

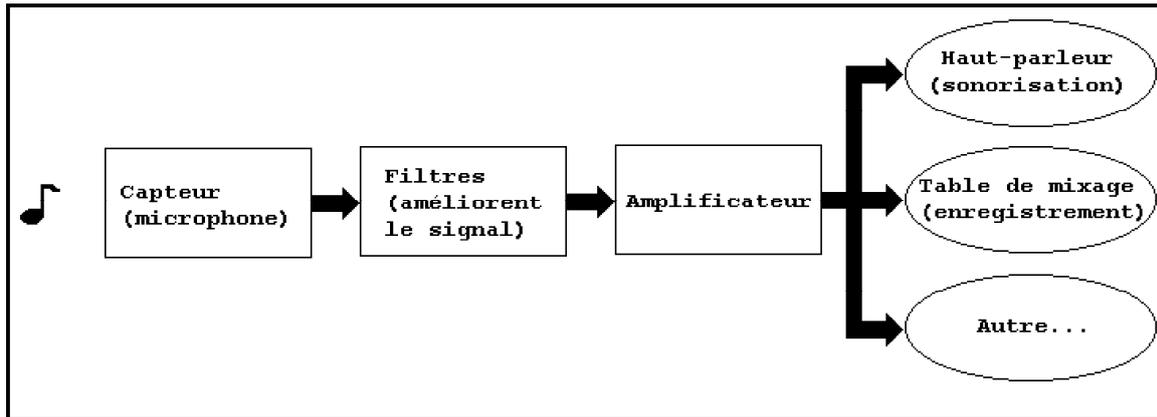
***CHAPITRE I :***  
***ELECTRONIQUE***

**1.1 Objectif :**

Connaitre le monde de l'électronique.

**1.2 Définitions:**

**Electronique** L'ensemble des techniques qui utilisent des signaux électriques pour capter, transmettre et exploiter une information. Une exception est l'électronique de puissance utilisée pour la conversion électrique-électrique de l'énergie (figure1.1).



**Figure (1.1) :** Traitement et transmission de l'information

La synoptique montre les principales étapes du processus de traitement et de transmission d'une information sonore, depuis la note de musique émise par un instrument jusqu'à celle entendue par l'auditeur d'un concert ou d'un disque.

Deux technologies électroniques cohabitent : l'analogique et le numérique ou technologie digitale. Le numérique est plus récent, son développement est principalement dû aux ordinateurs et il prend de plus en plus de "parts de marché" de l'analogique. Cependant, l'analogique n'est pas du tout en déclin parce qu'il y a des domaines dans lesquels elle est irremplaçable, notamment en hautes fréquences. Des progrès importants sont faits dans la réalisation de circuits intégrés analogiques qui ouvrent de nouveaux champs d'applications hors de portée auparavant figure (1.2).

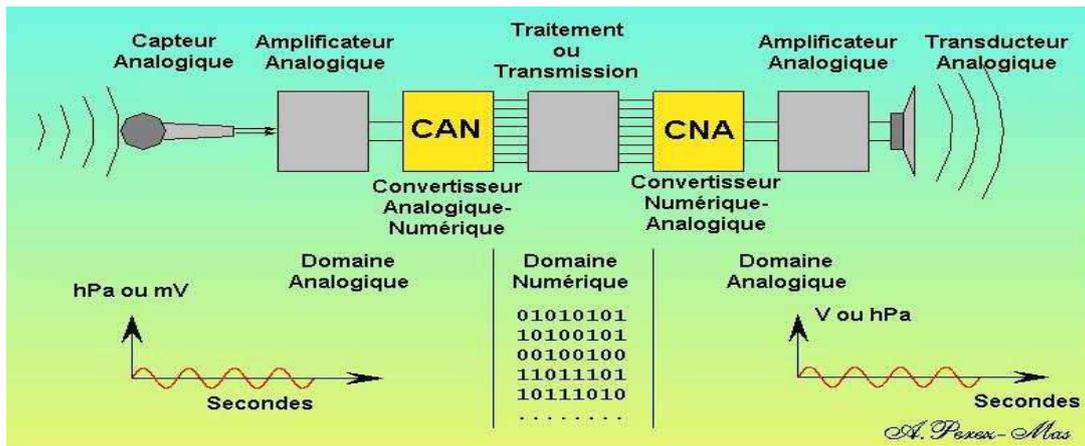


Figure (1.2) : Chaîne de traitement numérique

- **Electronique analogique :**

La grandeur électrique ou signal varie de façon analogique à la grandeur physique qu'elle décrit. Une caractéristique importante est la continuité du signal.

- **Electronique numérique :**

La grandeur électrique est traduite en une suite de nombres séparés par un intervalle de temps. L'impossibilité de décrire le signal par une suite de nombres infinie si l'intervalle de temps tend vers zéro a pour conséquence une discontinuité de la description du signal physique.

On pourrait prétendre que l'électronique digitale est contre nature puisque toutes les grandeurs physiques de notre monde sont analogiques. On entend par analogique qu'elles sont continues, elles varient dans le temps mais sans discontinuité. Pour prendre un exemple parlant, la température au cours d'une journée évolue graduellement. Quand le soleil se lève la température augmente, de manière continue, on ne passe pas de 12°C à 25°C en une  $\mu s$ .

Dans l'électronique numérique, en revanche ceci ne sera pas possible, nous ne pourrons manipuler que des signaux qui prennent deux valeurs finies et bien connues. Ces valeurs symboliseront des états, comme l'état haut ou l'état bas, la porte ouverte ou fermée, le jour ou la nuit. Il y aura une forte discontinuité en ces deux valeurs.

### 1.3 Electronique analogique:

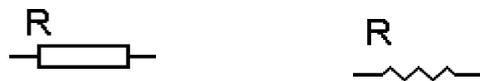
#### 1.3.1 Les éléments passifs:

##### 1.3.1.1 La Résistance:

###### a. Descriptions:

La résistance (Résistor) est l'élément le plus simple, très utilisé en électronique. C'est un composant dit passif, il conduit l'électricité avec un [effet résistif](#). Il est bidirectionnel, il n'y a pas de sens obligatoire du passage du courant.

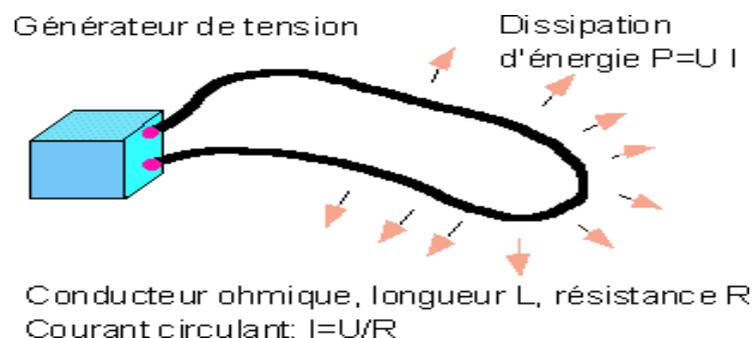
###### b. Symboles:



###### c. Effet résistif:

Il convient de noter que la dégradation d'énergie en forme thermique est un phénomène général en physique, phénomène décrit par la thermodynamique. En électricité, si on place une tension aux bornes d'un conducteur, il advient un courant. La dissipation d'énergie se manifeste par un échauffement et une chute de potentiel le long du conducteur ; il y a conversion d'énergie électrostatique (contenue dans le générateur par exemple) en énergie thermique (échauffement par effet Joules).

La résistance d'un corps dépend de sa nature par sa résistivité (qui n'est autre que sa faculté à s'opposer au passage des électrons) et de ses dimensions (longueur et section). La relation donnant la résistance  $R$  d'un cylindre de section constante (mais de forme quelconque) figure(1.3).



