



*Semestre: 4-SC\_ST*

*Unité d'enseignement: UED 2.2*

Matière 1: **Technologie des composants électroniques I**

VHS: 22h30 (Cours: 1h30), Crédits: 1, Coefficient: 1

- **Objectifs de l'enseignement:**

Passer en revue les composants électroniques passifs et actifs de base en examinant brièvement leurs propriétés technologiques. Connaître plus spécifiquement leurs aspects physiques, leurs symboles, leurs applications ainsi que leurs pannes courantes.

- **Connaissances préalables recommandées**

Electricité de base.

- **Contenu de la matière :**

*Il n'est pas question dans cette matière de démontrer ou expliquer "dans le détail" ni une formule ni une technologie de fabrication donnée. Il s'agit plutôt de faire découvrir "de visu" à l'étudiant le maximum de composants et leur présenter de manière simplifiée leurs caractéristiques principales ainsi que leurs utilisations.*

# Contenu

Chapitre 1 : Les résistances

Chapitre 2 : Les condensateurs

Chapitre 3 : Les selfs

Chapitre 4 : Les Diodes

Chapitre 5 : Les transistors bipolaires

Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques

Chapitre 7 : Les circuits analogiques

**Mode d'évaluation :**

Examen final : 100%.

# Références bibliographiques

- 1- R. Besson, Electronique à transistors et à circuits intégrés, Technique et Vulgarisation, 1979.
  - 2- R. Besson, Technologie des composants électroniques, Editions Radio.
  - 3- M. Archambault, Formation pratique à l'électronique, Ed. Techniques et -Scientifiques Françaises, 2007.
  - 4- B. Woollard, Apprivoiser les composants, Dunod, 1997.
  - 5- P. Maye, Aide-mémoire des composants électroniques, Dunod, 2010.
  - 6- P. Mayeux, Apprendre l'électronique par l'expérimentation et la simulation, ETSF, 2006.
  - 7- R. Mallard, L'électronique pour les débutants, Elektor, 2012.
- <https://www.apprendre-en-ligne.net/crypto/passecret/resistances.pdf>  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance\\_\(%C3%A9lectricit%C3%A9\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance_(%C3%A9lectricit%C3%A9))  
[www.gcif.net](http://www.gcif.net)

# Références bibliographiques

<file:///C:/Users/Asus/Downloads/TECHNOLOGIE%20DES%20RESISTANCES.pdf>

<http://www.atlence.com>

[http://joubert.marc.free.fr/1sti/technologie/pres\\_condensateur.pdf](http://joubert.marc.free.fr/1sti/technologie/pres_condensateur.pdf)

[http://electroniqueists.free.fr/ISTS2/Cours\\_en\\_section/02-Condensateur/Cours%20condensateur.pdf](http://electroniqueists.free.fr/ISTS2/Cours_en_section/02-Condensateur/Cours%20condensateur.pdf)

<https://docplayer.fr/77864113-Des-composants-pour-filtres-passifs.html>

<https://www.epsic.ch/cours/electronique/techn99/elnthcomp/CMPTHINDUCT.html>

<https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM24/RM24B/RM24Bo1.HTM>

<http://www.courstechinfo.be/Hard/Self.html>

[http://www.fstbm.ac.ma/departement/physique/docs/YWdvdXJpYW5l/Technologies\\_Circuit\\_Integres.pdf](http://www.fstbm.ac.ma/departement/physique/docs/YWdvdXJpYW5l/Technologies_Circuit_Integres.pdf)

<https://www.ni.com/en-lb/innovations/white-papers/06/basic-analog-circuits.html>

<https://www.abcelectronique.com/composants/boitiers/index.phtml>

[https://www.sonelec-musique.com/electronique\\_theorie\\_circuit\\_integre.html](https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_circuit_integre.html)

**Mode d'évaluation :**

Examen final : 100%.

# Chapitre 1 : Les Résistances



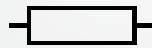
## 1. Qu'est-ce qu'une résistance

C'est un **composant électronique** ou **électrique** dont la principale fonction est **d'opposer résistance** à la circulation du courant électrique.

Notation = R,

Unité = le Ohm ( $\Omega$ ),

Symboles:



Des résistances sont réalisées de manière à **approcher de façon très satisfaisante la loi d'Ohm** dans une large plage d'utilisation.

## 2. Technologie des résistances

On distingue les résistances fixes et les résistances variables.

### 2. 1. Résistances fixes, de plusieurs types:



➤ Résistances agglomérées, ne sont plus utilisées:

- ✓ ✓ constituées de bâtonnets de matière résistante moulée à base de carbone.
- ✓ mauvaise stabilité
- ✓ coefficient de température très variable.

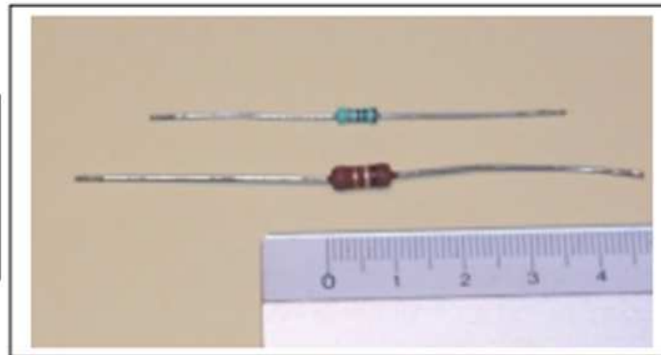
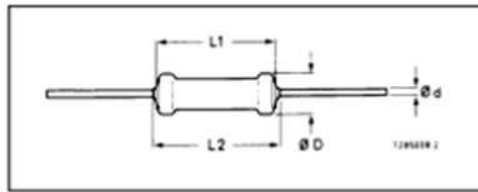






## ➤ Résistances à couche métallique: les résistances les plus utilisées.

- ✓ Une mince couche de métal **résistante** (alliage chrome-nickel) est déposée sur un **cylindre en céramique**.
- ✓ La couche est recouverte d'une peinture **protectrice**.
- ✓ Contacts réalisés soit par **capsules** métalliques, soit directement par **fil** de connexion.
- ✓ Tension maximum de 200 V à 350 V.



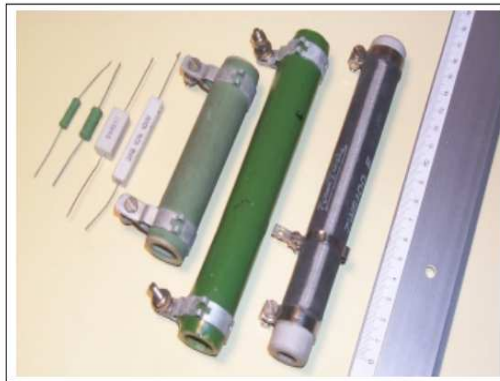
Les valeurs courantes vont de 1 ohm à 22 Mohms. La dissipation varie de 1/8 Watt à 3 Watts. Le coefficient de température est positif ( $0,1 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ).

➤ Résistances de précision: utilisées généralement dans les appareils de mesure avec de hautes précisions.

➤ Résistance spéciales pour hautes tension:

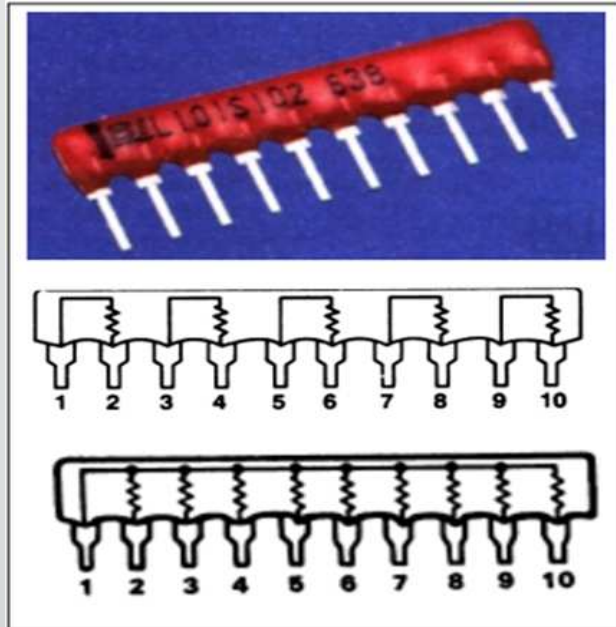
- ✓ Le support diélectrique rigide et la peinture sont pris en compte pour supporter les hautes tensions.
- ✓ Valeurs courantes:  $0,1 \Omega$  à  $100 M\Omega$ .

➤ Résistances bobinées: les plus utilisées, après les résistance à couche métallique



- **Résistances bobinées isolées à boîtier métallique** : Il s'agit d'une résistance bobinée qui est placée dans un boîtier métallique et noyé dans celui-ci à l'aide d'un ciment réfractaire. Le corps en métal peut être fixé sur un refroidisseur ou simplement sur le châssis de l'équipement. Cela permet de dissiper la puissance par l'intermédiaire du châssis ou d'un refroidisseur. Sur la photo ci-dessous il y a des résistances de 5, 10, 25 et 50 Watts Valeurs courantes de 0,1 à 100 kohms, dissipation de 1 à 100 Watts.

- ✓ Un fil résistant est enroulé sur un tube en céramique.
- ✓ L'ensemble est recouvert d'un vernis pour protection.
- ✓ Les alliages résistants utilisés sont: Nickel-Chrome, Nickel-fer.....
- ✓ Valeurs courantes:  $0,1$  à  $22 k\Omega$ .



### ➤ Résistances en film épais:

- ✓ Une couche de nickel-chrome est déposée par métallisation sur de la céramique.
  - ✓ Se trouvent en boîtier SIL (boîtier de circuit intégré présentant des pattes sur un seul côté),
  - ✓ Comportent n résistances soit isolées les unes des autres, soit ayant un point commun.
  - ✓ Valeurs de  $10\Omega$  à  $1\text{ M}\Omega$

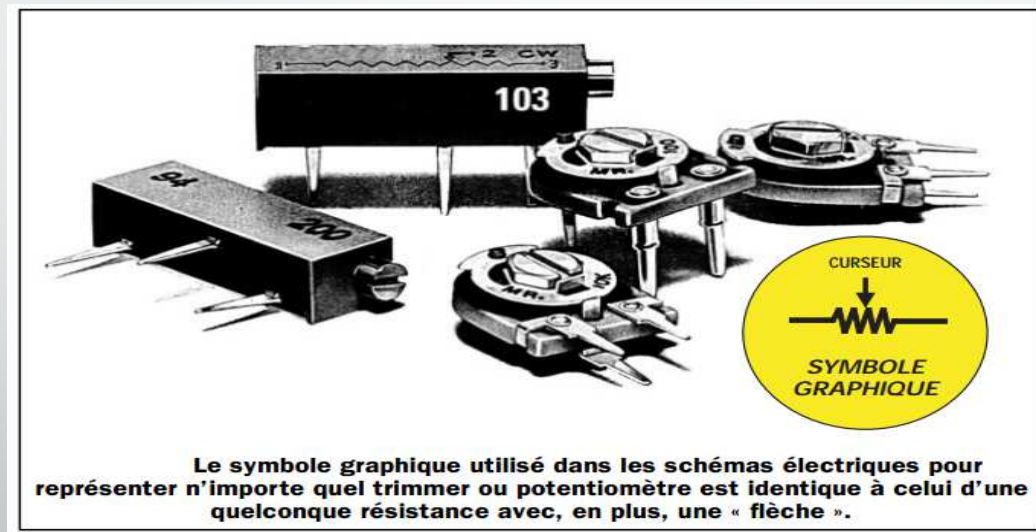
### ➤ Résistances $0\Omega$

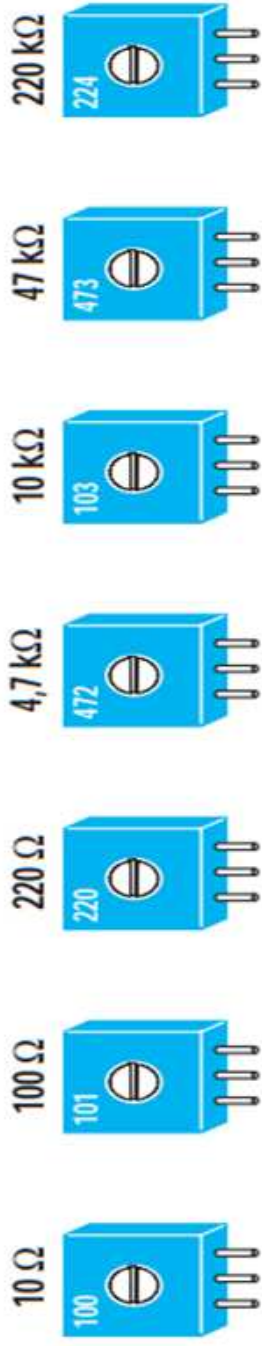
- ✓ Résistance voisine de  $0\Omega$ .
- ✓ Utilisée pour éviter de mettre un strap (un bout de fil) pour relier deux points d'un circuit imprimé par exemple.

## 2. 2. Résistances variables

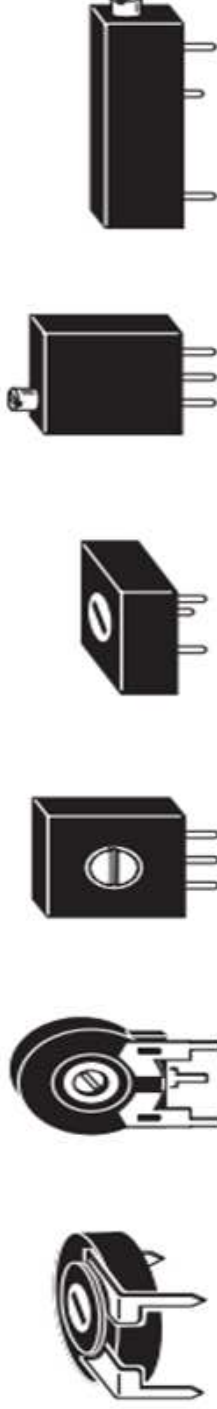
### Trimmers (résistances ajustables)

- ✓ Il s'agit de résistances qui peuvent fournir **de façon graduelle** une valeur ohmique variant de  $0\Omega$  jusqu'à une valeur maximum déterminée.
- ✓ La flèche centrale dans le symbole est dite **curseur**.





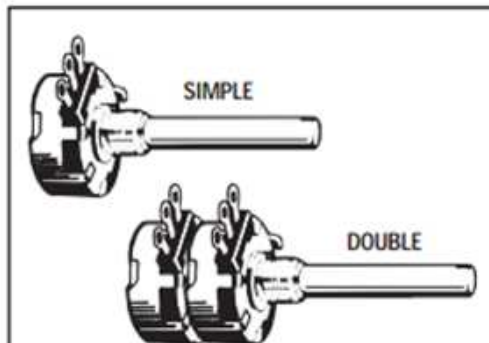
Sur presque tous les trimmers, la valeur ohmique est indiquée par 3 chiffres. Les deux premiers sont significatifs, tandis que le troisième indique combien de « zéro » il faut ajouter aux deux premiers. Si 100 est inscrit sur le corps, la valeur du trimmer est de 10  $\Omega$ . S'il est marqué 101, la valeur du trimmer est de 100  $\Omega$ , s'il est marqué 472, la valeur est 4,7 k $\Omega$ .



