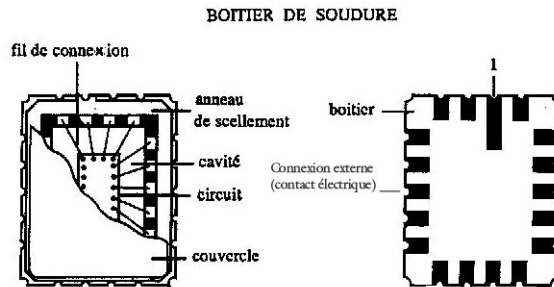
□ Les **boîtiers SO** (Small Outline)

- boîtier semblable au DIL dont l'espace entre deux sorties est divisé par 2 et dont les connexions ne sont plus droites mais coudées afin de permettre une soudure du côté composant (soudure sans trous)
- Boîtier deux fois plus épais que les boîtiers plats,
- Deux largeurs de boîtiers : 4 mm (pour 8, 14 ou 16 connexions) et 7,6 mm (de 16 à 28 connexions)
- Repérage identique au DIL



❑ Les boîtiers Chip Carrier

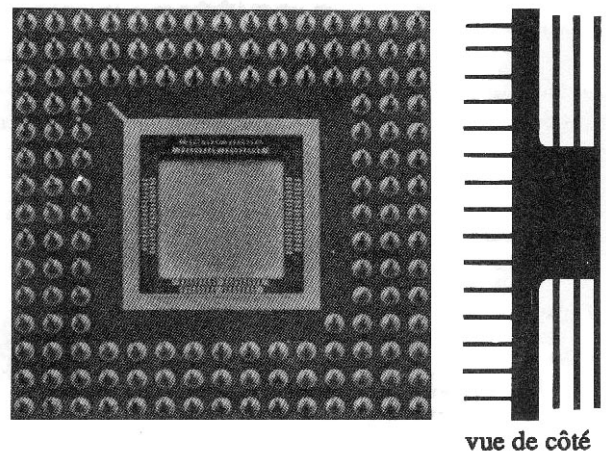
- boîtier enfichable dans des supports spéciaux,
- boîtier sans broche extérieure (métallisations locales encastrées)



- numérotation dans le sens trigonométrique et sortie n° 1 repérée

❑ Les boîtiers pin grid array (réseau de connexion)

- nombre de connexions très importantes
- boîtier soudé sur circuit imprimé ou monté sur support
- connexions réparties sur la périphérie du boîtier (plusieurs tours)
- ce boîtier, comme le précédent, accepte les radiateurs pour évacuer la chaleur dégagée par le circuit.



• Gamme de températures

On a une plage de température ambiante dans laquelle le circuit intégré fonctionne normalement. Il existe deux séries :

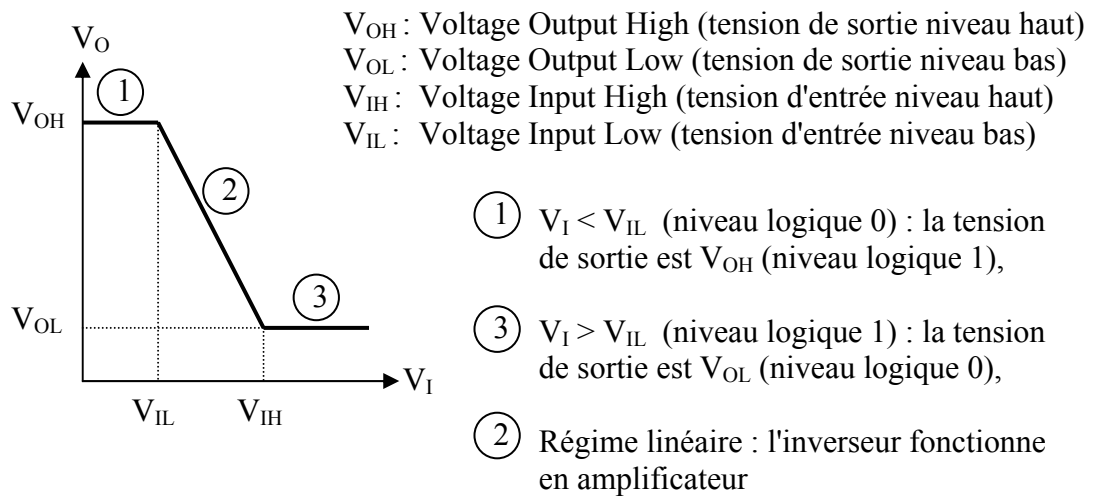
- série militaire : $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
- série commerciale : $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$

• Caractéristiques électriques statiques

- ❑ la **tension d'alimentation** : C'est la différence de potentiel qu'il faut appliquer au circuit pour un fonctionnement correct.
- ❑ le **courant consommé** : courant fourni par le générateur délivrant la tension d'alimentation nominale. Il peut dépendre de l'état du circuit (état de sortie est au niveau 0 ou 1)

- ❑ la **puissance statique** = tension d'alimentation \times courant consommé.
La consommation est différente suivant que l'opérateur logique délivre un niveau haut ou un niveau bas. On prend alors une valeur moyenne. Pour les circuits TTL, elle est comprise entre 1 et 100 mW par porte
- ❑ les **niveaux logiques** : Un circuit logique délivre une tension. Il faut faire une correspondance entre les deux niveaux de tension appelés niveaux haut (H : High) et bas (L : Low) et les variables 0 et 1. En logique positive, le niveau logique 1 correspond au potentiel haut (H). La caractéristique de transfert donne la relation entre la tension d'entrée V_I et celle de sortie V_O

Exemple de la caractéristique de transfert d'un inverseur



- ❑ **Immunité aux bruits** = "insensibilité aux parasites". Lorsqu'une tension parasite se superpose à un signal logique, elle peut provoquer le fonctionnement des opérateurs logiques. L'immunité aux bruits est le degré avec lequel une porte logique peut supporter des variations d'entrée sans que cela entraîne des modifications au niveau de la sortie.
- ❑ **Entrance / Sortance** : L'**entrance** (*fan in*) d'une porte logique correspond au nombre maximal d'entrées indépendantes pour cette porte. Il est défini par construction de la porte. Pour augmenter le nombre d'entrées, on peut utiliser des portes OU. La **sortance** (*fan out*) est le nombre maximal d'entrées qu'une porte peut alimenter sans que les niveaux haut et bas soient perturbés.
- ❑ **Vitesse de commutation / Temps de propagation** : C'est le temps moyen que met le signal pour franchir l'opérateur logique (de 2 à 100 ns)