**Figure (1.3) : l'effet résistif**

d. Marquage de la valeur nominale

**Ne Mangez Rien Qu Jeûnez Voilà Bien Votre Grande Bêtise**

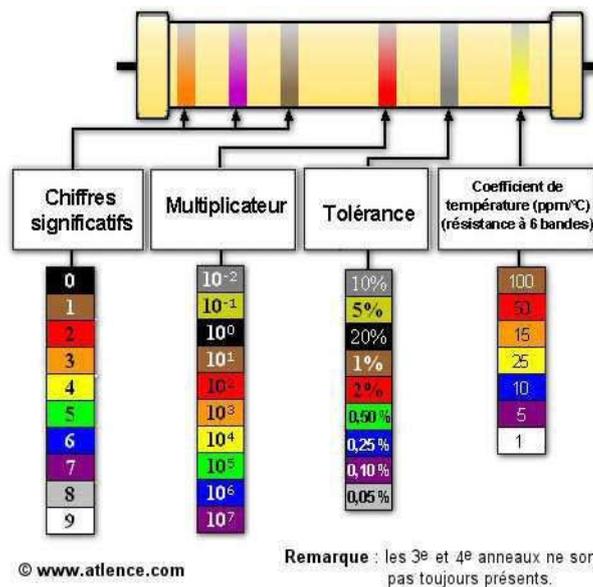


Figure (1.4) : Marquage de la résistance

N:	noir	(0)
M:	marron	(1)
R:	rouge	(2)
O:	orange	(3)
J:	jaune	(4)
V:	vert	(5)
B:	bleu	(6)
V:	violet	(7)
G:	gris	(8)
B:	blanc	(9)

**Exemple :**



Premier chiffre significatif Jaune : 4

Deuxième chiffre significatif vert : 5

Significatif Multiplicateur orange : 3

Tolérance: dorée : 5%

Donc la valeur de cette résistance est :  $45 \times 10^3$  à 5 % soit 45 k à 5%.

### 1.3.1.2 Le CONDENSATEUR

#### a. Descriptions:

Les condensateurs appartiennent à la famille des composants passifs et sont utilisés dans tous les domaines de l'électronique. Ils permettent d'emmagasiner une charge électrique aux bornes de deux électrodes séparées par un isolant appelé diélectrique. Leurs performances électriques dépendent de la nature du diélectrique et de la structure électrode-isolant-électrode. Ils sont classés en trois grandes familles:

- condensateurs céramiques;
- condensateurs électrochimiques;
- condensateurs à film plastique.

#### b. Effet capacitif:

Cet effet correspond au troisième phénomène très important. Lorsqu'on applique une différence de potentiel à deux conducteurs *isolés* les uns des autres, on assiste à une accumulation de charges par influence électrostatique. C'est cela l'effet capacitif. Il peut être ardemment recherché et dans ce cas on fabrique des condensateurs précis ou de grande capacité. Très souvent, l'effet capacitif est présent à titre parasite comme par exemple lors d'accumulation de charges entre deux lignes conductrices. Dans ce cas, on cherche à minimiser ses effets sur le temps de réponse de la ligne figure (1.5).

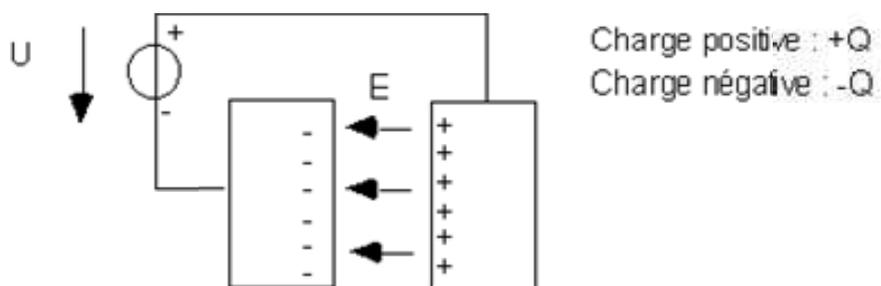


Figure (1.5) :l'effet capacitif

#### c. Définition de la capacité d'un dispositif :

Pour un circuit donné, on définit sa capacité  $C$  comme le rapport de la charge accumulée sur la tension appliquée à ses bornes, soit en fait son aptitude à emmagasiner des

charges électriques de l'énergie électrostatique :

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{:Capacité (Farad), (F)} \quad (1.1)$$

Q : Charge positive enfermée dans le système (Coulomb), (C)

U : Tension aux bornes du système capacitif (V)

**d. L'accumulation de charges : un phénomène physique:**

Le phénomène physique correspond au stockage sous forme d'énergie électrostatique. Le stockage est momentané et cette énergie est restituée au circuit en tension. L'énergie accumulée par l'élément capacitif vaut :

$$E_{\text{électrostat}}(t) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (u(t))^2 \quad \text{: énergie électrostatique} \quad (1.2)$$

**e. Principales familles de condensateurs:**

On distingue 3 principales familles de condensateurs suivant la nature isolant et la valeur de la permittivité associée :

- Céramique,
- Film plastique.
- Electrochimique (à oxyde d'aluminium ou de tantale). Les très basses valeurs de capacité (1 à 1000  $pF$ ) sont quasiment couvertes par les seuls condensateurs céramique.

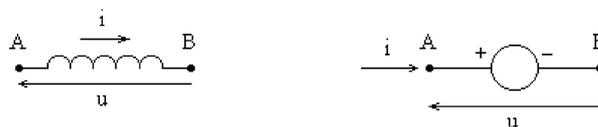
La gamme intermédiaire (1 nF à 1  $\mu F$ ) est couverte par la céramique et par le film.

Les valeurs les plus élevées ( $>10\mu F$ ) correspondent aux condensateurs électrochimiques.

**1.3.1.3 La BOBINE**

**a- Symboles:**

La figure suivante montre le symbole que nous utilisons pour une self et sa modélisation en convention récepteur :



**b. Effet auto inductif:**

Lorsqu'un courant circule dans un conducteur, il est responsable de la création d'un champ d'induction magnétique. Si le courant est variable dans le temps, le champs d'induction le sera aussi et alors intervient le phénomène d'auto-induction: ce champ variable rétroagit sur le courant qui le crée, en ralentissant la variation de ce courant. Cet effet correspond à un stockage d'énergie dans le circuit auto-inductif, sous forme magnétique figure (1.6).

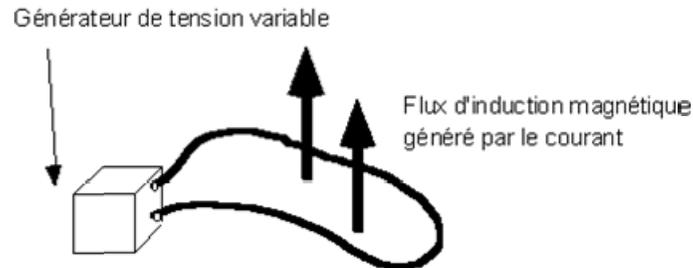


Figure (1.6): l'effet auto inductif

**c. L'auto-induction : un phénomène physique:**

Le phénomène physique correspond au stockage d'énergie sous forme magnétique.

Le stockage est momentané et l'énergie est restituée au circuit en courant. L'énergie accumulée par l'élément auto inductif vaut :

$$E_{\text{magnétique}}(t) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot (i(t))^2 \text{ : énergie magnétique} \quad (1.3)$$

**d. Inductance ou self :**

Dans une bobine ou auto ou auto-inductance le flux instantané est proportionnel au courant parcourant celle-ci :  $F = L \cdot i$ . le coefficient L est appelé coefficient d'auto d'induction du circuit. Il s'exprime en Henry (H). Lorsque le courant varie, il apparaît dans la self une f.c.e.m. (qui s'oppose à la variation du courant).

$$e(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt} = -L \frac{di(t)}{dt} \quad (1.4)$$

**1.3.1.4 LA DIODE :**

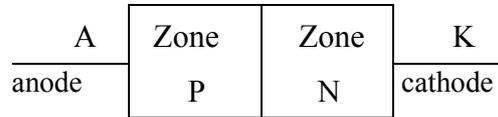
**a. LA DIODE JONCTION**

Une diode à jonction est un composant électronique réalisé à partir d'un semi conducteur, obtenu par dopage. par définition une diode fait référence à tout composants doté de deux électrodes. il s'agit d'un composant polarisé. l'électrode relié à la région N est la cathode et l'électrode relié à la région P est l'anode; et la zone de séparation qui sépare les deux régions externes est appelée jonction.

