

Université des sciences et de la Technologie d'Oran -MB
Faculté de Génie Électrique
Département d'Électronique

DECOUVERTE DE ELECTRONIQUE

APPRENDRE L'ELECTRONIQUE en partant de zéro

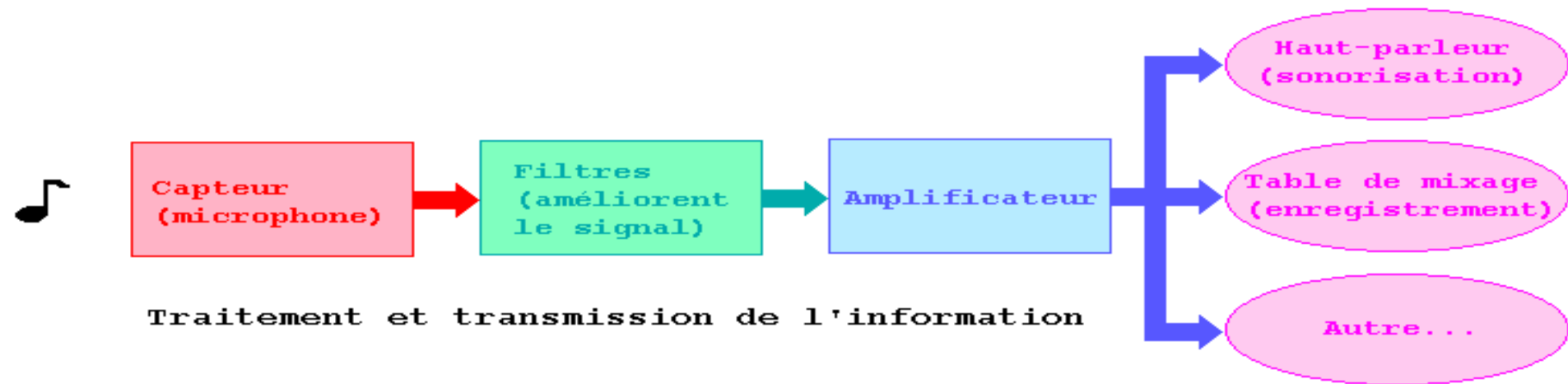
Responsable: H. MEBTOUCHE

Contenu du cours

- Introduction sur de l'électronique
- L'électronique analogique (éléments passifs, éléments actifs),
- L'électronique numérique (circuits intégrés, circuit logiques,) .
- L'Application de l'électronique

Introduction sur de l'électronique

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



Le 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.

Introduction sur de l'électronique

- *Qu'est-ce que l'électronique ?*

Domaine de la **physique appliquée** qui

exploite les **variations** de **grandeurs électriques** pour

capter, transmettre ou analyser des **informations**.

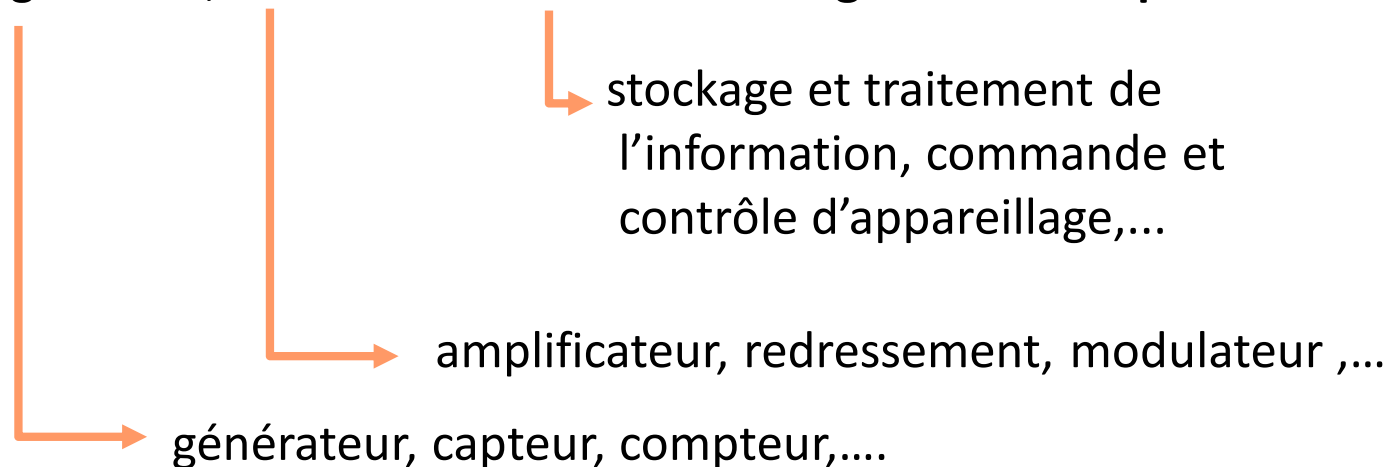
➔ Le traitement de l'information est généralement assuré par des **circuits électroniques**.