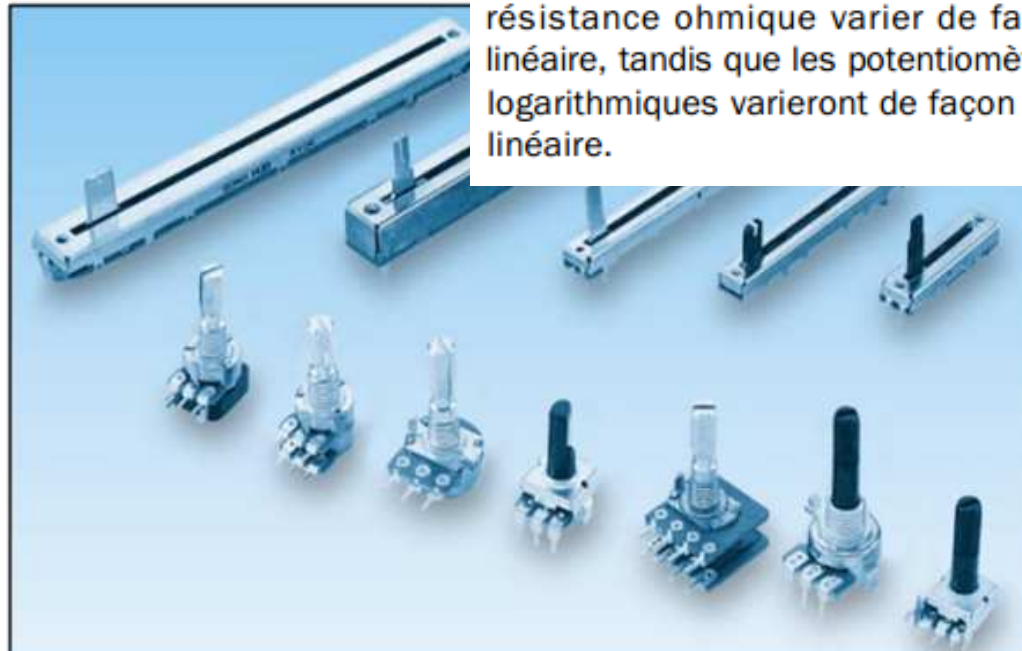
On peut trouver des trimmers de formes et de dimensions différentes, avec des sorties disposées de façon à pouvoir les monter sur un circuit imprimé à la verticale ou à l'horizontale.

# Potentiomètres

Les potentiomètres ont la même fonction que les trimmers. Ils ne se différencient de ceux-ci que par leur curseur relié à un axe sur lequel il est possible de fixer un bouton .



Comme vous le voyez sur le dessin, les potentiomètres peuvent être simples ou doubles.



Sur cette photo vous pouvez voir les différentes formes de potentiomètres à glissière et rotatifs. Les potentiomètres peuvent être de type « linéaire » ou « logarithmique ».

Les potentiomètres linéaires présentent la caractéristique de voir leur résistance ohmique varier de façon linéaire, tandis que les potentiomètres logarithmiques varieront de façon non linéaire.

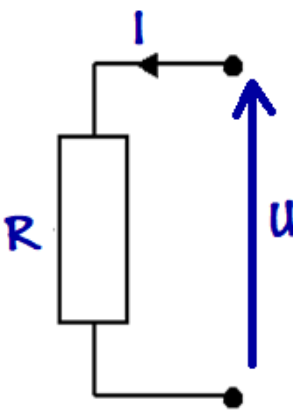
### 3. Loi d'Ohm

C'est une loi physique qui permet de relier l'intensité d'un courant électrique qui traverse un dipôle à la tension à ses bornes.

$U = R \cdot I$   
(V) (Ω) (A)

↓

$I = U/R$  ou  $R = U/I$



The diagram shows a rectangular resistor labeled 'R' connected in a circuit. A blue arrow labeled 'I' indicates the current flowing from right to left through the resistor. A blue arrow labeled 'U' indicates the voltage across the resistor, pointing upwards from the bottom terminal to the top terminal.

## 4. Effet Joule

- ✓ L'effet Joule est **un effet thermique** qui se produit lors du passage du courant électrique dans un conducteur.
- ✓ Il se manifeste par une augmentation de l'énergie interne du conducteur et généralement de sa température.
- ✓ L'énergie dissipée **sous forme de chaleur** entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$  par un dipôle de résistance  $R$  traversé par un courant d'intensité  $i$  s'écrit:

- ✓ La puissance moyenne est:

$$P = \frac{W}{t_2 - t_1} = \frac{R}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (\text{en W})$$

- Cas d'un courant périodique:

$$P = RI_{eff}^2 \quad I_{eff} = \text{valeur efficace de l'intensité du courant}$$

- Cas d'un courant continu:

$$P = RI^2$$

- Si loi d'Ohm vérifiée:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R}$$

$$W = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt$$

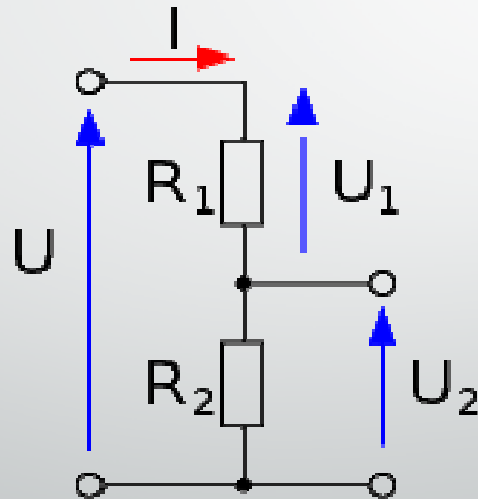
- $W$  en joules (J),
- $R$  en ohms ( $\Omega$ ),
- $i$  en ampères (A),
- $t$  en secondes (s)



## 4. Diviseur de tension

- ✓ C'est un montage simple qui permet **de diviser une tension d'entrée**.
- ✓ Un circuit constitué de deux résistances en série par exemple est un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération.
- ✓ Il est couramment utilisé pour créer une tension de référence ou comme un **atténuateur de signal** à basse fréquence.

### Principe

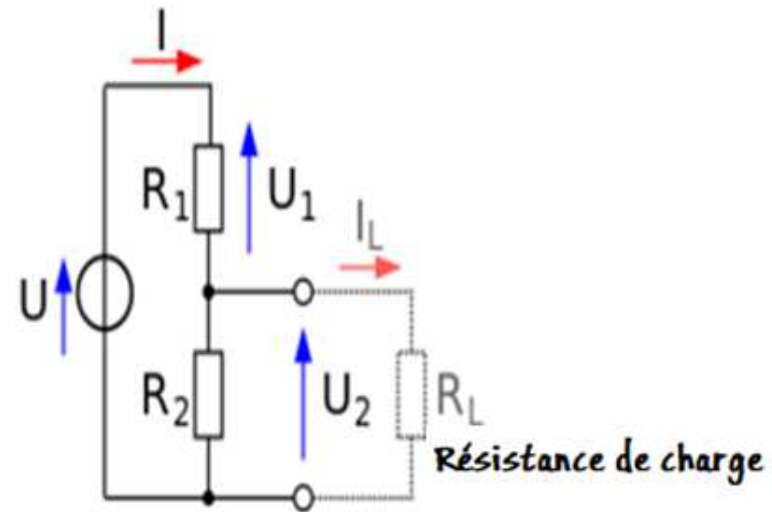


$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

## Diviseur de tension chargé

Montrer que  $U_2$  peut se mettre sous la forme:

$$U_2 = U \frac{R_2 R_L}{R_1 R_2 + R_1 R_L + R_2 R_L}$$

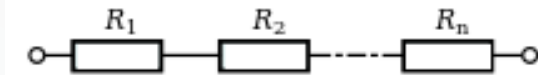


## 5. Association de résistances

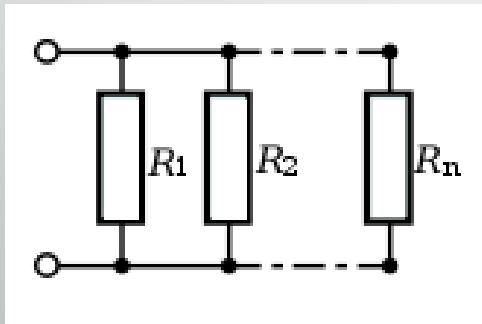
### Association série

La résistance équivalente est égale à la somme des résistances.

$$R_{eq} = \sum_i R_i$$



### Association parallèle



$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

L'inverse de la résistance équivalente est égal à la somme des inverses des Résistances.

## 4. Caractéristiques d'une résistance

Résistance nominale (en  $\Omega$ ): Valeur indiquée **par le constructeur**, est représenté soit en clair soit en code de couleurs.

Tolérance (en %): Elle détermine **l'écart maximal** entre la résistance nominale et la résistance réelle du composant.

Puissance nominale (en W): C'est la puissance normale **dissipée** par une résistance à une **température donnée**.

Stabilité: Elle détermine le caractère **'vieillessement'** d'une résistance. C'est la variation relative de la résistance effective de l'élément **avec le temps**.

Coefficient de température (en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ): C'est la **sensibilité** de la résistance par rapport à la **température**. Il est exprimé par:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

- **R** = la valeur de la résistance en ohm
- **R<sub>0</sub>** = la valeur de la résistance à 0°C en ohm
- **$\alpha$**  = le coefficient en température en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- **T** = la température en  $^{\circ}\text{C}$

## 5. Lecture de la valeur d'une résistance et code des couleurs

- ✓ Quand la valeur d'une résistance n'est pas indiquée en clair, celle-ci se présente avec des **anneaux** (ou **bagues**) **en couleur**.
  - ✓ Chaque couleur correspond à un chiffre.
- ✓ La correspondance couleur des anneaux/chiffres est appelée **code des couleurs**;
  - ✓ Ce code donne **la valeur** de la résistance ainsi que sa **tolérance**.



Comment déchiffrer une résistance (c.à.d. **trouver** sa valeur) ?

D'abord, placer **à droite** l'anneau **doré** ou **argenté** (sinon l'anneau **le plus large**) de la résistance.



## Trois types de résistances: les résistances à 4, 5 et 6 anneaux.



### 1. Résistances à 4 anneaux

- Les deux premiers anneaux donnent les **chiffres significatifs** (le premier donne la dizaine et le second l'unité).
- Le troisième donne le **multiplicateur** (la puissance de 10 qu'il faut multiplier avec les chiffres significatifs).
- Le quatrième la **tolérance** (les incertitudes sur la valeur réelle de la résistance donnée par le constructeur).



### 2. Résistances à 5 anneaux

- Les trois premiers anneaux donnent les **chiffres significatifs**.
- Le quatrième donne le **multiplicateur** (la puissance de 10 qu'il faut multiplier avec les chiffres significatifs).
- Le cinquième la **tolérance** (les incertitudes sur la valeur réelle de la résistance donnée par le constructeur).



### 3. Résistances à 6 anneaux

- Les quatre premiers anneaux ont la même signification que les résistances à 5 anneaux (voir ci-dessus).
- Le sixième est un **coefficient de température** (variation de la conductivité électrique avec la température).

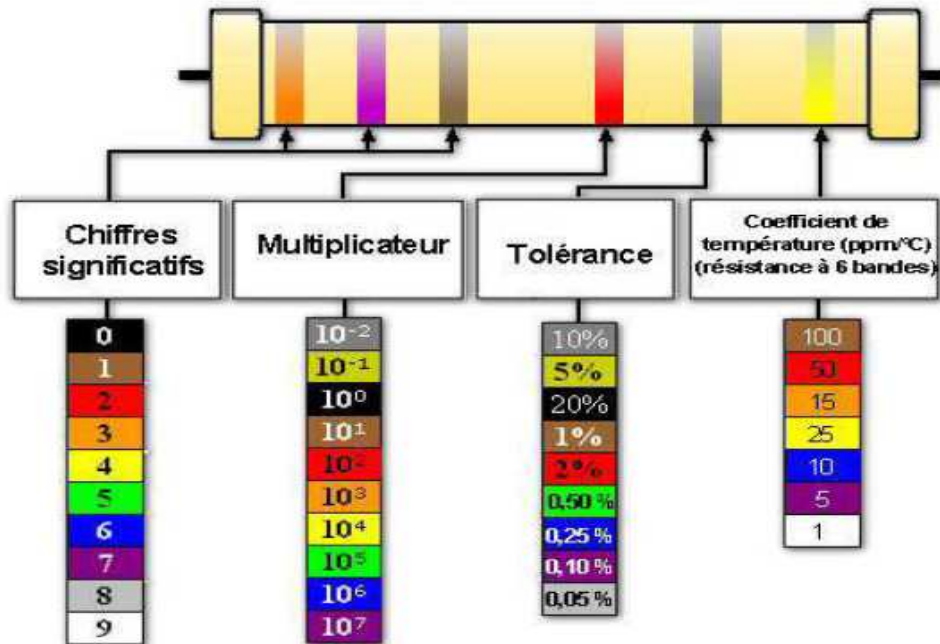


# Exemple



Premier chiffre significatif : jaune : 4  
Deuxième chiffre significatif : vert : 5  
Multiplicateur : orange : 3  
Tolérance : dorée : 5 %

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



© www.atlence.com

Remarque : les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> anneaux ne sont pas toujours présents.



## Astuce

Un moyen mnémotechnique pour se rappeler du code des couleurs est de retenir l'une des deux phrases suivantes :

**Ne Manger Rien Ou Je Vous Brûle Votre Grande Barbe**

ou

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

**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)

La **place des mots** dans la phrase indique le chiffre correspondant à la **couleur de l'anneau**.





*« Dieu crée, la nature nourrit et la science orne »*

Proverbe danois ; Le dictionnaire des proverbes et adages danois (1757)

# Chapitre 2 : Les condensateurs



# 1. Présentation/Symbole/Capacité/Propriété

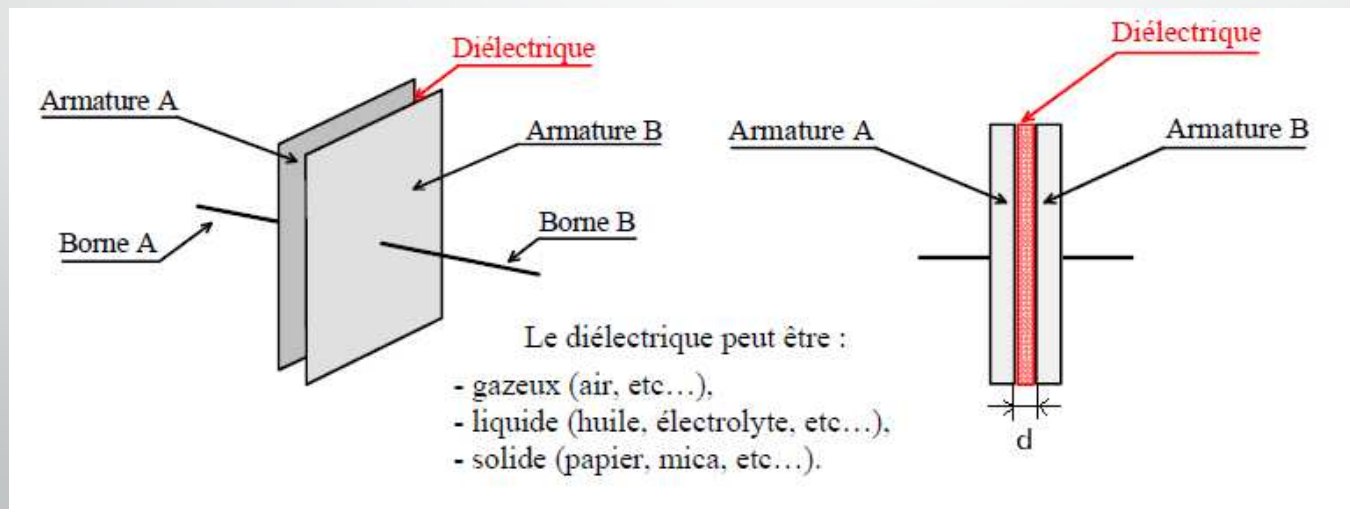


un condensateur est une **couche diélectrique** (souvent **isolante**) mise en sandwich entre **deux armatures**. L'ensemble est relié à un circuit par **deux bornes**.



L'aspect extérieur d'un condensateur est tributaire:

- ✓ des **applications** pour lesquelles il a été destiné,
- ✓ de sa **technologie**,



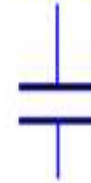


Un condensateur se caractérise par sa **capacité** qui s'exprime en **Farad (F)**.

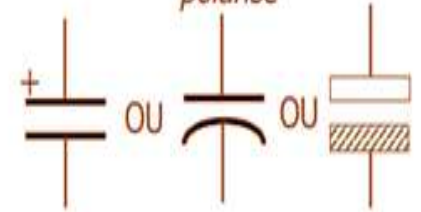
Son symbole prend **plusieurs** formes:



Condensateur  
non polarisé



Condensateur  
polarisé



La capacité d'un condensateur est fonction de:

- la surface des armatures,
- la nature du diélectrique,
- L'épaisseur du diélectrique,

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

$\epsilon_0$  : Permittivité du vide ( $8,82 \cdot 10^{-12}$  F/m)

$\epsilon_r$  : Permittivité relative du matériau

$S$  : Surface des armatures ( $m^2$ )

$d$  : Épaisseur du diélectrique (m)



Un condensateur est connu par principale propriété d'être un **'réservoir' d'énergie**; c.à.d. si on le branche à une alimentation, il **se 'charge'**.