Un semi-conducteur de type N est obtenu en introduisant par dopage un excédant de

charges négatives (électrons), alors que le type P est le résultat d'un dopage de charges positives (trous) figure (1.7).

**JONCTION**



**Figure (1.7) :** Diode à jonction PN

Une diode ne laisse pas passer le courant de la même façon selon qu'on la branche dans un sens ou dans l'autre (le courant Anode vers Cathode peut être plus importante que le courant Cathode vers Anode, à une tension donnée, par exemple). Cette caractéristique permet à la diode d'être utilisée pour redresser un courant alternatif, c'est à dire de ne laisser passer que l'alternance positive ou que l'alternance négative (selon l'orientation de la diode). Le sens de branchement de la diode a donc une importance sur le fonctionnement du montage. Le matériau le plus utilisé pour fabriquer les diodes "standards" est à ce jour le silicium, le germanium étant désormais bien moins utilisé que par le passé figure (1.8).



**Figure (1.8):** Diode à jonction PN au germanium

**La tension inverse:**

Appelée aussi tension de claquage. Il s'agit de la tension maximale que l'on peut appliquer à la diode dans le sens bloquant (c'est à dire diode branchée à l'envers), avant qu'elle ne conduise. Une diode "normale" risque de griller quand cette tension inverse maximale est dépassée, mais certaines diodes supportent ce fonctionnement et ont même été conçues pour travailler de cette façon. Les diodes Zener, par exemple, se comportent comme des diodes normales quand on les branche dans le sens direct, et présentent une tension à juste titre appelée tension de Zener, quand on les branche dans le sens inverse. Cette tension inverse (de

zener) est utilisée comme référence de tension, pour de la régulation d'alimentation par exemple.

**Le courant direct:**

Il s'agit de l'intensité maximale qui peut parcourir le composant de façon continue quand il est polarisé dans le sens passant, sans que ce dernier ne grille. La diode peut en général supporter une pointe de courant (très brève) bien supérieure au courant maximal.

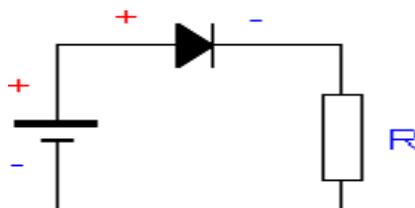
**La vitesse:**

Certaines diodes sont dites rapides. On peut donc imaginer qu'il en existe des lentes. Et c'est bien le cas. Alors qu'entend-on donc par rapide ? Et bien comme dans tout contexte d'utilisation, tout est relatif. Une même diode peut être considérée comme rapide dans une application donnée, et être considérée comme lente dans une autre application. Une diode de type 1N4007 par exemple, convient pour effectuer un redressement en sortie secondaire d'un transformateur d'alimentation (50Hz), mais ne convient pas pour une utilisation en diode de recouvrement dans une alimentation à découpage (diode de recouvrement : diode connectée au transistor de puissance qui travaille en commutation à une fréquence élevée - par exemple 150 KHz, pour accélérer les temps de commutation et limiter ainsi l'échauffement). Les diodes Schottky sont dites rapides, et peuvent même parfois être préférées pour des applications "lentes".

**Montage de test et caractéristique**

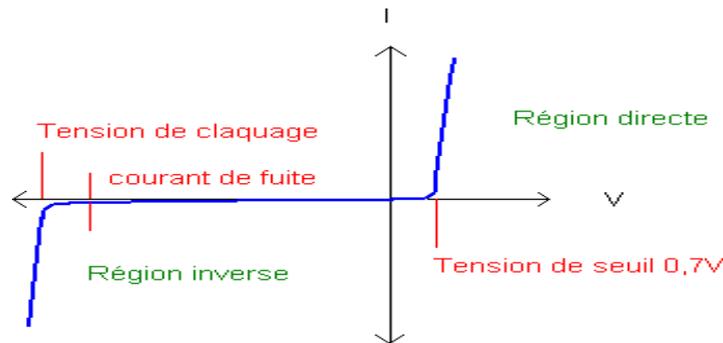
Voici le montage. Remarquez que nous avons connecté le + de l'alimentation à l'anode de la diode et le - par l'intermédiaire de la résistance à la cathode. Ce branchement provoquera la circulation du courant, on dira que la diode est polarisée pour le sens passant.

Si nous avions adopté l'autre sens (le + sur la cathode) nous aurions polarisé notre diode en inverse et aucun courant n'aurait circulé, notre diode aurait été bloquée et polarisée pour le sens non passant figure (1.9).



**Figure (1.9):** branchement directe d'une diode

Pour notre expérience, nous allons faire varier la tension du générateur de 0 à + Vcc (nouveau terme indiquant la tension maximum d'alimentation continue) en relevant à chaque fois le courant qui circule dans le circuit et la tension aux bornes de la diode. Une fois ceci effectué, nous inverserons les pôles du générateur et pratiquerons de même. Ces relevés nous permettront d'établir graphiquement la caractéristique tension-courant de la diode figure (1.10).



**Figure (1.10) :** Caractéristique I-V d'une diode à jonction PN

**Notation (appellation) du composant:**

Tout comme pour les résistances et les condensateurs, il existe un code couleur pour la diode, ainsi qu'une notation en clair. La notation par lettres et chiffres du composant repose sur une normalisation dont quelques détails sont donnés à la page Notation des composants.

**b. Diode signal ou de commutation**

**Exemple:** AA119, BAX13, OA95, 1N4150, 1N914, 1N4148

Ce type de diode est utilisé surtout en logique, où dans des montages où peu de puissance est mise en jeu. On les appelle souvent Diode d'usage général, même si paradoxalement on trouve aussi d'autres diodes appelées également Diode d'usage général.

**c. Diode de redressement**

**Exemple:** 1N400x (1N4003, 1N4007,...), 1N5408, BY255

Utilisée pour le redressement mono-alternance (une diode) ou bi-alternance (deux ou quatre diodes) dans les alimentations secteur. A noter qu'il existe des diodes de puissance montées par paire dans un même boîtier, avec une patte en commun (deux diodes avec anode commune en boîtier TO220 par exemple), qui leur donnent l'aspect d'un composant tripolaire

(voir photo en haut de page). Il existe aussi des boîtiers intégrant quatre diodes de redressement, câblées en pont (voir ci-après).

**Remarque : les diodes de redressement de puissance présentent souvent une chute de tension**

- importante quand le courant qui les traverse est important. Par exemple, la diode 1N4007, bien connue des électroniciens, présente une chute de tension de l'ordre de 0,7V pour un courant de 50 mA, et une chute de tension de 1,1V pour un courant de 1A. La diode 1N5818 est une diode de type Schottky qui peut être utilisée pour du redressement, et qui présente une chute de tension moitié de la 1N4007, soit 0,55V pour un courant de 1A. Par contre, elle ne supporte qu'une tension inverse de 30V, contre 1000V pour la 1N4007, ce qu'il est important de savoir pour des alimentations qui dépassent 24V... Pour des besoins en courant plus.
- importante, la diode Schottky MBR20100CT ne présente qu'une chute de tension de 0,7V sous 10A, et la 43CTQ100, 0,67V sous 20A.

#### **d. Diodes en pont (pont de diodes)**

Exemple: PR1, BY164, 110B6, B40C, KBP02M, KBL04

Il s'agit ni plus ni moins d'un assemblage de quatre diodes de redressement identiques dans un même boîtier, câblées entre elles "en rond", chaque point commun correspondant à une connexion. Les ponts de diodes sont principalement utilisés pour le redressement de tensions alternatives dans une alimentation secteur. Le fait de n'avoir que quatre pattes au lieu de huit permet de simplifier le montage sur CI. Il existe aussi des boîtiers à trois pattes (en boîtier TO220 par exemple) qui contiennent deux diodes identiques montées tête-bêche (cathodes commune ou anodes commune). Tiens, je l'avais déjà dit juste avant...