## 2. Paramètres technologiques d'un condensateur

### Comment choisir un condensateur?

Ce choix est tributaire des paramètres suivants:

- ✓ **Capacité nominale:** valeur pour laquelle le condensateur a été fabriqué
- ✓ **Tension de service:** tension à ne pas dépasser pour éviter sa destruction,
- ✓ **Type du diélectrique utilisé:** le type fixe le domaine d'application.

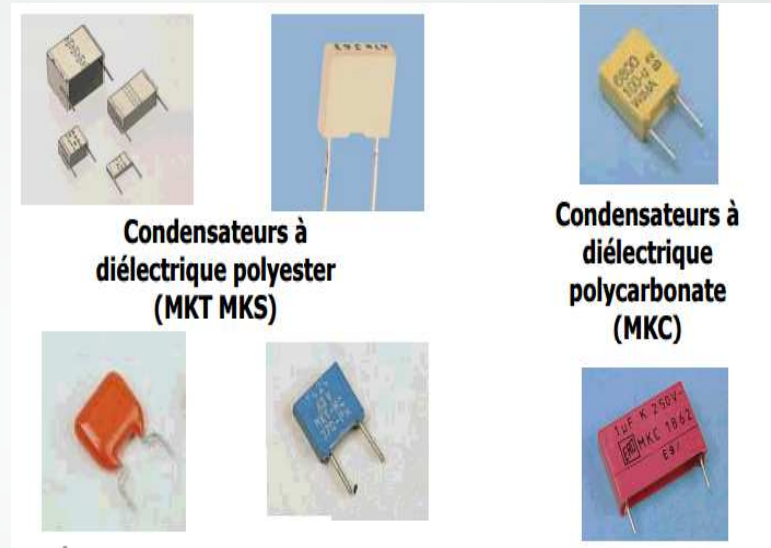
## 3. Technologie des condensateurs

### 3.1. Condensateur à diélectrique plastique métallisé

#### Constitution

Les condensateurs utilisant **un film plastique comme diélectrique** sont **très répandus** et possèdent des caractéristiques qui dépendent de la matière utilisée. Le film peut être utilisé conjointement **à deux bandes métalliques** ou être **lui-même recouvert d'une métallisation**.

Exemple de matériaux  
couramment  
utilisés comme diélectriques:



Utilisation:

- ✓ Ces condensateurs sont couramment utilisés quand une **certaine précision est requise**:
  - ✓ Se comportent bien **en haute et en basse fréquence**,
  - ✓ Sont **plus stables en température**.

Gamme de valeurs: 1nF à 10  $\mu$ F

## 3. 2. Condensateur à diélectrique céramique

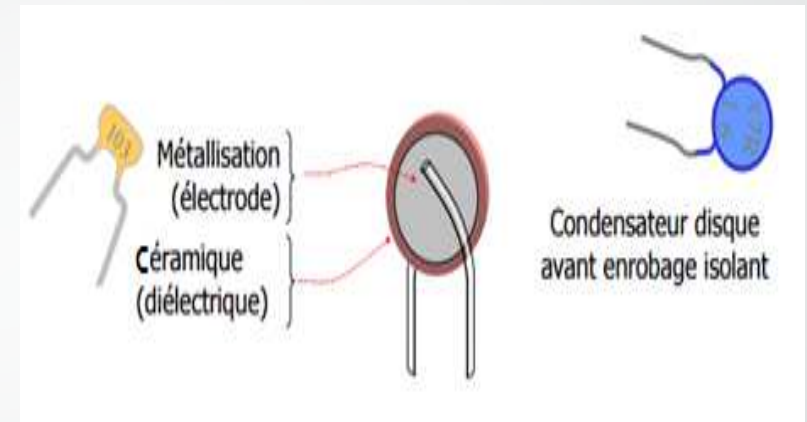
### Constitution

Les céramiques à **permittivité relative très élevée** sont à la base de fabrication de ce type de condensateurs. Une pastille de céramique est ainsi couverte de deux électrodes pour les fabriquer.

### Utilisation

- ✓ Dans les applications où **une forte valeur n'est pas requise**.
- ✓ Fonctionnement à **très haute fréquence**.
- ✓ Pour **couplage** (liaison, connexion,...) entre étages (suppression de la composante continue).
- ✓ Pour **découplage (inverse de couplage)** (de lignes d'alimentation, par exemple).

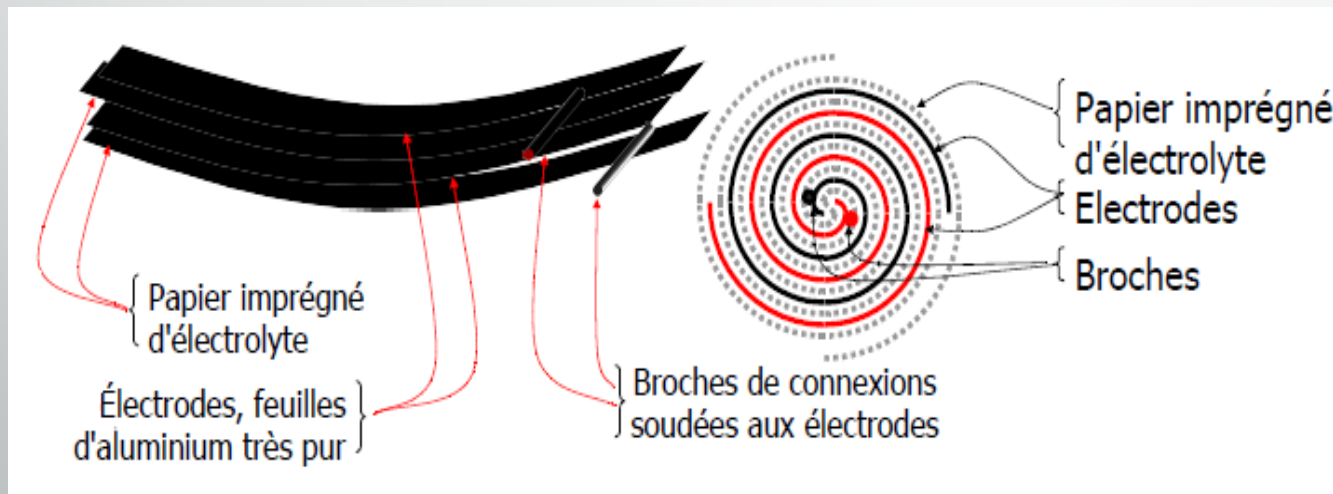
Gamme de valeurs: 1pF à 100nF



### 3. 3. Condensateurs électrolytiques aluminium

#### Constitution

- ✓ Ce type de condensateur est **polarisé**,  
✓ **L'alumine** forme le diélectrique
- ✓ Une **bande d'aluminium** gravée recouverte d'une couche d'alumine forme la borne positive.
- ✓ Une feuille de papier poreux imprégné d'un électrolyte et une feuille d'aluminium constituent le borne négative







Alimenter ce condensateur **en inverse**, provoque sa **destruction**.

## Utilisation

- ✓ Là où de **fortes valeurs de capacités** sont requises.
  - ✓ Temporisations **de longues durées**.
  - ✓ Circuits RC à **constante de temps élevée**.
  - ✓ Filtres **basses et très basses fréquences**.

Gamme de valeurs:  $1\mu\text{F}$  à  $10\text{mF}$

### 3. 4. Condensateurs électrolytiques tantale

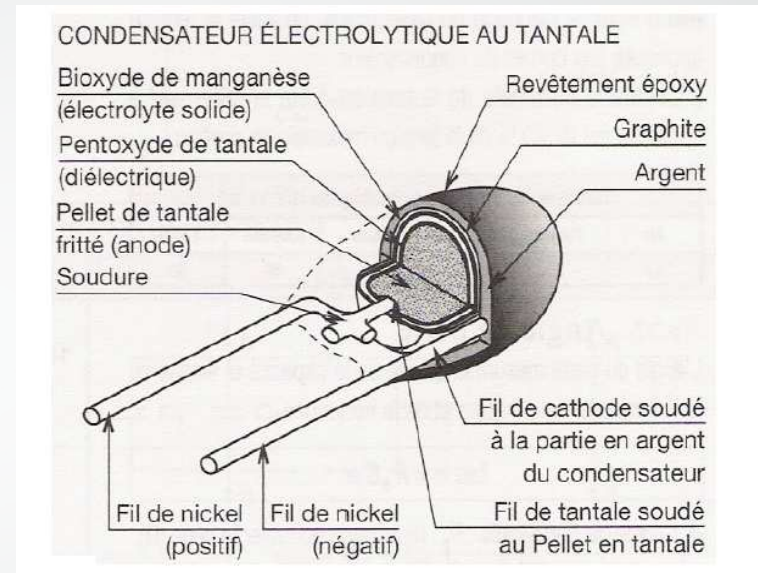
#### Constitution

- ✓ De nature **électrochimique**, ces condensateurs ont une **forte capacité** pour un **faible encombrement**.
- ✓ Une pastille de **tantale** forme la borne positive, ce qui leur confère une grande surface active.
- ✓ Un boîtier **en argent** constitue la borne négative.

#### Utilisation

- ✓ Pour un **meilleur comportement en fréquence** (par rapport aux électrolytes aluminium).
- ✓ Pour un **encombrement moindre**.

Gamme de valeurs: 0.1  $\mu\text{F}$  à 47  $\mu\text{F}$



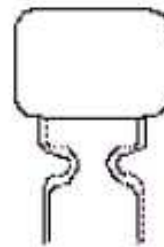
## 4. Types de condensateurs



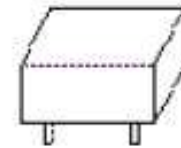
Ajustable  
1 à 100 pF



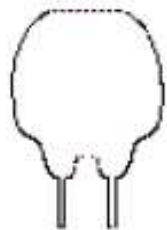
Céramique disque  
1 pF à 1 nF



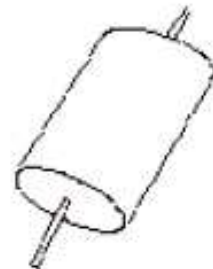
Céramique enrobée  
1 nF à 1  $\mu$ F



Plastique  
Mica  
Verre  
1 nF à 1  $\mu$ F



tantale goutte  
100 nF à 100  $\mu$ F



Papier  
1  $\mu$ F à 100  $\mu$ F

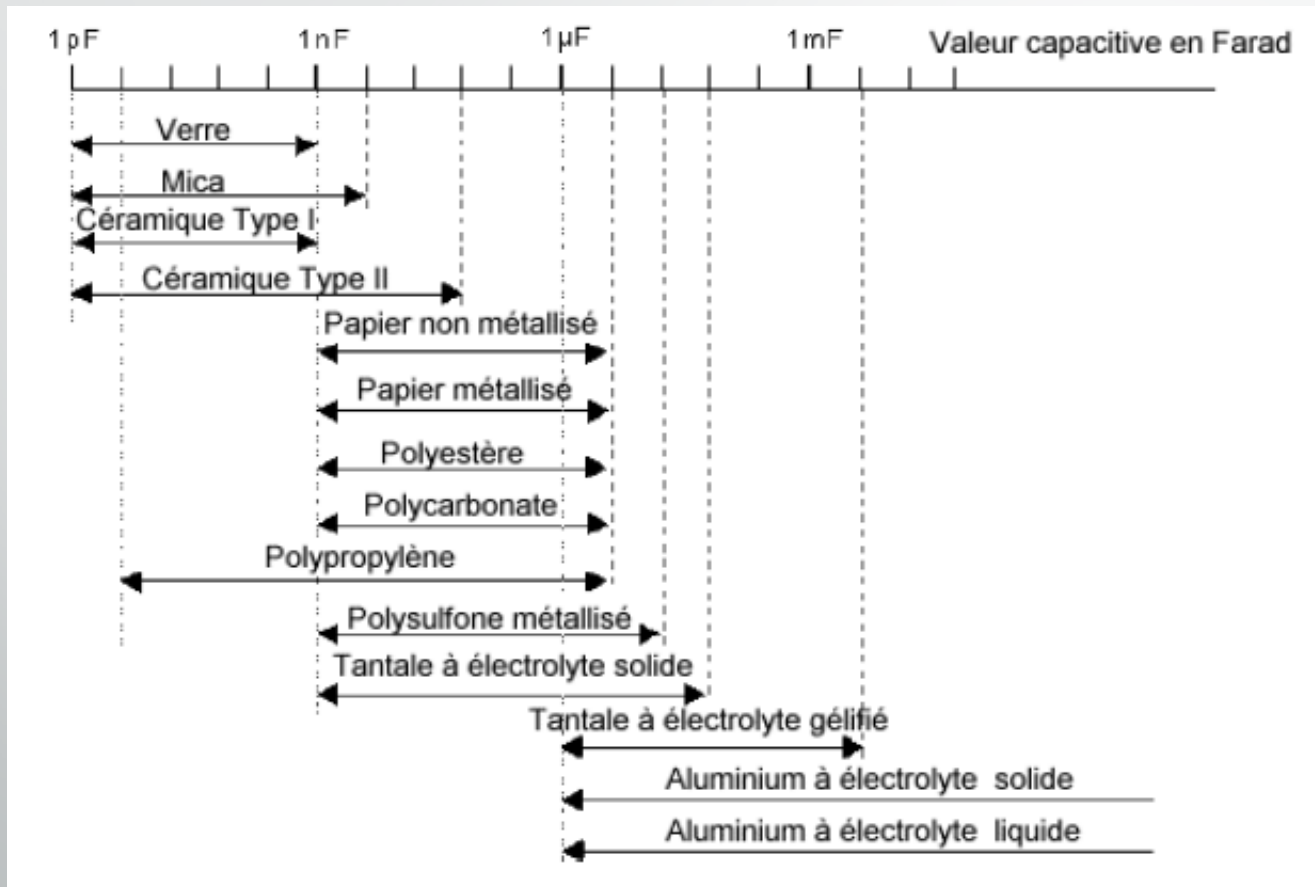


Electrolytique  
Aluminium ( axial )  
1  $\mu$ F à 4700  $\mu$ F



Electrolytique  
Aluminium ( radial )  
1  $\mu$ F à 4700  $\mu$ F

## 5. Plages des valeurs de capacités



## 6. Charge d'un condensateur à travers une résistance

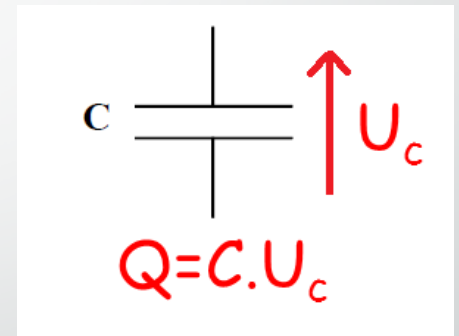
### 6.1. Quantité d'électricité emmagasinée

- ✓ Quand un condensateur **se charge**, il **emmagasine** une quantité **d'électricité**  $Q$ .
- ✓ La quantité d'électricité emmagasinée est proportionnelle à la tension  $U_c$  entre **ses deux armatures**.
- ✓ La quantité d'électricité est donnée par:

$$Q = C \cdot U_c$$

Avec

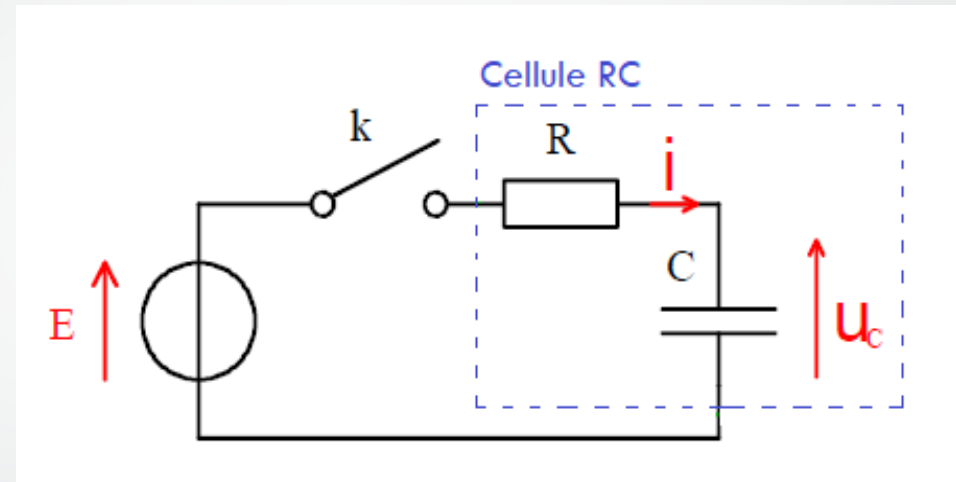
- **$Q$** =quantité d'électricité emmagasinée par le composant, exprimée en **Coulomb** (C).
- **$C$** =capacité du composant exprimée en **Farad** (F).
- $U_c$ =tension aux bornes du condensateur, exprimée en **Volt** (V).



## 6. 2. Tension aux bornes d'un condensateur

Considérons le circuit ci-contre:

- ✓ **Juste à la mise sous tension**, le condensateur est totalement **déchargé**. La tension à ses bornes est  **$U_c = 0V$** .
- ✓ Quand on ferme l'interrupteur, il se charge graduellement à travers la résistance  $R$ .
- ✓ **Au bout d'un certain temps**, la tension à ses bornes **ne varie plus**, il est totalement chargé.

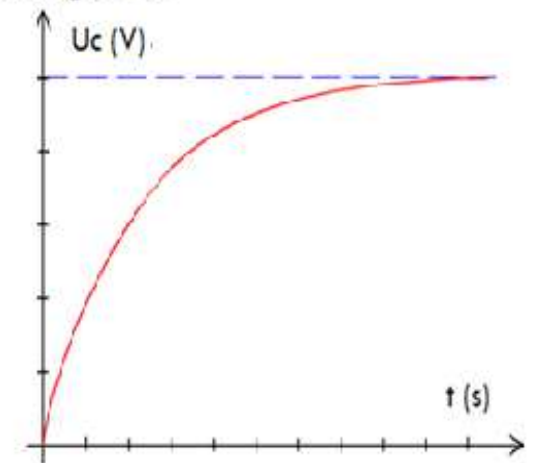


En supposant le condensateur **initialement déchargé**, on peut démontrer qu'en charge, la tension à ses bornes varie en fonction **du temps** comme:



$$U_C(t) = U_{C_{\max}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- avec :
- $U_C(t)$  la tension aux bornes du condensateur à l'instant  $t$ .
  - $U_{C_{\max}}$  la tension aux bornes du condensateur lorsque ce dernier est totalement chargé.
  - $\tau$  la constante de temps de la cellule RC



## 6. 2. Temps de charge

- ✓ Il est défini comme étant **le temps au bout duquel la tension aux bornes d'un condensateur Atteint un maximum** fixé par la valeur de la tension d'alimentation.
- ✓ Le temps de charge d'un condensateur (ayant une capacité  $C$ ) à travers une résistance  $R$  est fonction du produit  $R \cdot C$ , appelé constante de temps tel que:

$$\tau = R \cdot C$$

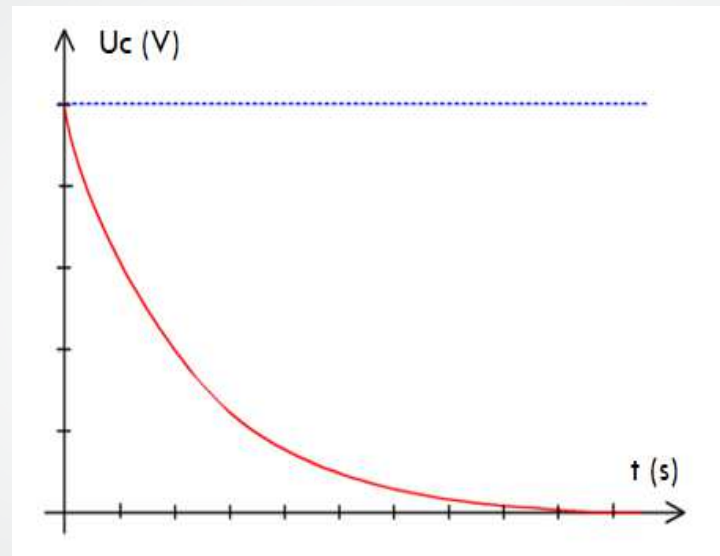
$\tau$ =constante de temps en secondes (s),  
 $R$ =valeur de la résistance en ( $\Omega$ ),  
 $C$ =valeur de la capacité du condensateur en (F).

- ✓ **En pratique**, un condensateur est considéré comme **totalemtent chargé** au bout d'un temps qui vaut **cinq (5) fois la constante de temps**. La tension à ses bornes est alors **99% de la tension d'alimentation**.



## 7. Décharge d'un condensateur à travers une résistance

- ✓ Cette fois-ci, à l'instant  $t=0$ , le condensateur **est chargé.**
  - ✓ En fermant l'interrupteur, il se **décharge** à travers la résistance  $R$  selon une courbe **exponentielle.**
- ✓ la tension de décharge à ses bornes varie en fonction **du temps** comme:



$$U_C(t) = U_{C_{max}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

## 8. Expression générale de la tension aux bornes d'un condensateur



Que ce soit **en charge** ou **en décharge**, la variation **instantanée** de la tension aux bornes d'un condensateur est exprimée par:

$$u_C(t) = V_f + (V_i - V_f) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

avec :

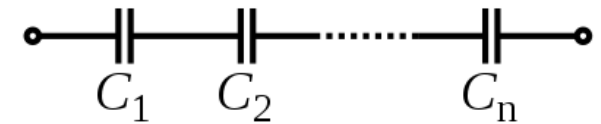
- $u_C(t)$  la tension aux bornes du condensateur à l'instant  $t$ .
- $V_i$  la tension initiale aux bornes du condensateur au début de la durée considérée,
- $V_f$  la tension finale aux bornes du condensateur si celui-ci poursuivait sa charge (ou sa décharge) jusqu'à son terme.

## 9. Association de capacités

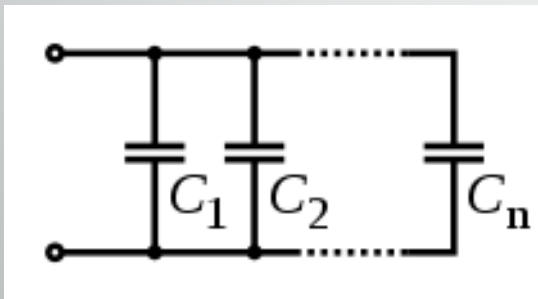
### Association série

L'inverse de la capacité équivalente est égale à la somme des inverses des capacités.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$



### Association parallèle



$$C_{eq} = \sum_i C_i$$

La capacité équivalente de condensateurs en parallèle est la somme de leurs capacités.



« La science est une semence qui donne du fruit  
avec le temps »

Proverbe danois ; Les proverbes et adages du Danemark (1956)

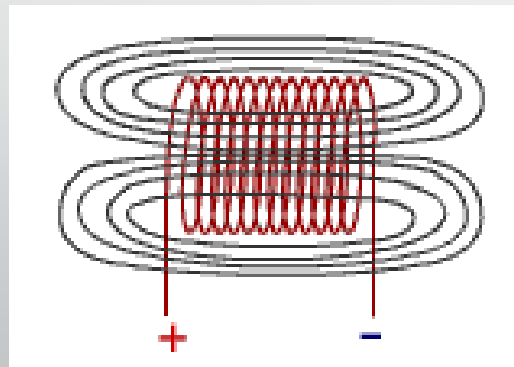
# Chapitre 3 : Les selfs



# Induction magnétique

## 1. Généralités

- ✓ Si un courant électrique passe dans un fil **conducteur**, il crée un **champ d'induction magnétique** dans l'espace qui l'entoure.
- ✓ Cette création engendre une **accumulation locale d'énergie** sous forme de **lignes de flux magnétique**.
- ✓ Un des composants qui utilise cette propriété est appelé **inductance**, ou **bobine**, ou **self**, ou **bobine d'induction**, **solénoïde**, ...
- ✓ Si on donne à ce fil une forme **d'une ou plusieurs spires jointes entre-elles** (en gardant le même courant), l'effet du champ magnétique se trouve **amplifié**.



L'intensité du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant et au nombre de spires de la bobine.

# Bobine

- ✓ Une **bobine** est ainsi un composant électronique constitué d'un **enroulement de fil conducteur** éventuellement **autour d'un noyau en matériau ferromagnétique**.
- ✓ Ce noyau peut être **un bloc de ferrite** ou bien **un assemblage de feuilles de tôle**.



Bobine à air.

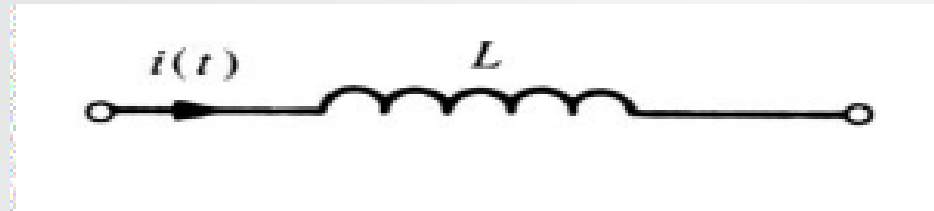


Une bobine d'arrêt de 20 mH avec noyau en ferrite.

La bobine a alors l'apparence d'un transformateur.

- ✓ Il peut aussi être de **l'air**, sur support carré ou rond.

## Symbole



## Utilisation

On trouve les bobines, souvent associées à d'autres composants électroniques dans une grande variété d'applications, entre autres:

- ✓ Dans les **alimentations de puissance** pour **limiter** les ondulations résiduelles du réseau électrique.
- ✓ **Associées aux condensateurs**, ils forment un circuit oscillant **utilisé comme filtre**.
- ✓ Tout ce qui est **moteur**, **électroaimant** ou **transformateur**.



## 2. Inductance

- ✓ L'**efficacité** d'une bobine est une grandeur que l'on appelle **inductance**. Celle-ci résume toutes les propriétés de la bobine.
  - ✓ Le symbole de cette grandeur est la lettre **L**.
  - ✓ L'unité d'inductance est **le Henry (H)**.
- ✓ Une bobine aura une inductance d'autant **plus grande que le nombre de spires est important**. Elle dépend aussi de **la qualité du circuit magnétique que constitue le noyau**.
  - ✓ L'inductance est exprimée par la relation suivante:



N=nombre de spires,  
 $\mu_0$ =perméabilité de l'air =  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m,  
 $\mu_r$ =perméabilité relative du matériau utilisé comme  
noyau de la bobine,  
S=section efficace du noyau magnétique en  $m^2$ ,  
l= longueur effective du noyau magnétique en m.

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l}$$

### 3. Loi d'Ohm pour une self

#### En courant continu

- ✓ La self ne réagit **que quand le courant est établi ou coupé**,
- ✓ Une fois le courant **établi**, la self pure (résistance du fil quasi nulle) **ne s'oppose plus à son passage**.

#### En courant alternatif

- ✓ La self **s'oppose au courant alternatif** avec une **impédance  $Z$**  qui s'exprime **en Ohm ( $\Omega$ )** et **proportionnelle à la fréquence  $f$  en Hertz (Hz)** du courant alternatif et **à l'inductance  $L$** .

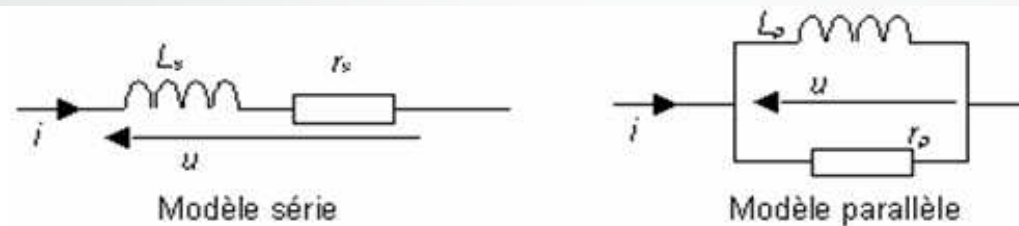


$$Z = 2 \pi f \cdot L$$

- ✓ En courant alternatif, l'impédance est donc d'autant **plus grande** que **la fréquence est élevée**.

### 3. Modèles à deux dipôles de la bobine réelle

L'association d'une bobine **d'inductance** et **d'une résistance** est le modèle le plus fréquemment utilisé pour sa simplicité:



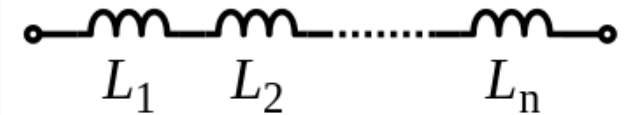
	Modèle série	Modèle parallèle
Équation	$u = L_s \cdot \frac{di}{dt} + r_s \cdot i$	$i = \frac{1}{L_p} \cdot \int_t u dt + \frac{u}{r_p}$

## 9. Association de bobines

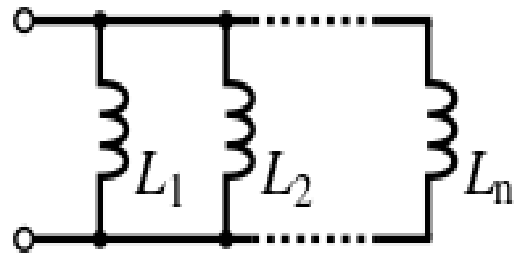
### Association série

L'inductance équivalente est égale à la somme des inductances.

$$L_{eq} = \sum_i L_i$$



### Association parallèle



$$\frac{1}{L_{eq}} = \sum_i \frac{1}{L_i}$$

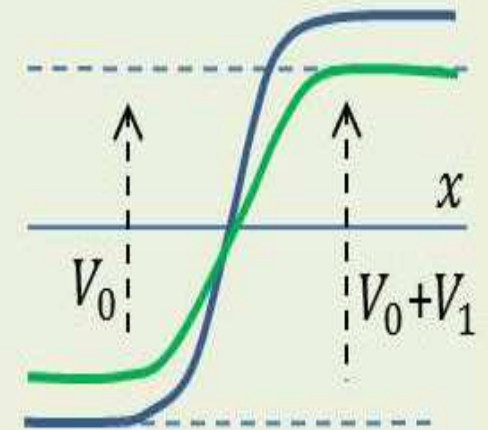
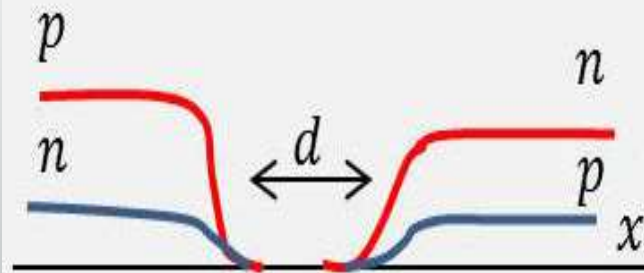
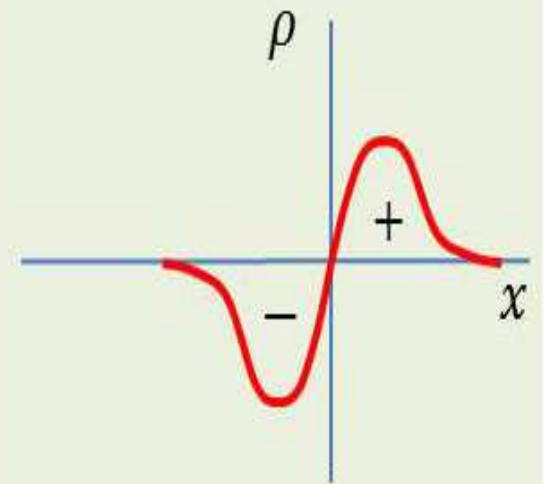
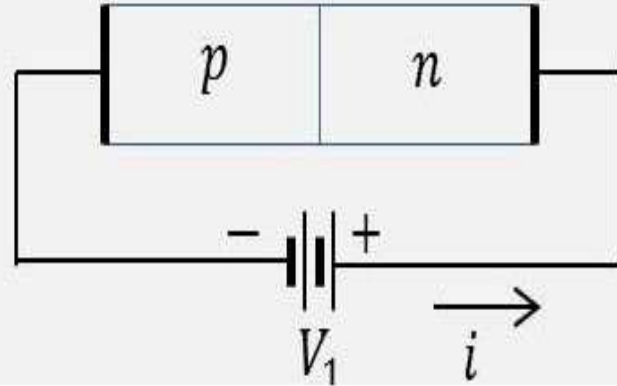
L'inverse de l'inductance équivalente est égal à la somme des inverses des inductances



*« Ne suffisent pas l'art et la science, il faut à  
l'ouvrage la patience »*

Proverbe français; Le recueil d'apophtegmes et axiomes (1855)

# Chapitre 4 : Les diodes



# 1. La diode est essentiellement à la base d'une jonction

## qu'est-ce qu'une jonction PN?

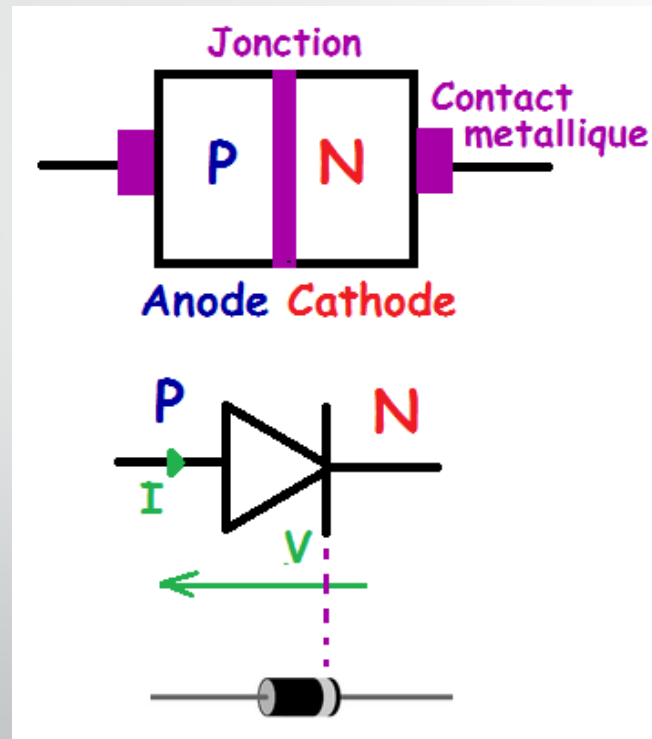
✓ C'est la juxtaposition de **deux régions semi-conductrices**:

- L'une **dopée P de densité  $N_A$** , appelée **anode**,
- l'autre **dopée N de densité  $N_D$** , appelée **cathode**,

✓ La juxtaposition est une **surface plane** appelée **jonction**.