#### **e. Diodes THT**

Les diodes THT sont des diodes capables de travailler sous de très hautes tensions (THT), de plusieurs KV à plusieurs dizaines de KV. Il est assez rare de trouver une diode qui permette cela à elle seule. La plupart du temps, il s'agit de plusieurs diodes montées en série, dans un même boîtier. On appelle d'ailleurs parfois ce type de composant un barreau de diodes. La représentation de ce type de diode dans un montage électronique est souvent faite par plusieurs diodes collées entre elle, en série. Si pour un montage particulier (petit générateur de THT par exemple), vous avez besoin de diodes haute tension, allez donc faire

un tour du côté des pièces détachées pour four à micro-ondes.

#### **f. Diode de détection**

Les diodes de détection sont (étaient ?) utilisées pour la détection (démodulation) RF dans les étages d'entrée de récepteur de radio. Ce type de diode, généralement en germanium, présentait un seuil de conduction plus faible (0,2V à 0,3V) que ceux des diodes au silicium (0,6V à 0,7V) et présentaient donc l'avantage d'être plus sensible et donc de mieux fonctionner avec des niveaux de réception faibles. J'ignore si ce type de diode est encore utilisé, car il existe désormais des techniques de détection plus efficaces. Mais il semble qu'elles soient en voie de disparition si on en juge la difficulté à s'en procurer.

#### **g. Diodes en réseau (réseau de diodes)**

Plusieurs diodes sont montées dans un même boîtier. Soit elles sont complètement isolées les unes des autres, soit elles ont une de leur patte mise en commun (réseau à cathode commune ou à anode commune). Quand on parle de diodes en réseau, il s'agit généralement d'un boîtier comportant quatre, sept ou huit diodes. Mais il existe également des boîtiers ne comportant que deux diodes, montées tête-bêche, que l'on trouve en particulier dans le domaine du redressement de puissance (en boîtier TO220), ou dans le domaine HF avec les diodes vari caps.

#### **h. Diode zener**

La diode Zener est une [diode](#) qui présente une tension inverse (tension Zener) ou tension d'[avalanche](#) de valeur déterminée de 2,4 [V](#) à plus de 100 V (certaines diodes Zener comportent un troisième broche qui permet de régler la tension d'[avalanche](#)).

Normalement une diode laisse passer le courant électrique dans un seul sens. Les diodes Zener sont conçues de façon à laisser passer le courant inverse si la tension aux bornes du composant est plus élevée que le seuil d'avalanche.

Les diodes zener sont principalement utilisées pour la régulation de tension d'alimentation. Pour plus de détails. On l'utilise comme référence de [tension](#) dans les alimentations stabilisées par exemple. Elle permet également la protection en [surtension](#), toutefois la [diode transil](#) lui est largement supérieure en puissance absorbable.

Les propriétés électriques de cette diode ont été découvertes par le [physicien](#) américain [Clarence Zener](#).

**i. Diodes de référence de tension**

Ces diodes ont des caractéristiques similaires aux diodes zener, mais se caractérisent par un coefficient de température bien plus faible. La tension à leurs bornes, pour un courant donné, varie donc moins en fonction de la température ambiante. On les utilise principalement dans le domaine de l'instrumentation, notamment dans la mesure de température ou plus simplement encore de tensions (voltmètres).

**j. Diode Varicap (Varactor)**

Exemples: BA102, BA104, BB105, BB112, BB142  
BB204, BB405B.

Appelée aussi Varactor (acronyme de Variable Reactor) ou encore Diode d'accord, la diode Varicap présente la particularité de se comporter comme un condensateur dont la valeur dépend de la tension continue appliquée à ses bornes, quand elle est polarisée en inverse. La principale caractéristique d'une diode varicap est sa plage de variation de capacité (quelques pF ou quelques dizaines de pF) pour une plage de tension inverse donnée (quelques volts à quelques dizaines de volts). On peut donc la considérer comme un [condensateur variable](#) programmable par une tension. Ce type de diode est fréquemment utilisée dans des montages RF pour effectuer une modulation de fréquence, ou assurer un accord (dans l'étage d'entrée RF d'un récepteur TV, ou pour stabiliser avec grande précision la fréquence de sortie d'un VCO, par exemple). Mais il existe aussi des diodes varicap de puissance utilisées pour réaliser des multiplicateurs de fréquence à faibles pertes, et des diodes varicap où l'arséniure de Gallium est préféré au silicium pour des applications en très haute fréquence. Dans certaines applications (récepteur de télévision par exemple), il est nécessaire d'utiliser deux diodes.

**k. Diode de protection**

Exemple: Transil 1N6286 La diode Transil est l'appellation donnée par Thomson à la diode Transzorb. Ce type de diode est de type "à avalanche" Elle se met en parallèle sur l'alimentation, et absorbe toute surtension. L'inconvénient majeur de ce type de diode est qu'une très forte surtension la met en court-circuit. Là, c'est sûr qu'elle protège encore mieux l'équipement qui suit, mais les fusibles et disjoncteurs qui précèdent n'aiment pas ça, et jouent bien leur rôle.

**l. Diode Electro-Luminescente (LED ou DEL)**

Une LED est une diode qui émet des radiations visibles (de la lumière)

**m. Photodiode**

Exemples : OAP12, BP104 Ce type de diode est assimilable aux cellules photorésistantes, dans le sens où elle est plus ou moins conductrice selon l'intensité de la lumière qu'elle reçoit. Elle peut se trouver sous forme d'un composant discret à deux pattes, ou être intégrée dans un opto-coupleur. La photodiode PIN est une photodiode ultra-rapide principalement utilisée dans le domaine de l'optique (infrarouge notamment).

**n. Diode Tunnel**

Appelée aussi diode Esaki. La diode Tunnel tire son nom de l'effet "Tunnel", qui consiste dans la manière dont une particule électronique peut traverser une barrière de potentiel trop élevée pour être franchie d'une façon normale (barrière qui empêche la conduction inverse dans le cas des diodes normales). Dans une diode Tunnel, le courant commence d'abord à croître sensiblement proportionnellement avec la tension appliquée. Puis cette tension augmentant toujours, à partir d'un certain point, le courant s'inverse et diminue. On est alors en présence d'une "résistance négative", ce qui rend la diode idéale pour la réalisation d'oscillateurs ou d'amplificateurs, notamment dans le domaine fréquentiel des micro-ondes.

**o. Diode Backward**

Appelée aussi diode Unitunnel. Cette diode est similaire à la diode Tunnel dans son comportement global, exceptée que la portion "résistance négative" n'existe pas dans cette dernière. Ce type de diode est particulièrement utilisée pour le redressement de signaux de faible amplitude et très haute fréquence(micro-ondes)

**p. Schottky**

Exemples: MBD102, FH1100,HP2800

Diode de redressement fabriquée sur la base d'une jonction entre un métal et un semi-conducteur. L'effet Schottky confère à cette diode la faculté de commuter à des vitesses très élevées. Elle est donc naturellement employée là où des vitesses de commutation et de recouvrement élevées sont requises, comme par exemple pour la protection de transistors dans des circuits de commande de puissance ou dans des alimentations à découpage. Cette diode présente en outre l'avantage de présenter à ses bornes, une chute de tension plus faible que celle des diodes classiques. Autre argument de choix pour la préférer dans des alimentations

où le moindre dixième de volt est compté...

**q. Diode Gunn :**

Oscillateur micro-onde à résistance négative fonctionnant selon le principe de l'effet Gunn. Il s'agit d'une diode composée d'arséniure de gallium produisant des oscillations micro-ondes cohérentes quand un champ électrique important lui est appliqué.