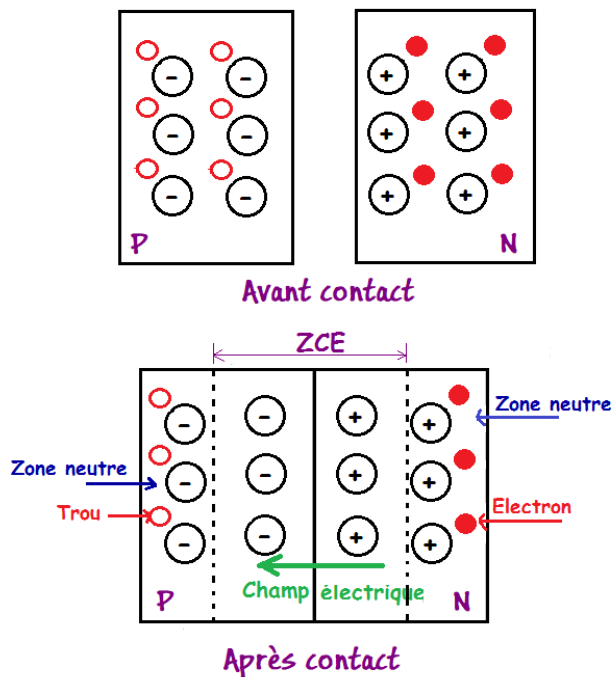
✓ La diode est le **dipôle** réalisée par la jonction des deux semi-conducteurs.

✓ C'est un composant qui ne fait passer le courant que dans **un seul sens**.



## 2. Formation de la ZCE

La juxtaposition de **deux semi-conducteurs N et P** implique un phénomène connu sous le nom **de diffusion/recombinaison**:



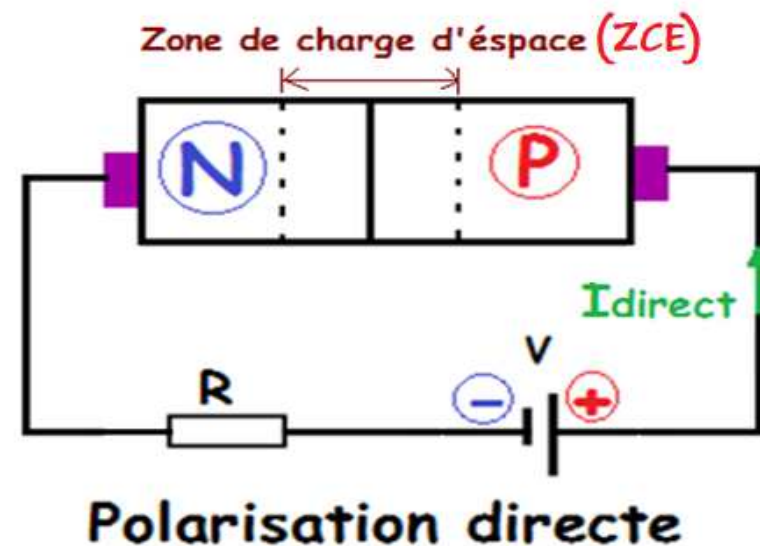
- ✓ Les **e<sup>-</sup> majoritaires du SC N** migrent **vers le SC P** pour se recombiner avec des trous,
- ✓ En **donnant un e<sup>-</sup>**, les atomes dopés du SC N deviennent **des ions positifs**,
- ✓ De même, **en gagnant des e<sup>-</sup>**, les atomes dopés du SC P deviennent **des ions négatifs**.
- ✓ Il ne reste plus que de **charges fixes**, ce qui crée alors des deux côtés de la jonction **une zone désertée de porteurs libres** appelée **zone déplétée** ou **zone de charge d'espace (ZCE)**.
- ✓ Le reste de la jonction (les 2 côtés N et P) sont globalement neutres.



### 3. Fonctionnement

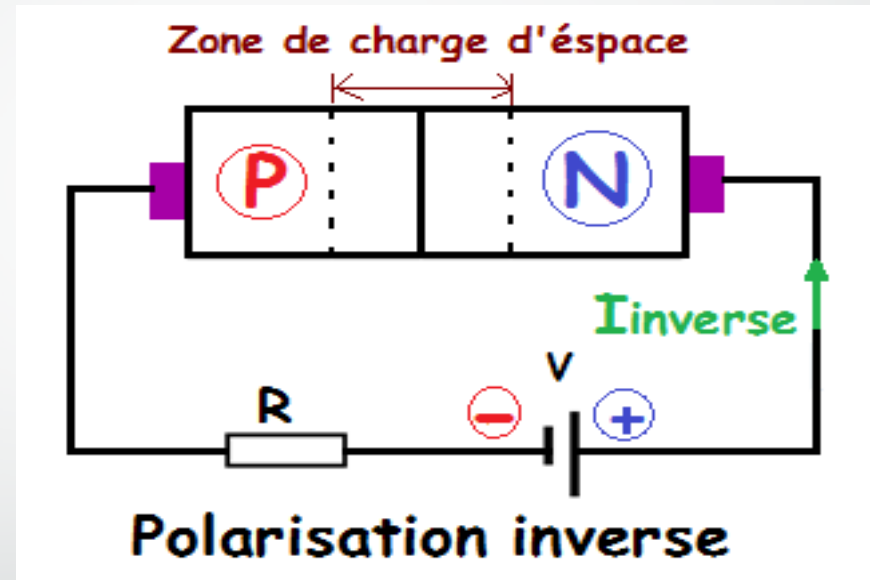
#### Polarisation directe:

- ✓ Une jonction PN est **polarisée** quand on lui applique une tension  $V$  **continue externe**.
- ✓ La polarisation **directe** permet le **passage d'un courant  $I_{\text{direct}}$**  à travers la jonction.



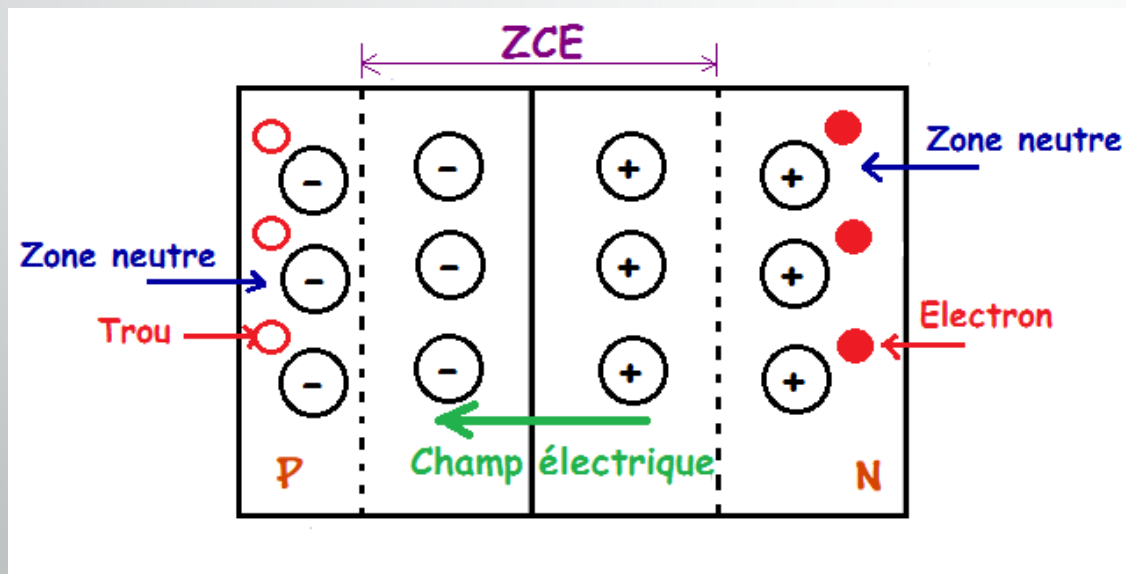
## Polarisation inverse:

- ✓ Une jonction polarisée en inverse ne fait pas passer le courant électrique.
- ✓ La zone de charge d'espace, appelée aussi zone d'appauvrissement ou encore zone de déplétion, est plus large qu'en polarisation directe.



## Polarisation inverse: élargissement de la ZCE

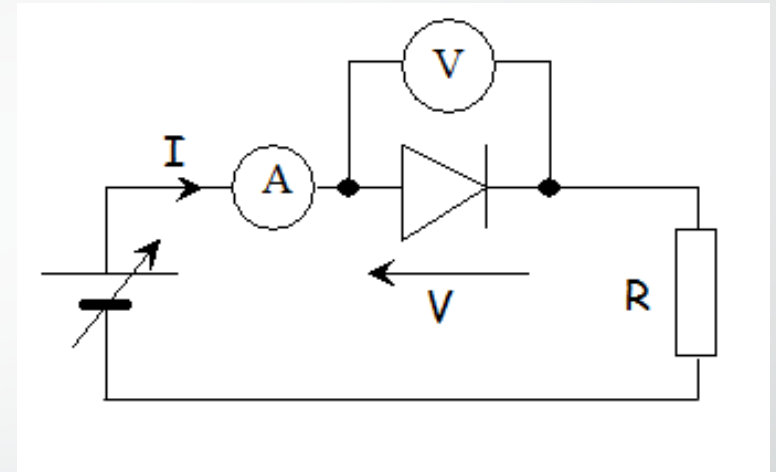
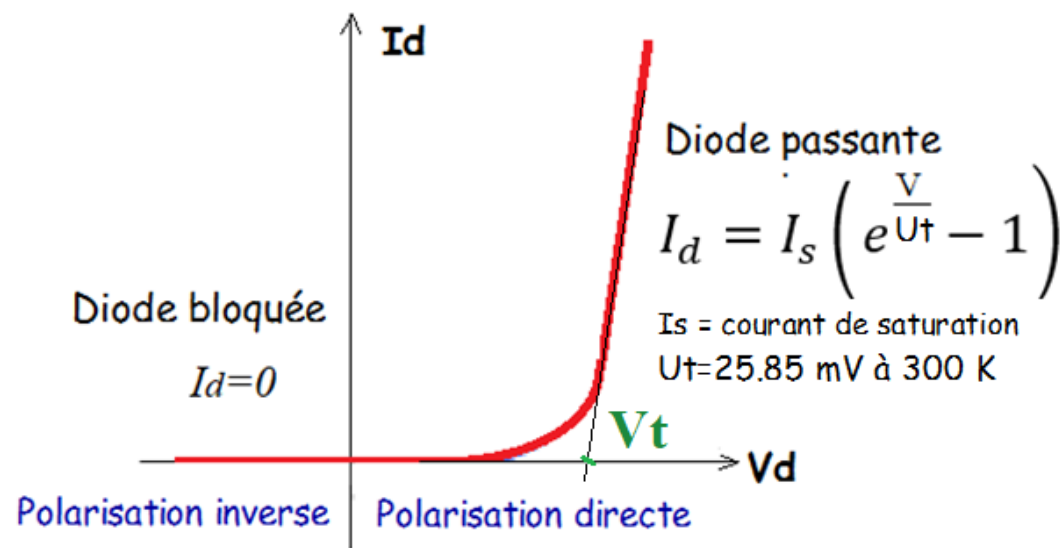
- ✓ On part du principe que les charges de **signe contraire s'attirent**.
- ✓ Les  $e^-$  libres porteurs **majoritaires de la région N** sont attirés par la borne positive de la source loin de la jonction.
- ✓ En conséquence, des **ions positifs supplémentaires sont créés**.



- ✓ De même pour les trous avec la **borne négative**.
- ✓ En conséquence, des **ions négatifs supplémentaires sont créés**.
- ✓ La **ZCE s'élargit** alors avec une réduction du nombre de porteurs majoritaires.
- ✓ La ZCE **s'étend vers la région la moins dopée**.

## 4. Caractéristiques courant-tension

Le courant ne commence à circuler qu'après une certaine tension appelée tension de seuil notée  $V_t$ .



## 5. Utilisations

- ✓ *Circuits de commutation*: Pour circuits logiques.
- ✓ *Circuits de redressement*: Conversion alternatif/continu.
- ✓ *Circuits d'écrêtage*: limiter l'amplitude d'un signal à une valeur déterminée  
(protection contre la surtension).
- ✓ *Détection de valeur crête ou d'enveloppe*: lors d'une modulation d'amplitude.
- ✓ *Multiplication de tension*
- ✓ *Protection* contre la circulation du courant dans le mauvais sens.
- ✓ .....



« Dans toute science les règles servent peu sans  
un exercice continuel »

Proverbe italien ; Les proverbes, adages et expressions italiennes (1826)



# 1. Qu'est-ce qu'un transistor bipolaire?

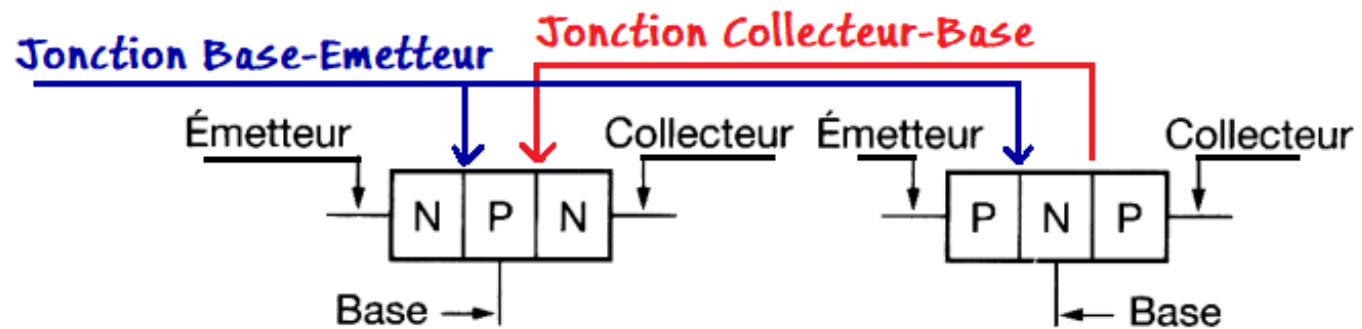
- ✓ C'est un composant **actif**, c.à.d. il permet la **l'amplification ou la transformation de la puissance** d'un signal en courant et/ou en tension.
- ✓ Son fonctionnement est basé sur la juxtaposition **de deux jonctions** en tête bêche.
  - ✓ Une des deux jonctions est polarisée **en direct** et **l'autre en inverse**.
  - ✓ Il possède **trois électrodes**: **émetteur E**, **base B** et **collecteur C**.
- ✓ Il se présente en **deux types**: transistor **NPN** et transistor **PNP**.



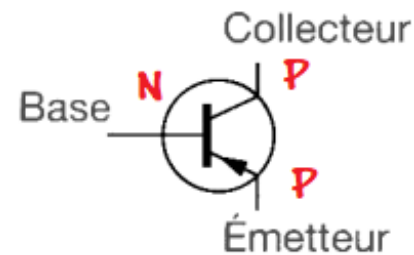
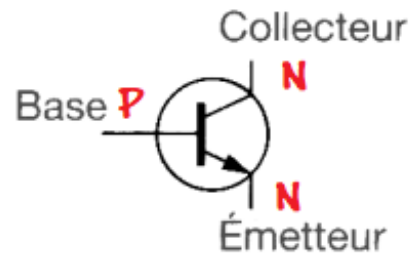
- ✓ Il a **plusieurs applications**:
  - Amplification,
  - Stabilisation de tension,
  - Modulation,
  - Interrupteur commandé...



## 2. Symboles

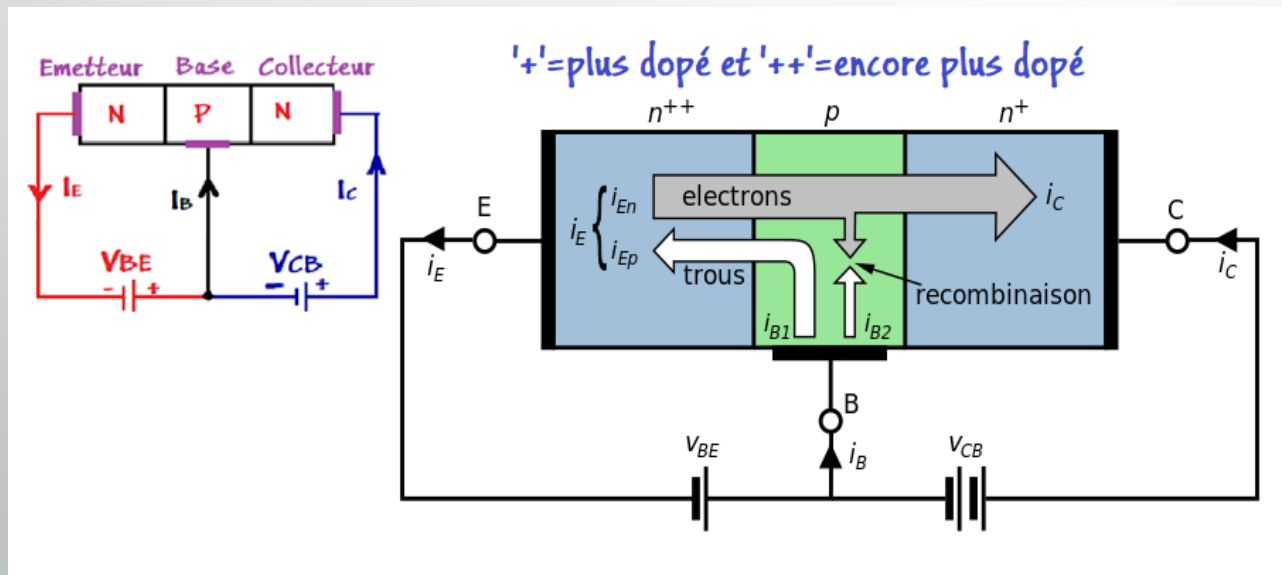


### Symboles



### 3. Principe de fonctionnement: Transistor NPN

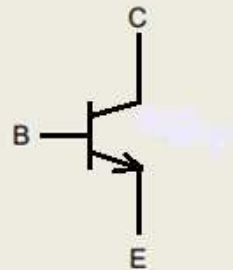
- ✓ La jonction **émetteur-base** est **polarisée en direct**, donc un courant dû à une **injection d'électrons** circule de **l'émetteur vers la base**.
- ✓ La **jonction base-collecteur** est **polarisée en inverse** (le potentiel du collecteur est supérieur à celui de la base), donc les électrons ayant diffusé vers la zone de champ de cette jonction, sont recueillis par le contact collecteur.
- ✓ En d'autres termes la **jonction EB sert à injecter les porteurs** alors que **la deuxième (BC) sert à les collecter**.



- ✓ Le courant de **la base** est la contribution:
  - du courant **de trous** qui **circule de la base vers l'émetteur**,
  - Et du courant de **recombinaison** (électron neutralisé par un trou) **dans la base**.

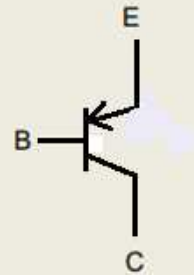
## 4. Mise en équation

Transistor NPN



$$I_C = I_S \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \left( e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

Transistor PNP



$$-I_C = I_S \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \left( e^{\frac{-V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

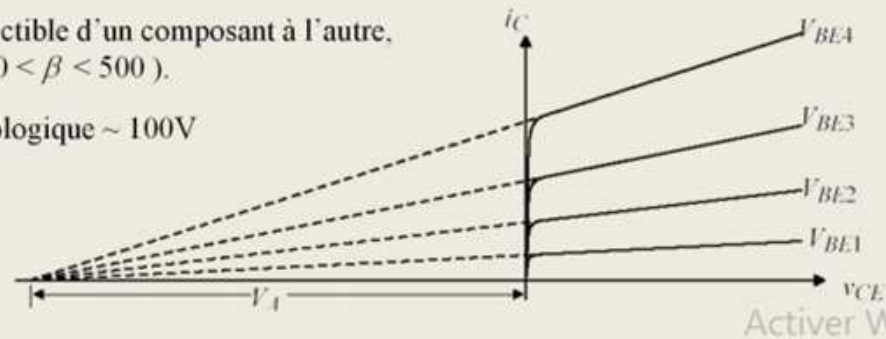
$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$I_S$ : Courant de saturation inverse de la jonction émetteur base  $\sim 10^{-14}$ A

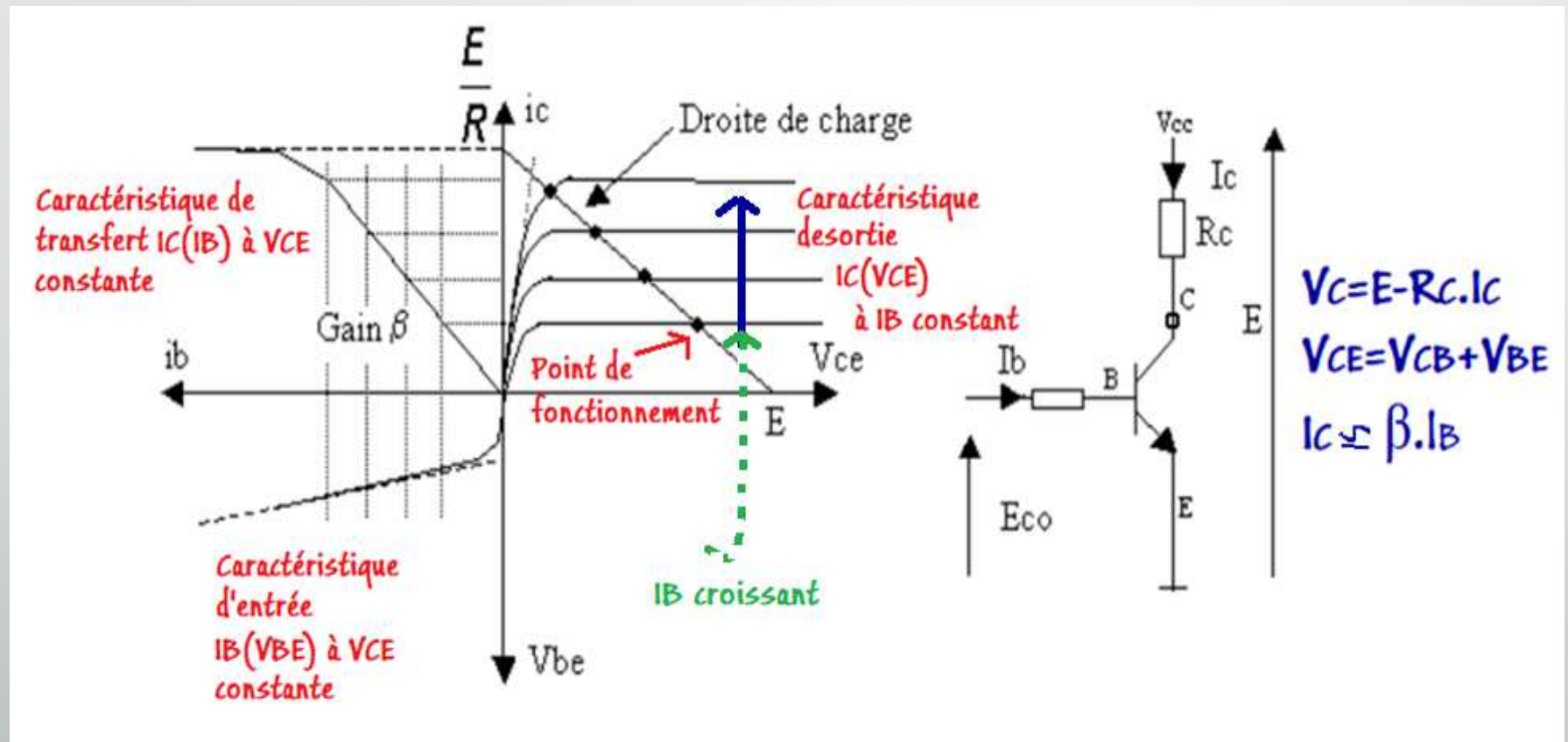
$\beta$ : Gain en courant, Très peu reproductible d'un composant à l'autre, Défini par sa valeur minimale ( $20 < \beta < 500$ ).

$V_A$ : Tension d'Early, paramètre technologique  $\sim 100$ V

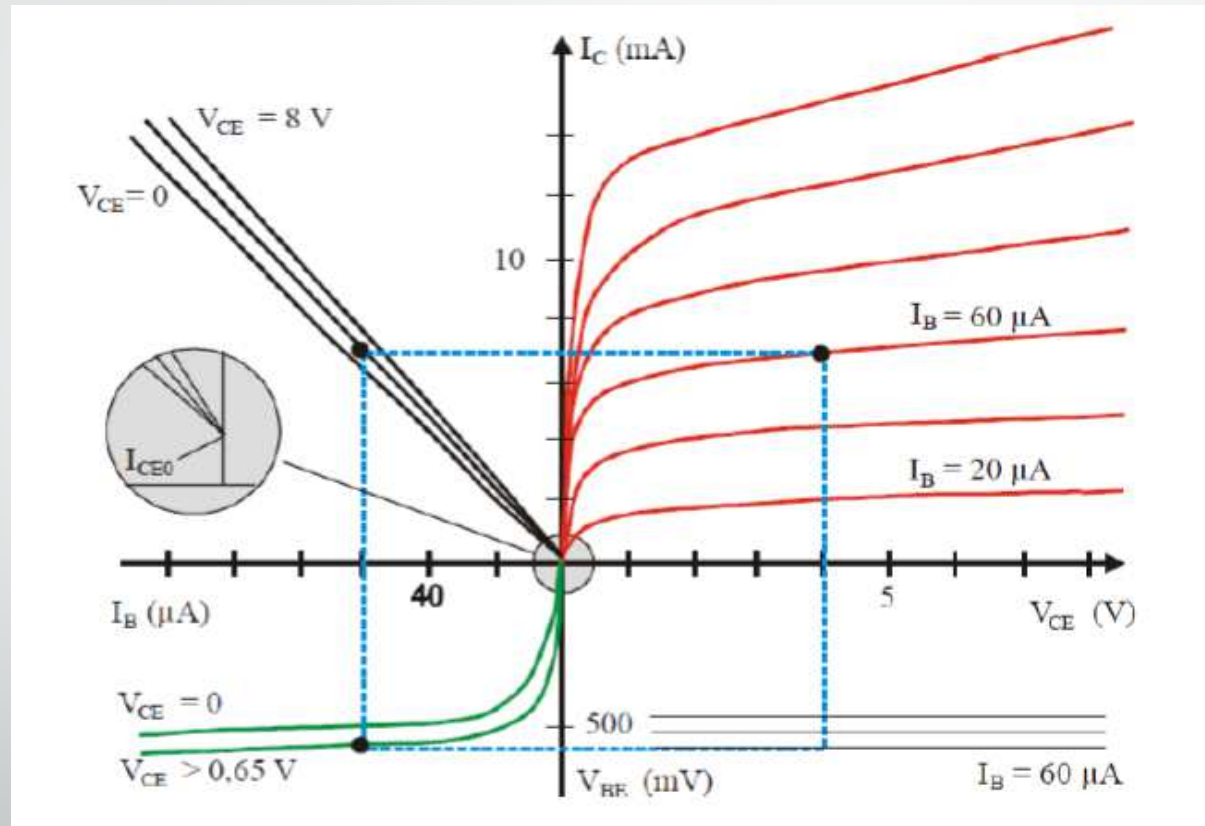
$$V_A = \frac{I_C}{\left( \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right)_{V_{BE}}} - V_{CE}$$



## 5. Réseaux de caractéristiques: Définitions




## 6. Réseaux de caractéristiques: Ordres de grandeurs



## 7. Comment choisir un transistor bipolaire?

Le choix est tributaire **de l'utilisation**. L'on doit tenir compte des paramètres suivants:

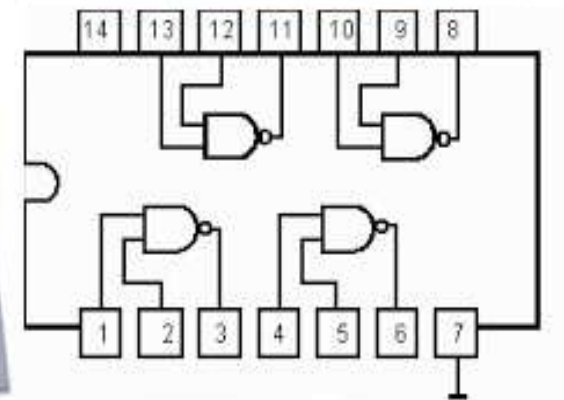
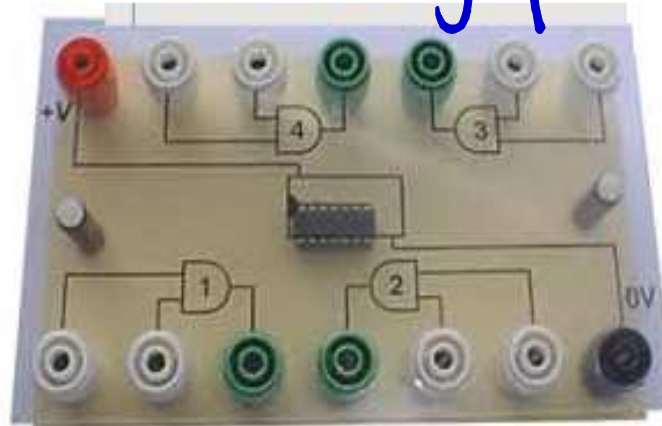
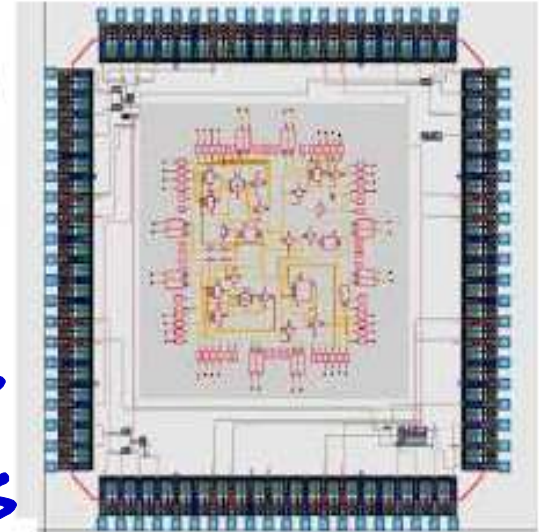
- ✓ **Tension de claquage**  $V_{CEmax}$  pour éviter la destruction du transistor,
- ✓ **Courant de collecteur maximal**  $I_{cmax}$  pour éviter la chute du gain en courant  $\beta$ ,
- ✓ **Gain en courant**  $\beta$ ,
- ✓ **Puissance maximale**  $P_{max}$  ( $P_{max} = V_{CE} \cdot I_C$ ) que peut dissiper le transistor,
- ✓ **Tension de saturation**  $V_{CEsat}$  si le transistor sera utilisé en commutation,
- ✓ **Fréquence de coupure**.