**r. Diode Pin**

Ce type de diode peut être utilisé pour assurer la détection de modulation optique (photodiode PIN à l'entrée d'un récepteur d'une liaison fibre optique par exemple). Elle peut aussi être utilisée comme élément atténuateur commandé dans un étage HF, ou comme élément de commutation pour router des signaux HF.

**s. Diode régulatrice de courant**

Diode à effet de champs dont la particularité est de générer un courant constant, dont la valeur est indépendante de la tension appliquée à ses bornes (quelques centaines de  $\mu A$  à quelques mA).

**1.3.2 Les éléments actifs:**

**1.3.2.1 Le transistor bipolaire:**

Le transistor est un composant actif qui sera utilisé pour commuter des courants ou des tensions, amplifier, transposer des fréquences, les mélanger, commander un relais et mille autres choses encore.

Nous avons eu l'occasion de voir que la diode était constituée d'une jonction PN et nous ne traiterons sauf exception que des transistors NPN qui plus est au silicium. Le transistor est constitué de deux jonctions PN accolées formant un ensemble NPN.

Comme vous pouvez le constater, ce dispositif comporte 3 électrodes. La base est l'électrode de commande, une sorte de robinet, le collecteur, relié au pôle positif de l'alimentation sera le reflet de la base mais "agrandi", l'émetteur drainera les courants base + collecteur. C'est très simpliste pour le moment.



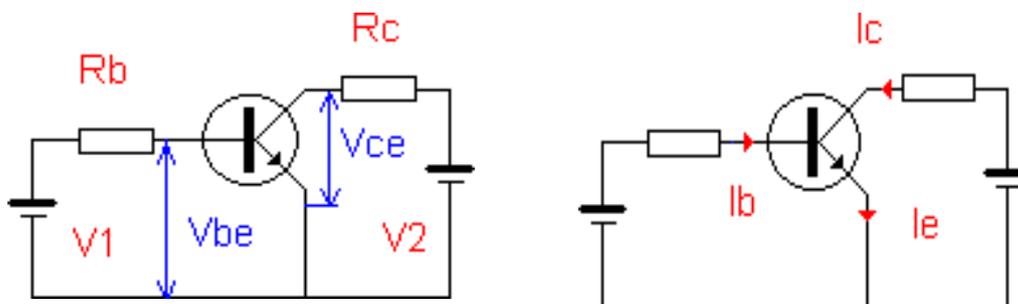
**Figure (1.11) :** Symbole électrique d'un transistor NPN

Voici une autre représentation du transistor toutefois ayez toujours présent à l'esprit que si vous réalisez ce montage, vous n'obtiendrez jamais l'effet "Transistor", il s'agit d'une représentation, sans plus, qui vous montre que la diode Base-émetteur est polarisée en direct, la diode Base-collecteur en inverse figure (1.11).

**Petit montage de test:**

Le temps est venu de relier notre transistor à une source de tension et d'observer ce qui se passe. Pour ce faire nous allons réaliser un petit montage de test avec un transistor petits signaux tout à fait classique. Nous allons essayer de voir ce qu'est justement l'effet transistor. Nous observons que quand notre transistor est correctement polarisé (les tensions sont dans le bon sens et de valeurs adéquates), un courant de base  $I_B$  de quelques  $\mu A$  circule dans la jonction Base-Emetteur. Comme il s'agit d'une jonction, on retrouve une chute de tension de 0,6-0,7 V ici. Nous constatons également qu'un courant  $I_C$  beaucoup plus important circule du collecteur vers l'émetteur. En faisant diverses expériences on démontre qu'une relation liant  $I_C$  et  $I_B$  existe. Nous constatons enfin que le courant Emetteur est le plus important des trois et est égal à la somme de  $I_C$  et  $I_B$ .

Les sources de tension sont variables, nous allons donc les faire varier et mesurer à chaque fois  $U$  et  $I$ . Ceci nous permettra de tracer des courbes forts utiles à la compréhension du fonctionnement du transistor figure (1.12).



**Figure (1.12):** montage pour la mesure de la caractéristique I-V d'un transistor bipolaire

Retenons les deux relations ci-dessous :

$$I_e = I_c + I_b \quad (1.5)$$

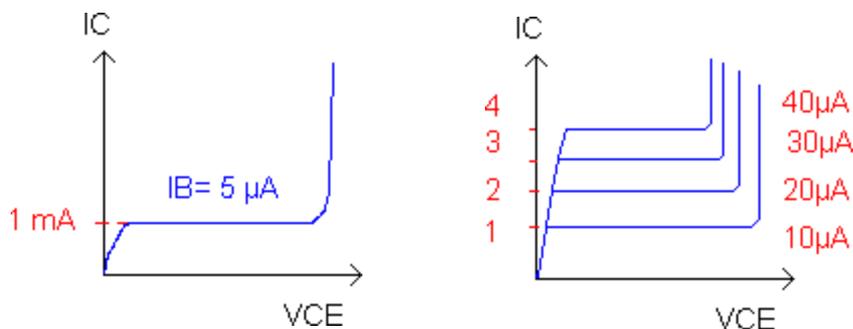
$$I_c = \beta \cdot I_b \quad (1.6)$$

Avec

$\beta$ : gain en courant

1<sup>er</sup> résultat important: Nous faisons varier la tension collecteur, le courant IC reste constant sur une grande plage.

Nous constatons quel est le gain en courant du transistor  $\beta$  est sensiblement constant (rapport IC/IB). Plus VCE croît, moins la partie rectiligne est importante. importante. Nous retiendrons que le courant collecteur est dépendant du courant de base figure (1.13).

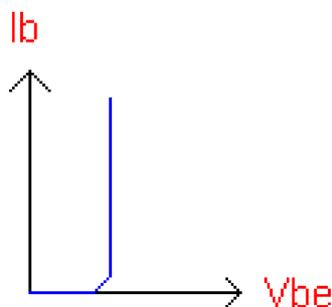


**Figure (1.13) :** Caractéristique I-V pour différents courants de base Ib

**Caractéristique de base du transistor:**

La caractéristique de base du transistor est la caractéristique du courant IB fonction de la tension VBE figure (1.14).

Nous avons vu que le courant collecteur était lié au courant de base par le gain en courant  $\beta$  du transistor.



**Figure (1.14) :** Caractéristique de base du transistor

**Remarque importante :**

Le gain en courant  $\beta$  du transistor est fortement affecté par la température. Quand la température du transistor croît, le gain  $\beta$  croît. Ce phénomène peut conduire à l'emballement thermique ( $\beta$  croît donc  $I_C$  croît, la température du transistor croît, ce qui provoque une augmentation de  $I_b$  etc.)

➤ **Les zones extrêmes de fonctionnement du transistor:**

Pour ce faire, nous aurons besoin de la caractéristique de collecteur du transistor et de deux points représentatifs donnés par deux équations tirées de la loi d'Ohm figure (1.12).

**Explications:**

La résistance  $R_c$  est parcourue par le courant collecteur  $I_c$ . Pour connaître la valeur de celui-ci, nous devons déterminer la chute de tension aux bornes de cette résistance.

- Nous savons donc que  $I_c = (V_{cc} - V_{ce}) / R_c$ .
- Prenons l'hypothèse où  $V_{ce} = 0$ ,  $I_c$  sera égal  $= V_{cc} / R_c$ . Ce point sera la point de saturation du transistor.
- Prenons l'hypothèse où  $I_c = 0$  alors  $V_{ce} = V_{cc}$ , ce point sera la point de blocage du transistor.

Grâce à ces deux points nous pouvons tracer la droite de charge statique qui aura cette allure:



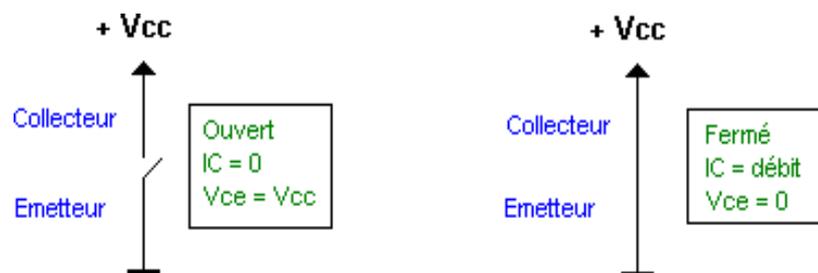
**Figure (1.15) :** Droite de charge et point de fonctionnement du transistor bipolaire

Que nous enseigne cette figure ?

**1. Le point de saturation** est le point où la tension VCE atteint une valeur proche de 0. Ceci est dû au fait que la chute de tension aux bornes de Rc augmente donc diminue Vce. ( $V_{ce} = V_{cc} - R_c \cdot I_c$ )

**2. Le point de blocage** est le point où la tension Vce atteint la tension d'alimentation Vcc, plus aucun courant de collecteur ne circule (hormis un ridicule courant de fuite négligeable). Ce point est atteint quand  $I_b = 0$

Pour vous souvenir de cette notion de transistor fonctionnant en commutation, on dit également en tout ou rien, imaginez qu'entre collecteur et émetteur vous ayez un interrupteur. Si l'on place aux bornes de cet interrupteur un voltmètre, on mesurera la tension d'alimentation quand l'interrupteur sera ouvert et une tension quasi nulle quand il sera fermé figure (1.16).

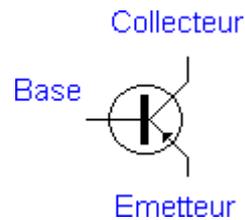


**Figure (1.16) :** Principe de fonctionnement du transistor

### **TRANSISTOR BIPOLAIRE PNP:**

Nous avons pour le moment étudié les transistors bipolaires types NPN. Ce sont les plus répandus toutefois certaines applications demandent l'utilisation de transistors PNP. Voyons de quoi il en retourne. Comme vous pouvez le constater, rien de révolutionnaire hormis la flèche d'émetteur qui est rentrante alors qu'elle était sortante sur le transistor NPN.

Le transistor PNP aura rigoureusement le même comportement que le transistor NPN à cette différence que les polarités seront inversées. Nous appliquerons donc une tension positive sur l'émetteur, la masse sur le collecteur et pour se débloquent, ce transistor demandera une polarisation de jonction Vbe inverse également de celle du NPN. Il faudra que la tension appliquée sur la base soit inférieure de 0,6-0,7V à celle d'émetteur figure(1.17).



**Figure (1.17) :** Symbole électrique d'un transistor PNP

Pour comprendre cela nous allons étudier un cas concret :



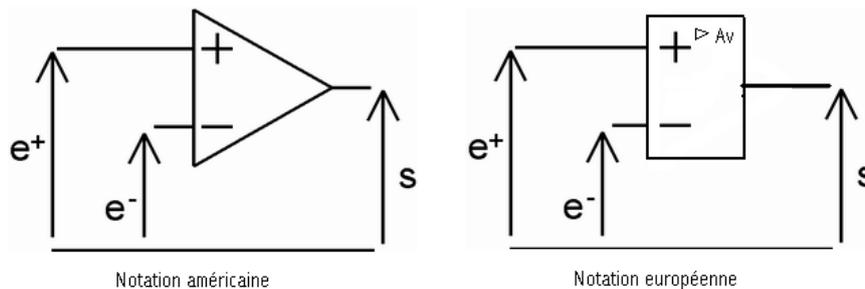
**Figure (1.18) :** Schéma électrique d'un transistor NPN et PNP

Nous avons affaire au même montage, nous avons simplement remplacé le transistor NPN par un PNP. Les valeurs de polarisation sont les mêmes et vous constaterez que nous trouvons les mêmes résistances dans les mêmes mailles. Dans les deux cas l'émetteur est chargé par une résistance de 150  $\Omega$  et le collecteur par une résistance de 560  $\Omega$ . Nous allons trouver le même courant  $I_e$  qui traverse la résistance de 150  $\Omega$  figure (1.18).

Retenez que pour conduire, un transistor PNP doit avoir sur sa base une tension inférieure à celle de son émetteur, c'est le contraire sur un NPN. Les émetteurs-récepteurs actuels vous fournissent une masse quand vous passez en émission, ceci est utilisé pour télécommander un amplificateur par exemple. Comme la puissance de cette télécommande est très faible, il faut passer par un système intermédiaire qui sera constitué par un transistor PNP. La base sera relié normalement au +VCC par une résistance de manière à bloquer le transistor. Quand vous passerez en émission, la base du transistor sera mise à la masse, le transistor se saturera et vous pourrez exploiter ceci soit pour commander un relais soit votre amplificateur.

**L'amplificateur opérationnel:**

Le symbole standard de l'amplificateur opérationnel est illustré à la figure (1.19), il possède deux bornes à l'entrée : l'entrée avec inversion (-) et l'entrée sans inversion (+), en plus d'une borne pour la sortie. L'Ampli-op type requiert deux tensions d'alimentation cc, une positive et l'autre négative. Habituellement, et ce pour simplifier, les bornes de tensions cc n'apparaissent pas sur le symbole schématique, mais on doit toujours considérer qu'elles existent en réalité.



**Figure (1.19) :** Symbole électrique d'un amplificateur opérationnel (AOP)

Les premiers amplificateurs opérationnels (AOP) furent d'abord utilisés pour exécuter des opérations mathématiques telles que l'addition, la soustraction, la multiplication et la division, d'où le terme opérationnel. Les composants d'alors fonctionnaient à partir de tubes à vide électroniques et travaillaient sous des tensions élevées. Les Ampli-op d'aujourd'hui sont des circuits intégrés (CI) linéaire fiables et peu dispendieux qui utilisent des tensions d'alimentation cc relativement faible.

**1.4 Electronique numérique:**

Le circuit intégré (CI) (ou la puce électronique) est un composant électronique reproduisant une ou plusieurs fonctions électroniques plus ou moins complexes, intégrant souvent plusieurs types de composants électroniques de base dans un volume réduit, rendant le circuit facile à mettre en œuvre.

- 1958:Premier CI (Texas / Kilby) fin 58 / 5 composants / Ge / Vacances 1959 : Transistor Planaire par Hoerni (CH) Fairchild
- 1960 : Premier vrai circuit intégré moderne par Noyce
- 1961 : Fabrication à grande échelle (10\* +chers que discrets)

Il existe une très grande variété de ces composants divisés en deux grandes catégories: analogique et numérique.

### **1.4.1 Le circuit intégré numérique:**

Les circuits intégrés numériques les plus simples sont des portes logiques simples (et, ou, non) figure (1.22), les plus compliqués sont les microprocesseurs et les plus denses sont les mémoires. On trouve de nombreux circuits intégrés dédiés à des applications spécifiques (ASIC pour *Application Specific Integrated Circuit*), notamment pour le traitement du signal (traitement d'image, compression vidéo...) on parle alors de DSP (pour *Digital Signal Processor*). Une famille importante de circuits intégrés est celle des composants de logique programmable (FPGA, CPLD). Ces composants sont amenés à remplacer les portes logiques simples en raison de leur grande densité d'intégration.

#### **1.4.1.1 Apparence**

Les circuits intégrés se présentent généralement sous la forme de boîtiers pleins rectangulaires, noirs, équipés sur un ou plusieurs côtés voire sur une face, de broches/pattes/pins permettant d'établir les connexions électrique avec l'extérieur du boîtier. Ces composants sont brasés, (soudé, terme impropre) sur un circuit imprimé, ou enfichés, à des fins de démontage, dans des supports eux même brasés sur un circuit imprimé figure (1.20).



**Figure (1.20) : circuit intégré CI**

#### **1.4.1.2 Composants internes:**

Un circuit intégré comprend sous des formes miniaturisées principalement des transistors, des diodes, des résistances, des condensateurs, plus rarement des inductances car elles sont plus difficilement miniaturisables.