« L'esprit, sans science, s'use comme le reste »

Proverbe français ; Le recueil d'apophtegmes et axiomes (1855)

# Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques

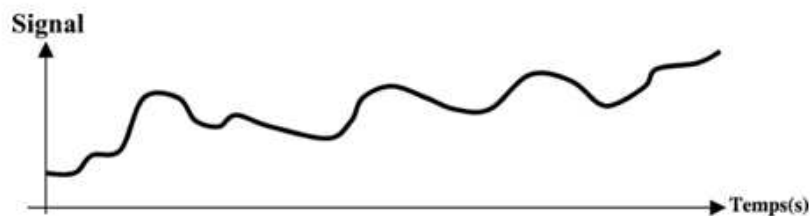


7400 - 7403 - 7437

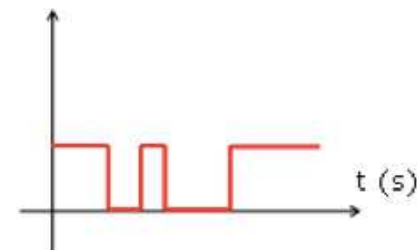


# I. Généralités

- ✓ **Electronique analogique**= Discipline qui traite de circuits et systèmes sur des grandeurs à **variation continue**.
- ✓ **Analogique**=vient de analogue pour dire que le signal est **représentatif de la source** et varie de manière **continue avec le temps**.
- ✓ **Electronique numérique**= traite **de grandeurs quantifiées**. L'information est **discrétisée dans le temps**.



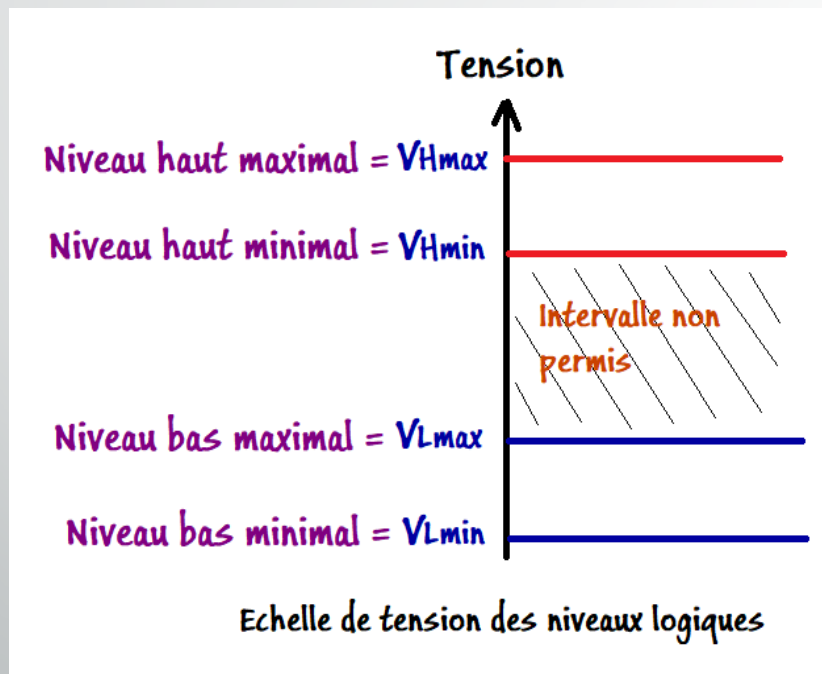
Signal analogique



Signal numérique

## 2. Niveaux logiques

- ✓ Les niveaux du signal numérique possibles prennent deux **états ou niveaux** possibles: **High (H) et Low (L)** pour Haut et Bas.

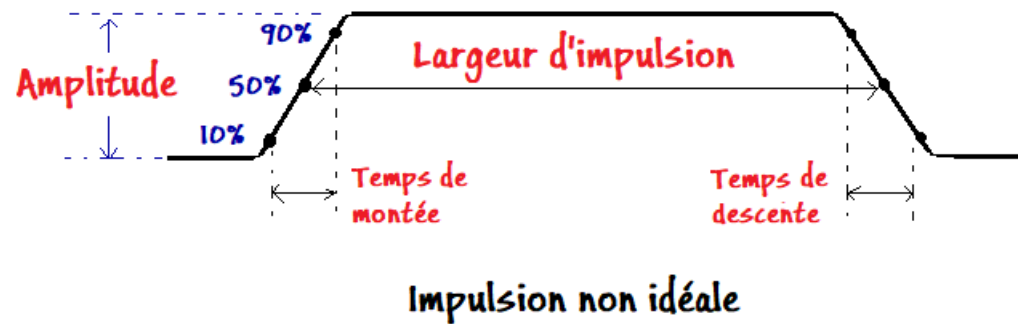
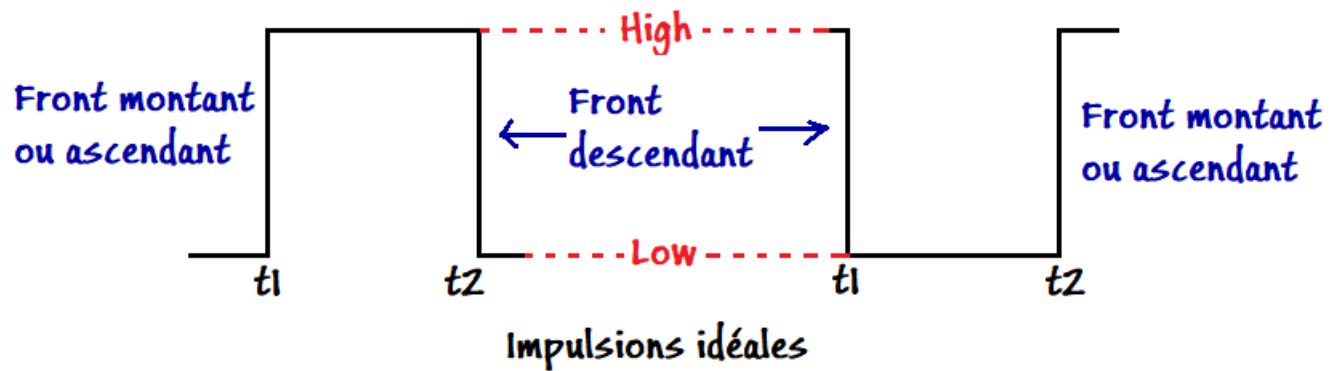


- ✓ **Idéalement**, ces niveaux représentent, respectivement, le 1 et le 0.

✓ **Réellement**:

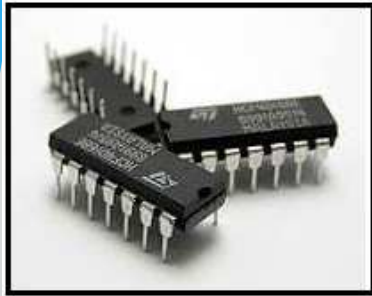
- un **niveau logique haut** peut appartenir à un **intervalle de tensions, minimale et maximale**, bien déterminées.
- de même, un **niveau logique bas** peut appartenir à un **intervalle de tensions, minimale et maximale**, bien déterminées.

### 3. Formes d'ondes numériques



## 4. Technologies des circuits intégrés (CI)

### Ce qu'il faut d'abord savoir:



- ✓ Un **CI** est un circuit **plus ou moins complexe** qui comporte **plusieurs (intègre)** types de composants électroniques **élémentaires** dans une surface **réduite**.
- ✓ Ces composants peuvent être des **transistors**, des **résistances**, des **condensateurs**...
  - ✓ Le **tout** étant **conçu pour réaliser une porte ou une fonction électronique déterminée**.
- ✓ Dans la fabrication d'un CI logique, on utilise des **transistors bipolaires à jonction** et des **MOSFET**.
- ✓ **L'association des transistors** selon une **manière** bien déterminée (**pour améliorer les performances**) est appelée **technologie**. Celle-ci permet la classification des CI.
- ✓ Si les CI utilisent des **transistors bipolaires**, on retrouve:
  - le **type TTL**, pour **Transistor-Transistor Logic** (logique transistor-transistor). Celui-ci est le plus couramment utilisé.
  - et le **type ECL**, pour **Emitter-Coupled Logic** (logique à couplage par l'émetteur).
- ✓ Si les CI utilisent des **MOSFET**, on retrouve le type **NMOS canal N** et le **type CMOS**, pour **Complementary MOS** (voir cours **ELN\_S4\_Éléments\_Physique\_Comp\_Eln, Chap. 4**).
  - ✓ D'autres technologies existent bien sûr.

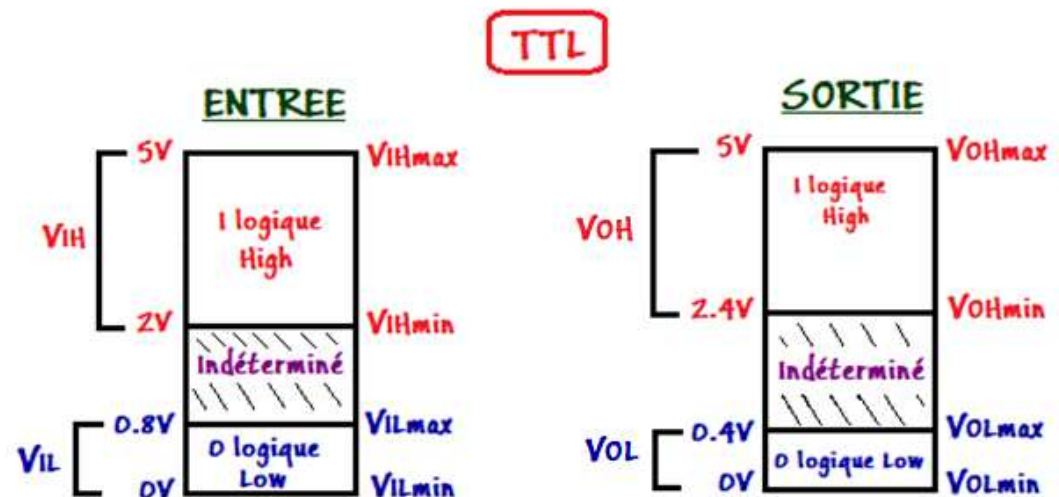
## 4. Niveaux logiques d'entrée et de sortie TTL et CMOS (Récapitulatif)

### Niveaux TTL

#### Nomenclature

$V_{IH}$ =tension d'entrée niveau haut  
 $V_{IL}$ =tension d'entrée niveau bas  
 $V_{OH}$ =tension de sortie niveau haut  
 $V_{OL}$ =tension de sortie niveau bas  
max=maximum  
min=minimum  
I=Input=entrée  
O=Output=sortie

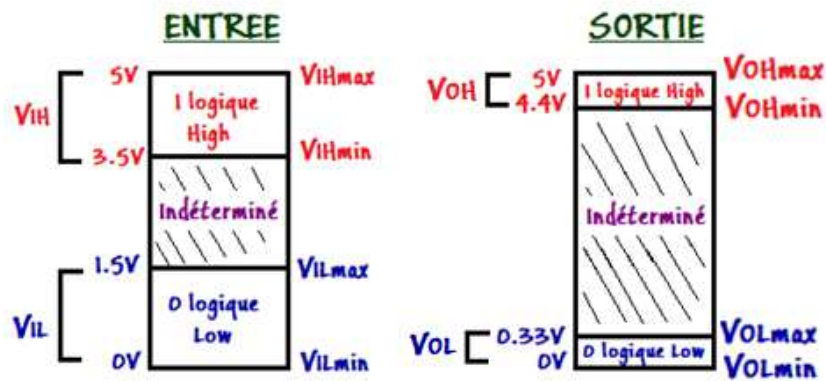
Remarque:  
indéterminé=fonctionnement  
non fiable du CI.



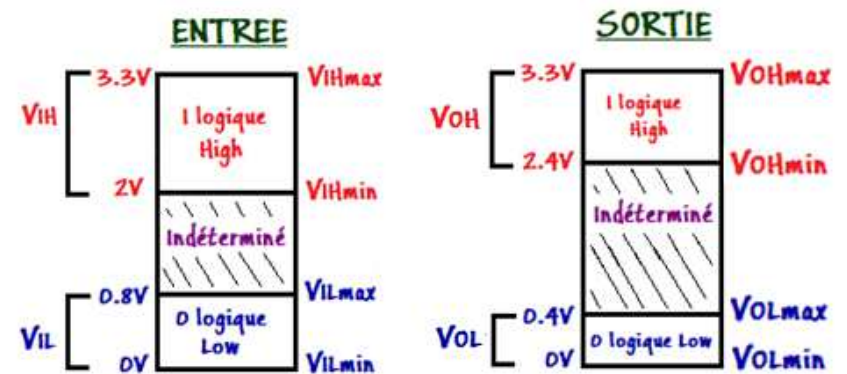
## 4. Niveaux logiques d'entrée et de sortie TTL et CMOS (Récapitulatif)

### Niveaux CMOS

1. CMOS: +5V (alim.=+5V)



2. CMOS: +3.3V (alim.=3.3V)



## 5. Familles des circuits intégrés

### D'abord une définition sur ce qu'est une famille de CI logiques

- ✓ C'est un ensemble de CI qui ont **des caractéristiques communes** homogènes.
  - ✓ Ces caractéristiques sont essentiellement:
    - la **technologie de fabrication**,
    - La **tension d'entrée**,
    - Les **niveaux logiques**.
- ✓ Ce regroupement **en familles** a pour but de **simplifier les interconnexions** des CI et assurer **la compatibilité**.

## 5. Familles des circuits intégrés

### Caractéristiques d'une famille logique:

- ✓ **Temps de propagation** à travers une porte=temps écoulé entrée/sortie.
  - ✓ **Consommation** par porte logique.
- ✓ **Facteur de qualité**=temps de propagation\*consommation.
  - ✓ **Fréquence de travail.**
- ✓ **Immunité au bruit**=capacité d'un CI à tolérer les signaux parasites .
  - ✓ **Tension d'alimentation.**
- ✓ **Gamme de températures de travail.**
  - ✓ **Niveaux logiques.**
- ✓ **Sortance**=nombre d'entrées que la sortie du circuit peut attaquer en parallèle.



## Famille TTL

## 5. Familles des circuits intégrés

- ✓ Dans cette famille, les CI ont comme **numéros d'identification 54 ou 74**.
- ✓ La **série 54**, étant **plus coûteuse**, est réservée aux applications à utilisations extrêmes comme le militaire et le spatial, car à **plus larges plages de tensions d'alimentation et température de fonctionnement (-55 à 125°C !)**.
- ✓ La **série 74** telle que:

Série	Caractéristiques
74	Standard. Bon compromis consommation/vitesse.
74L (Low power)	Consommation réduite, temps de propagation élevé.
74H (High speed)	Vitesse de commutation rapide, consommation élevée.
74S (Shottky)	Plus rapide que la 74H pour la même consommation.
74LS (Low power Shottky)	Moins rapide que 74S avec faible consommation.
74AS (Advanced Shottky)	Amélioration de la 74S, consomme moins et plus rapide
74ALS (Advanced Low power Shottky)	Amélioration de la 74LS.

## 5. Familles des circuits intégrés

### Famille CMOS: Caractéristiques

- ✓ Temps de propagation **important** (donc moins rapide),
  - ✓ **Faible** consommation,
  - ✓ **Densité** d'intégration **élevée**,
  - ✓ Sortance **plus élevée**,
  - ✓ **Excellente** immunité au bruit,
- ✓ **Sensibilité** aux décharges électrostatiques **ESD** (pour *Electro-Static Discharge*)
  - ✓ *Comporte plusieurs séries:*
    - Les anciennes: 4000 et 14000,
    - Les nouvelles: 74C, 74HC, 74HCT.....**compatibles avec la TTL.**

## 5. TTL vs CMOS

Technologie	Consommation	Vitesse	Densité
TTL	Elevée	Elevée	Faible
CMOS	Très faible	Faible	Elevée

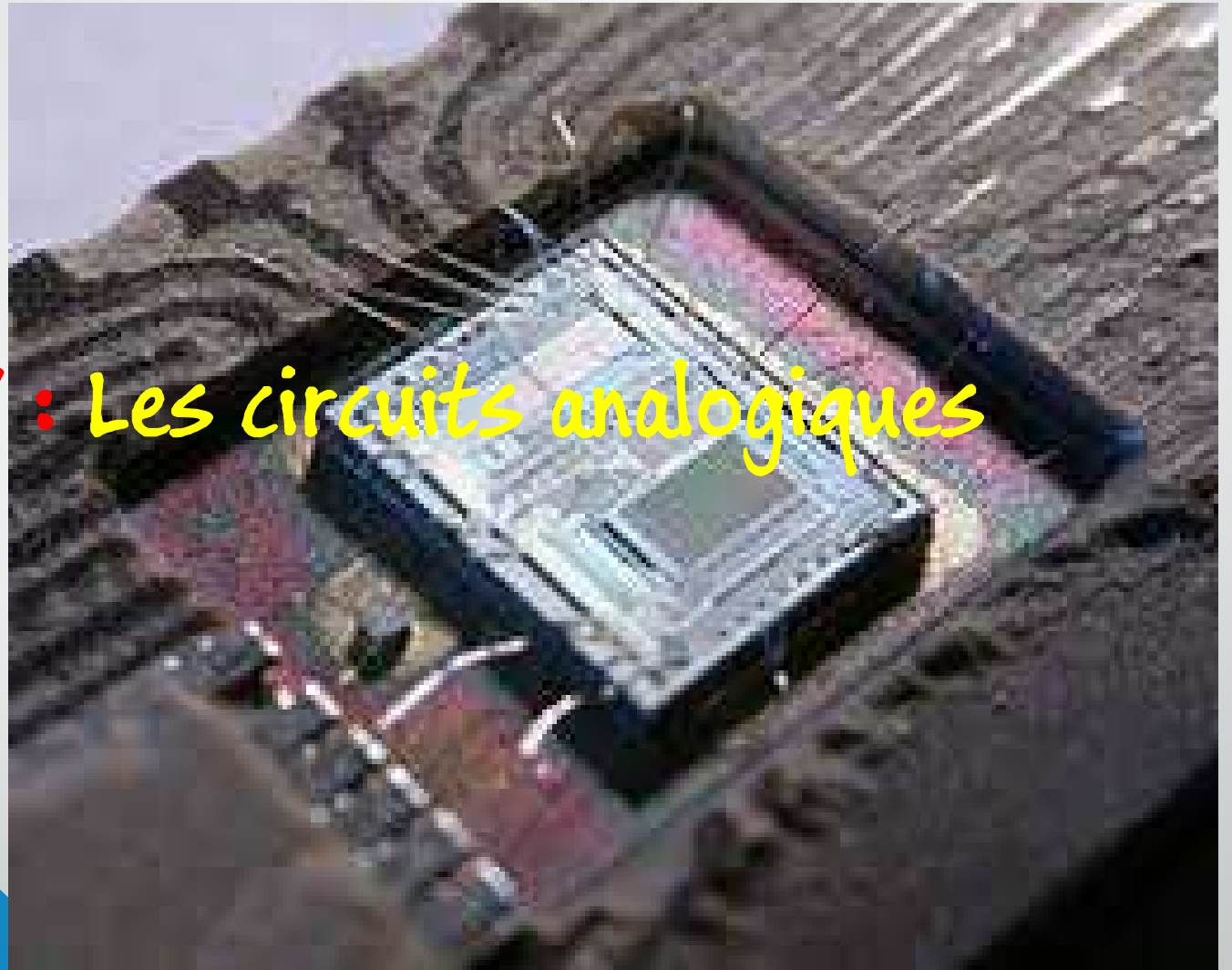
Remarque: Densité=Densité d'intégration=nombre de portes, ou de transistors, sur le CI. Elle est limitée par les dimensions de l'élément de base.



«La science est le plus beau trésor de l'humanité »

Proverbe grec ; Les maximes de la Grèce antique (1855)

# Chapitre 7 : Les circuits analogiques



# 1. Les principaux circuits analogiques

Les systèmes analogiques utilisent plusieurs circuits dont les:

- ✓ **Circuits d'amplification:** pour la **mise en forme** de signaux.
  - ✓ **circuits d'instrumentation :** pour le **traitement et l'amplification** des signaux.
  - ✓ **Capteurs :** pour la conversion **grandeur physique/signal analogique**.
  - ✓ **Filtres :** pour **réduire** certaines composantes du signal **et en laisser passer** d'autres (traitement filtrage).
  - ✓ **Oscillateurs :** pour la **génération** de signaux.
  - ✓ **Actionneurs:** pour transformer **l'énergie reçue en énergie utile** qui fournit un travail.
- ✓ .....

# 1. Les boitiers (Packages)

- ✓ Un CI se présente sous forme de **boitier**, avec des **broches** (**pattes** ou encore **pins**) pour **les connexions et l'adaptation avec l'environnement extérieur**.
- ✓ Outre permettre d'établir **les connexions**, les boitiers assurent les fonctions suivantes:
  - **Dissipation de la chaleur**,
  - **Support physique**,
  - **Protection** environnementale et mécanique,
    - ✓ Sur ce boitier sont mentionnés:
      - ✓ Le **logo** du fabricant,
      - ✓ Une **référence d'identification** du circuit,
      - ✓ Un **code** faisant référence à d'éventuelles **révisions**,
      - ✓ La **date de fabrication** de la formate **AASS**=Année et Semaine.
- ✓ Un boitier est formé le plus souvent de **plastique** ou de **céramique**, rarement en **métal**.

## 2. Critères de choix

✓ Dans la plupart des cas, **il n'y a pas de choix clair**. Les critères sont inhérents aux **contraintes** suivantes:



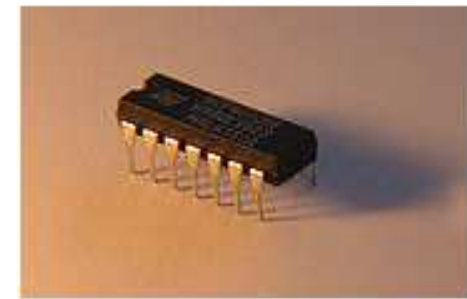
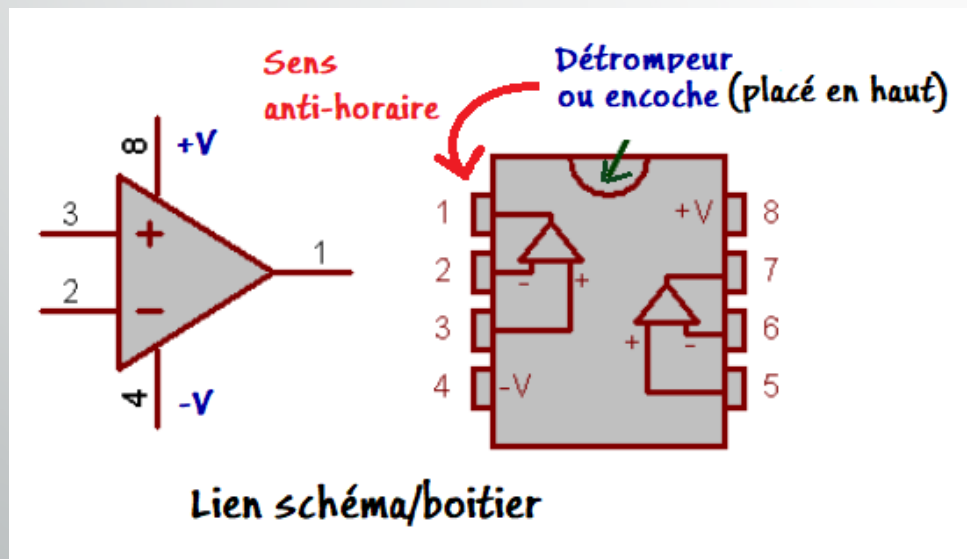
- **Performance**,
- **Poids et taille**,
- **Fiabilité**=absence de défaillance,
- **Testabilité** = facilité d'un circuit à réaliser des tests concluants,
  - **Prix**.
- Contraintes **électriques**....



## 3. Types de boitiers

### Boitiers DIP (DIL)

- ✓ Beaucoup d'organismes ont catégorisé les boitiers pour CI.
- ✓ L'un d'eux est le **JDEC** (pour **J**oint **E**lectron **D**evice **E**ngineering **C**ouncil).
- ✓ Cet organisme spécifie plusieurs familles standard telles que le **DIP**, pour **D**ual **I**ncline **P**ackage, c.à.d. à **deux rangées de pattes**.










CI en boitier DIP 14 broches

## 3. Types de boitiers

### Boitiers Transistor Outline (TO)

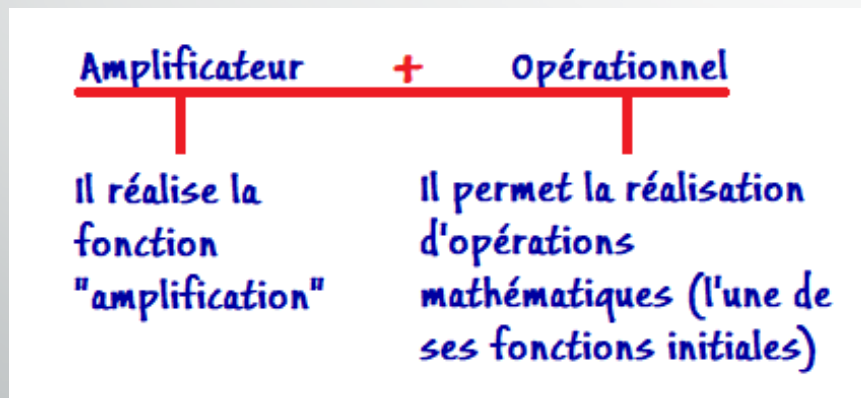
- ✓ Il s'agit d'une famille de boitiers pour les **transistors** et **composants discrets similaires**.
- ✓ Elle englobe aussi les **CI** avec **un nombre de broches réduit**.

	<a href="#">TO-72</a> - Transistor Outline Package, Case Style 72
	<a href="#">TO-92</a> - Transistor Outline Package, Case Style 92
	<a href="#">TO-126</a> - Transistor Outline Package, Case Style 126
	<a href="#">TO-202</a> - Transistor Outline Package, Case Style 202
	<a href="#">TO-218</a> - Transistor Outline Package, Case Style 218
	<a href="#">TO-220</a> - Transistor Outline Package, Case Style 220
	<a href="#">TO-226</a> - Transistor Outline Package, Case Style 226

## 4. Exemple de circuit intégré analogique: L'amplificateur opérationnel

### Présentation

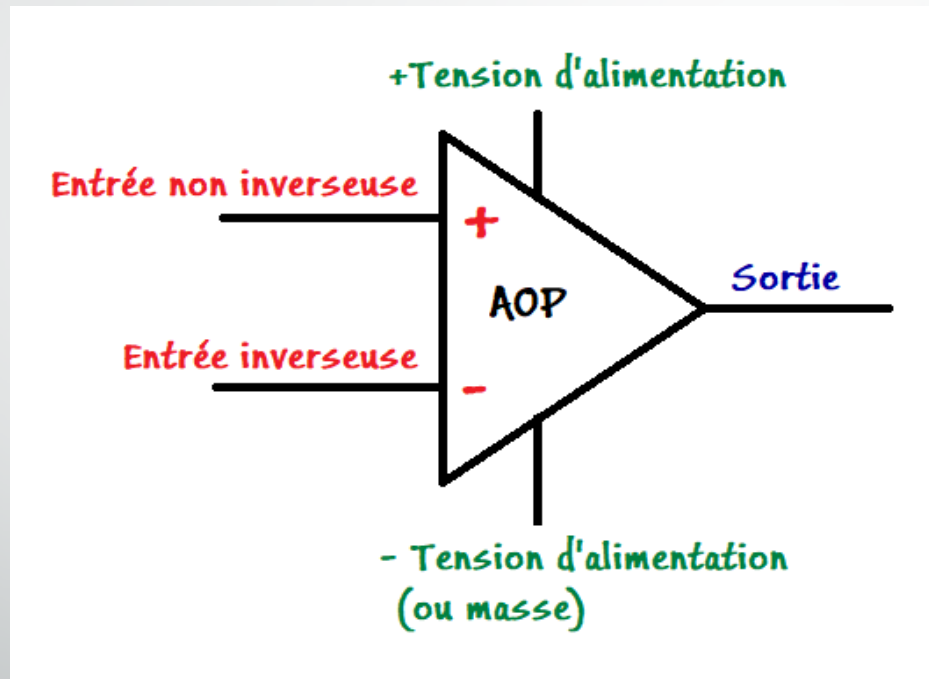
- ✓ Un **amplificateur opérationnel**, ou **AOP**, **AO**, ou encore **ampli-op**, est un circuit conçu pour **amplifier une différence de potentiel** électrique avec **un gain élevé**.
- ✓ Il possède un **gain important en boucle ouverte** (forme de contrôle d'un système sans tenir compte de sa réponse).



- ✓ Ses applications dépassent les **calculateurs analogiques** aux:
  - **Oscillateurs**,
  - **Régulateurs de tension**,
  - **Sources de courant**,
  - **Commande de moteurs**....

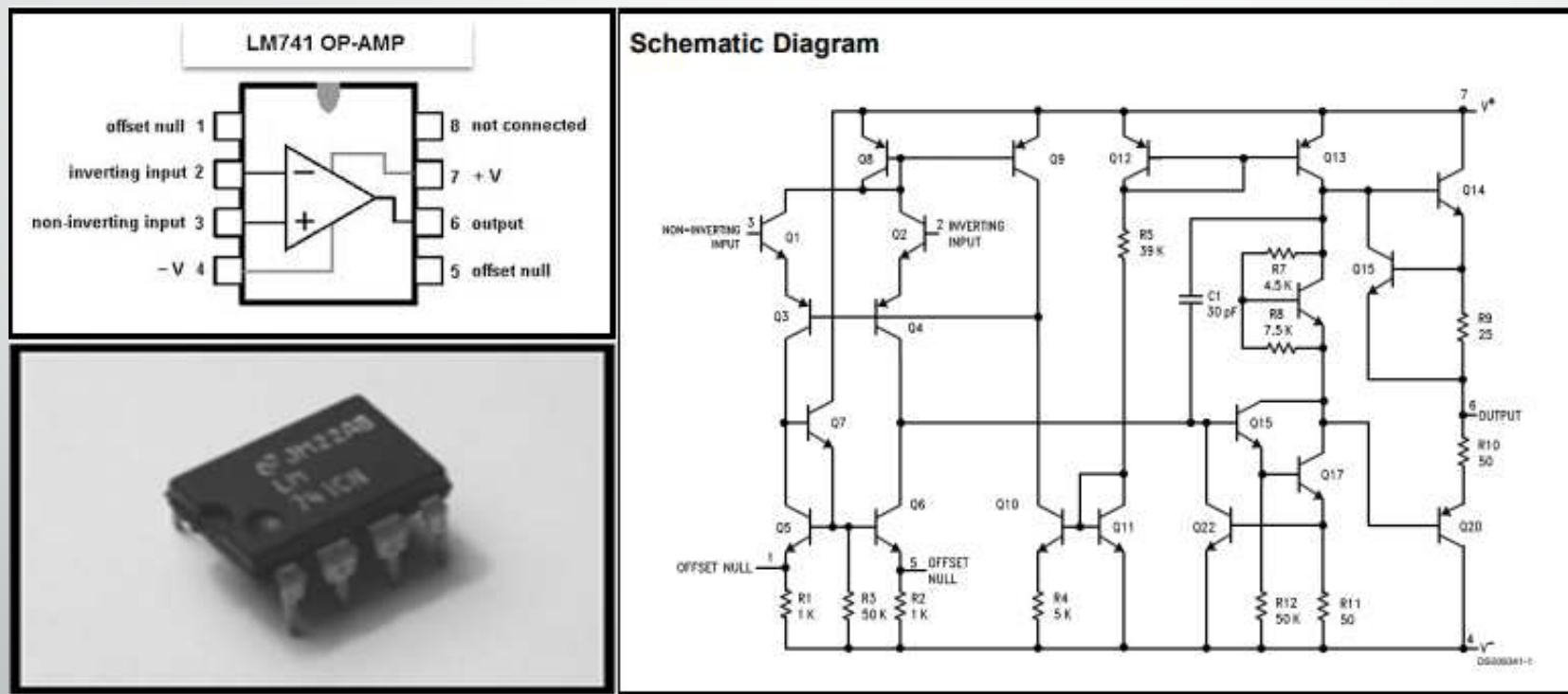
## 4. Exemple de circuit intégré analogique: L'amplificateur opérationnel

### Représentation



# 5. Exemple d'amplificateur opérationnel

Le 741





« L'étude est la clé des sciences »

Proverbe arabe ; Les proverbes et adages du peuple arabe (1803)