### 1.4.1.3 Échelle d'intégration:

L'échelle d'intégration définit le nombre de portes par boîtier : **SSI** (*small scale integration*) petite : inférieur à 12 **MSI** (*medium*) moyenne : 12 à 99 **LSI** (*large*) grande : 100 à 9999 **VLSI** (*very large*) très grande : 10 000 à 99 999 **ULSI** (*ultra large*) ultra grande : 100 000 et plus

Ces distinctions ont peu à peu perdu leur utilité avec la croissance *exponentielle* du nombre de portes. Aujourd'hui plusieurs centaines de millions de transistors (plusieurs dizaines de millions de portes) représentent un chiffre *normal* (pour un microprocesseur ou un *circuit intégré graphique* haut de gamme). Afin de parvenir à de tels niveaux *conception* complexe est utilisé.

### 1.4.1.4.3 La technique de fabrication la plus courante:

La fabrication d'un circuit intégré est un procédé complexe dont la tendance est à se compliquer de plus en plus.

Le motif de base est le **transistor**, et ce sont ensuite les interconnexions métalliques entre les transistors qui réalisent la fonction particulière du circuit.

L'**aluminium** est souvent employé dans ce but, mais une technologie plus performante permet l'emploi du **cuivre**.

On utilise parfois du silicium poly cristallin, également conducteur, notamment pour la grille du transistor. La matière première de base habituellement utilisée pour fabriquer les circuits intégrés est le **silicium**. Néanmoins, d'autres matériaux sont parfois employés, comme le **germanium** ou l'**arséniure de gallium**. Le silicium est un **semi-conducteur** dans sa forme monocristalline. Ce **matériau** doit être pur à 99,99%.

On utilise parfois du silicium poly cristallin, également conducteur, notamment pour la grille du transistor. La matière première de base habituellement utilisée pour fabriquer les circuits intégrés est le **silicium**. Néanmoins, d'autres matériaux sont parfois employés, comme le **germanium** ou l'**arséniure de gallium**. Le silicium est un **semi-conducteur** dans sa forme monocristalline. Ce **matériau** doit être pur à 99,99%.

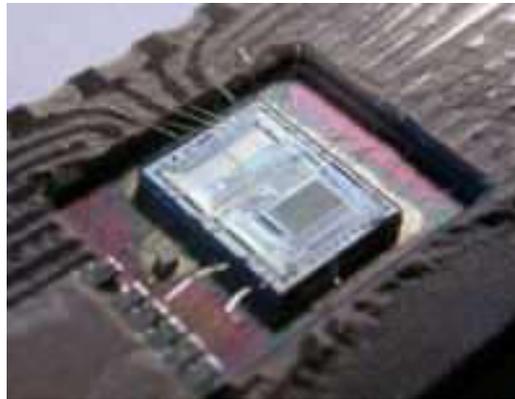
On fabrique d'abord un *barreau* cylindrique de silicium en le cristallisant très lentement. Ce barreau est ensuite découpé pour être utilisé sous forme de galettes de 500 µm d'épaisseur et ayant jusqu'à 300 mm de diamètre, appelé *wafer* (galette, en anglais). Un wafer

va supporter de nombreux circuits intégrés.

On fabrique d'abord un *barreau* cylindrique de silicium en le cristallisant très lentement. Ce barreau est ensuite découpé pour être utilisé sous forme de galettes de 500µm d'épaisseur et ayant jusqu'à 300 mm de diamètre, appelé *wafer* (galette, en anglais). Un wafer va supporter de nombreux circuits intégrés.

**Exemple:**

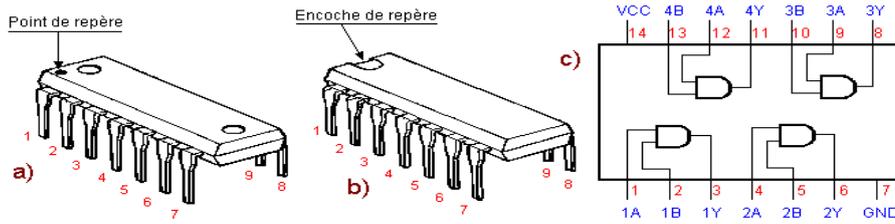
Le circuit intégré d'une puce Intel8742, un micro contrôleur 8-bit qui comprend un CPU fonctionnant à 12 MHz, 128 bites *mémoire vive*, une mémoire EPROM de 2048 bites, ainsi que les *Entrées-Sorties* dans le même composant figure (1.21)



**Figure (1.21) :** circuit intégré numérique : micro contrôleur Intel8742

**1.4.2 Circuit intégré logique:**

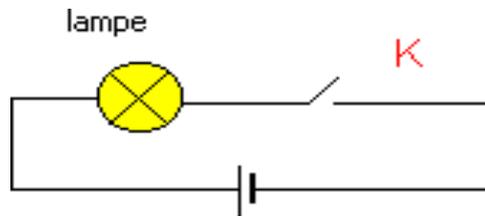
- 1950-1961:DL/RTL (composants discrets ) 1961 FET « industriel »
- 1961-70 : RTL intégrée
- 1962 : ECL / CML (1968 MECLIII)
- 1962: SUHL/9000/TTL (Texas)
- 1963 : CMOS (labo - 10µm) « Internet » : 4 machines 1967 : PMOS, NMOS puis CMOS



**Figure (1.22) :** circuit intégré logique

**La logique booléenne :**

Voici un schéma assez simple. Il représente un ampoule électrique alimentée par une batterie par l'intermédiaire d'un contact k. Ce contact peut être soit ouvert, soit fermé, on dira qu'il prend pour valeur 0 (ouvert) ou 1 (fermé) figure(1.23).



**Figure (1.23) :** circuit logique simple

Sans être devin, il est évident que si  $k=1$  l'ampoule éclaire et si  $k = 0$ , l'ampoule ne brille pas. On peut en déduire un tableau qui va synthétiser cela et nous donner l'état de la sortie en fonction de l'état de l'entrée. Il s'appellera table de vérité.

$k$ : est la variable, 0 si ouvert et 1 si fermé  $S$ : sera l'état de l'ampoule, 1 si elle éclaire, 0 si elle n'éclaire pas. C'est un exemple volontairement simpliste tableau(1.1).

Variable k	sortie
0	0
1	1

**Tableau (1.1) :** table de vérité

1.4.3 Le circuit intégré analogique:

Les composants les plus simples peuvent être de simples **transistors** encapsulés les uns à côté des autres sans liaison entre eux, jusqu'à des assemblages réunissant toutes les fonctions requises pour le fonctionnement d'un appareil dont il est le seul composant. Les

amplificateurs opérationnels sont des représentants de moyenne complexité de cette grande famille où l'on retrouve aussi des composants réservés à l'électronique haute fréquence et de télécommunication.

Un exemple de circuit analogique : l'amplificateur opérationnel LM741 figure (1.24)



**Figure (1.24) : LM741**

**1.5 Bilan de l'évolution**

1. Processeurs : PCB 4004, 100KHz ➡ 2.5 GHz Pentium IV : 42.10<sup>6</sup> TMS (0,18µm)
2. Mémoires : Aujourd'hui : 256MbitsSDRAM(Accès page 6ns) 16Mbits SRAM (7ns) 1Gbit (dém. NEC) 0,2µm Capa 28.5fF
3. PLD/FPGA : 4004 = 2250 / Pentium IV = 47.000.000 Transistors  
Playstation II : 11.000.000Transistors

APEX200K1500C = 100 Millions de transistors! IO réparties / 1Km d'interconnexions/5cm<sup>2</sup>.

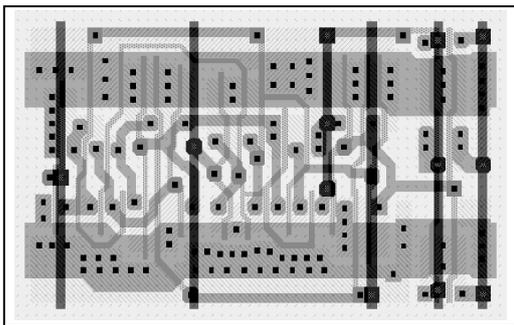
Feature	EP20K300E	EP20K400	EP20K400E	EP20K600E	EP20K1000E	EP20K1500E
Maximum system gates	728,000	1,052,000	1,052,000	1,537,000	1,772,000	2,392,000
Typical gates	300,000	400,000	400,000	600,000	1,000,000	1,500,000
LEs	11,520	16,640	16,640	24,320	38,400	51,840
ESBs	72	104	104	152	160	216
Maximum RAM bits	147,456	212,992	212,992	311,296	327,680	442,368
Maximum macrocells	1,152	1,664	1,664	2,432	2,560	3,456
Maximum user I/O pins	408	502	488	588	708	808

**Tableau (1.2) : Evolution PLD/FPGA**

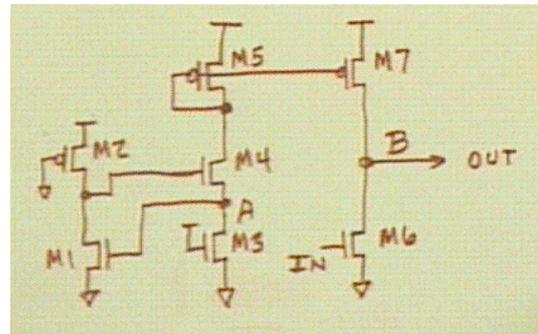
**5. Méthodes de CAO**

- 1950 : Premier système graphique (MIT)
- 1969 : SPICE(Berkeley)
- 1970 : Dessin des masques à la main

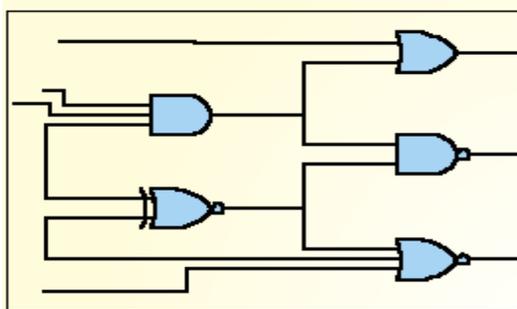
- 1980 : Compilation de silicium (portes vers masques)
- 1985 : Synthèse logique / Naissance de VHDL
- 1990 : Synthèse de haut niveau.
- 1995: Synthèse architecturale Methodologie ASIC : juste par conception.
- 2000 : Langage multi-disciplines industriel : VHDL-AMS Analogique / Numérique / Autres (MOEMS)



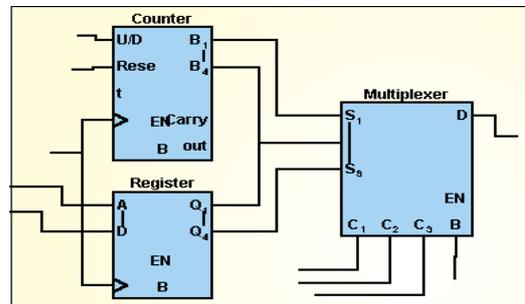
**Figure (1.25) : Conception physique**



**Figure (1.26) : Conception structurelle**



**Figure (1.27) : Conception logique**



**Figure (1.28) : Conception fonctionnelle**

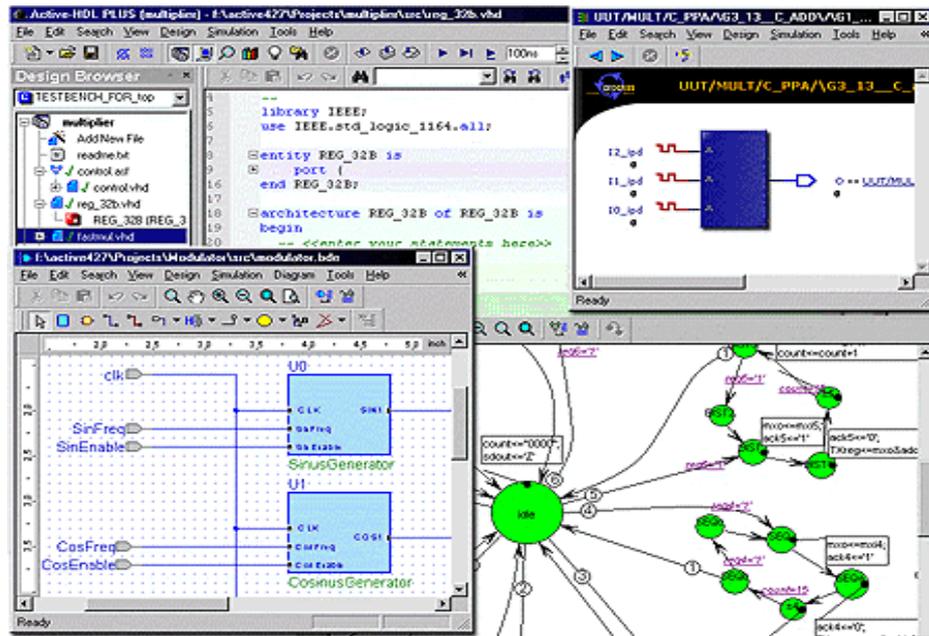


Figure (1.29) : Conception algorithmique et synthèse de haut niveau

## 6. Programmation:

- 1950 : Invention de l'assembleur
- 1951 : Invention du premier compilateur
- 1957 : Création du premier langage universel, le FORTRAN
- 1958 : LISP (LIST Processing)
- 1960 : Publication du CdC du COBOL faisant disparaître l'ALGOL.
- 1964 : BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)
- 1964: IBM crée PL/I (Programming Language I).
- 1964 : Création du code ASCII (normalisé en1966).
- 1968 : PASCAL par Niklaus Wirth.
- 1970 : Ken Thompson crée le B interprété (en référence au BCPL).
- 1971 : Dennis Ritchie fait évoluer B vers C(compilé)
- 1972 : Premier langage orienté objet, Small Talk
- 1973 : Portage de UNIX en C
- 1979 : ADA (Jean Ichbiah) choisi par le Pentagone

- 1983 : C++ de Bjarn Stroustrup
- 1995 :JAVA

## **1.6 Les métiers de l'électronique**

- Plusieurs vues possibles:

1. Le domaine applicatif
2. Le domaine technique
3. L'expertise
4. La fonction

### **1.6.1 Domaines d'application**

- Automobile (équipementiers, appareils de service...)
- Biomédical (scanners, pompes,...)
- Télécom (portables, équipements...)
- Aéronautique (Rafale, A380, Ariane, satellites ...)
- Transports (bateaux,...)
- Autres (dont défense) (électroménager, sécurité, audiovisuel, terminaux, réseaux, instrumentation...)

### **1.6.2 Domaines techniques**

- Matériau, physique du solide
- Electronique signal (Analogique, numérique, mixte,)
- Modélisation, simulation (prototy page virtuel)
- Très basse tension /consommation
- Haut tension
- Capteurs
- Radio fréquences, Hyper fréquences

### **1.6.3 L'expertise**

- Gestion et suivi des procédés
- Concepteur de cellules (ana, num – nouvelle électronique)
- Concepteur de circuits intégrés (full custom, ASICs)
- Concepteur de composants programmables
- Concepteur de cartes
- Etudes d'industrialisation (du prototype au produit)
- Industriels, Production, Qualité, Maintenance
- Communication, Commercial, Acheteur
- Stratégie commerciale et industrielle

### **1.6.4 La fonction technique**

- Chercheur amont (organismes, universités ...)
- Chercheur de R&D (quasiment toujours plus D que R)
- Concepteur analogique ou numérique
- Concepteur sous-système et systèmes
- Chef de groupe (coordination, gestion de terrain)
- Architecte (expertise technique, culture, veille...)
- Chef de projet (prévisions, planning, ressources...)
- Formateur / Consultant /Expert

### **1.7 Conclusion**

L'électronique est une technique, dite "fluide", qui connaît ses propres développements scientifiques et technologiques, et dont les implications permettent des progrès conséquents dans d'autres branches industrielles.