Introduction sur de l'électronique

- *Qu'est-ce qu'un circuit électronique ?*

Un ensemble de **composants** (résistances, condensateurs, diodes, transistors, circuits intégrés: AOP, microprocesseurs, ...)
qui agissent sur les courants et tensions électriques

→ ils engendrent, modifient et utilisent des **signaux électriques**.



Introduction sur de l'électronique

Le courant électrique

I. Nature du courant

II. Définition

Question

Sens de déplacement du courant

II. Intensité du courant électrique

Définition

Formule

III. Valeurs remarquables du courant électrique

IV. Appareil de mesure

Branchement

Exemples

Introduction sur de l'électronique

I. Nature du courant

Définition

Le courant électrique est produit par le déplacement d'électrons dans un matériaux conducteur.

Il faut **3 conditions pour l'établissement** d'un courant électrique:

1. Une source d'énergie

Pile



Batterie



Alimentation stabilisée



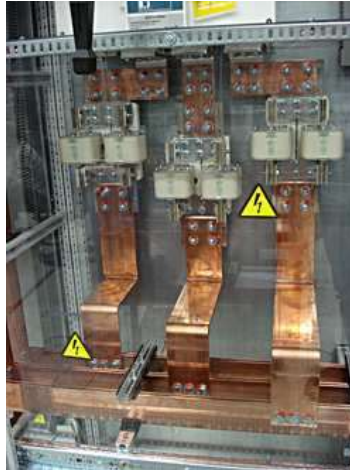
Introduction sur de l'électronique

2. Un matériaux conducteur

Fil de cuivre



Jeux de barres métalliques

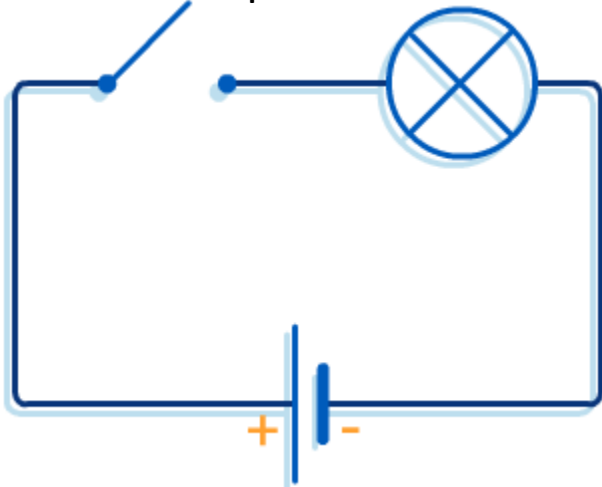


Piste de circuit imprimé

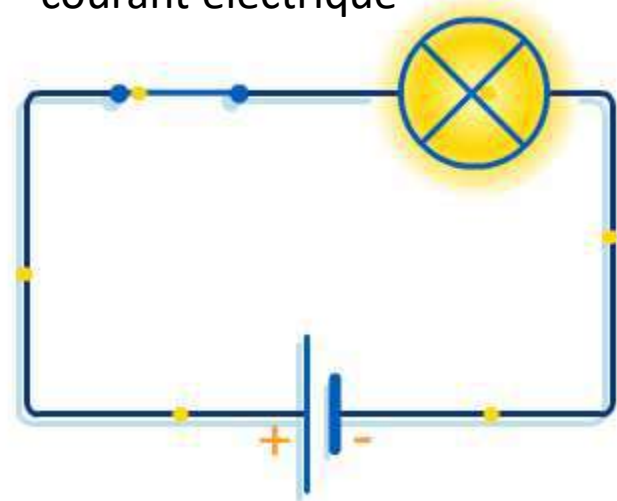


3. Un circuit fermé

Circuit ouvert: pas de courant électrique

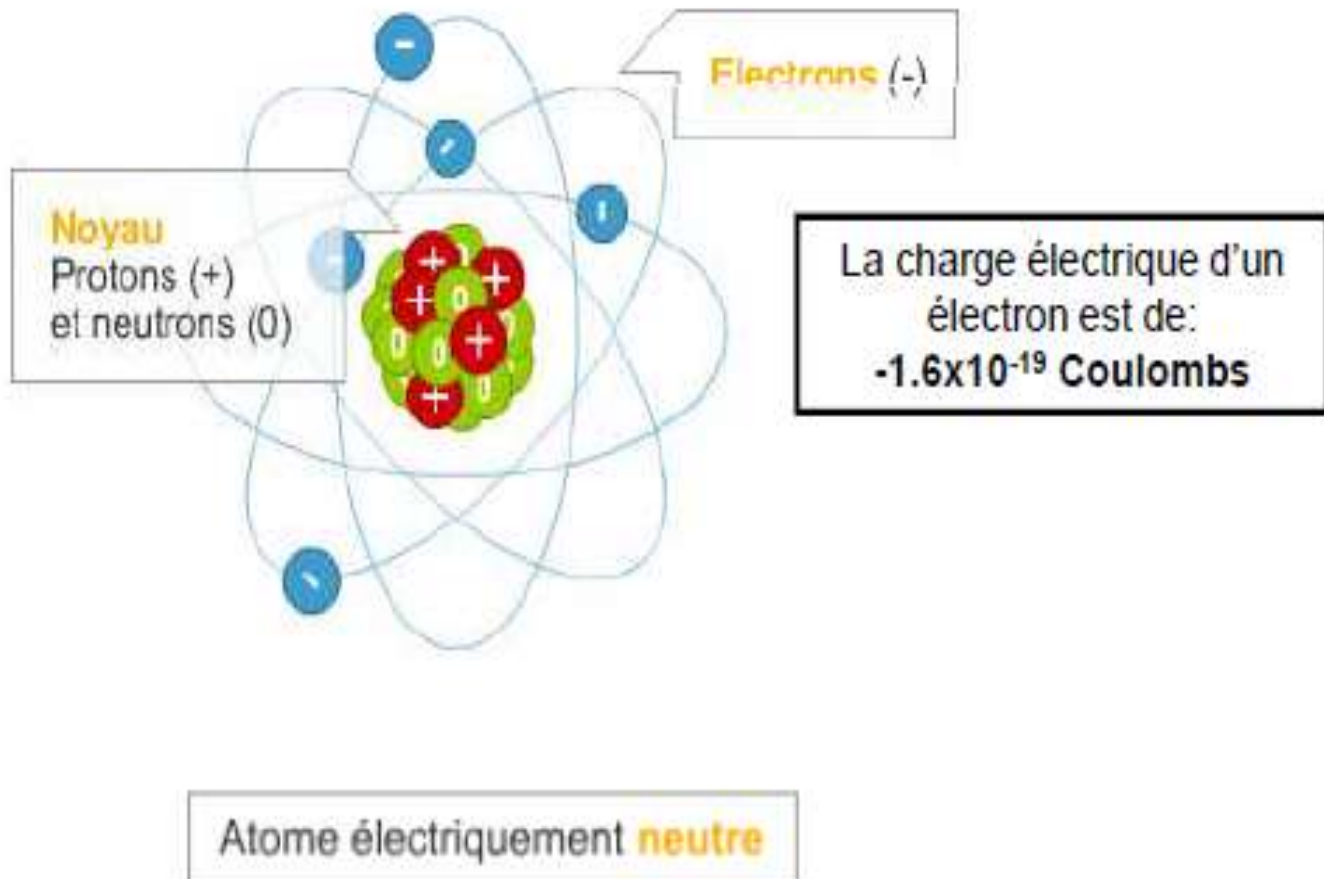


Circuit fermé: circulation d'un courant électrique



Introduction sur de l'électronique

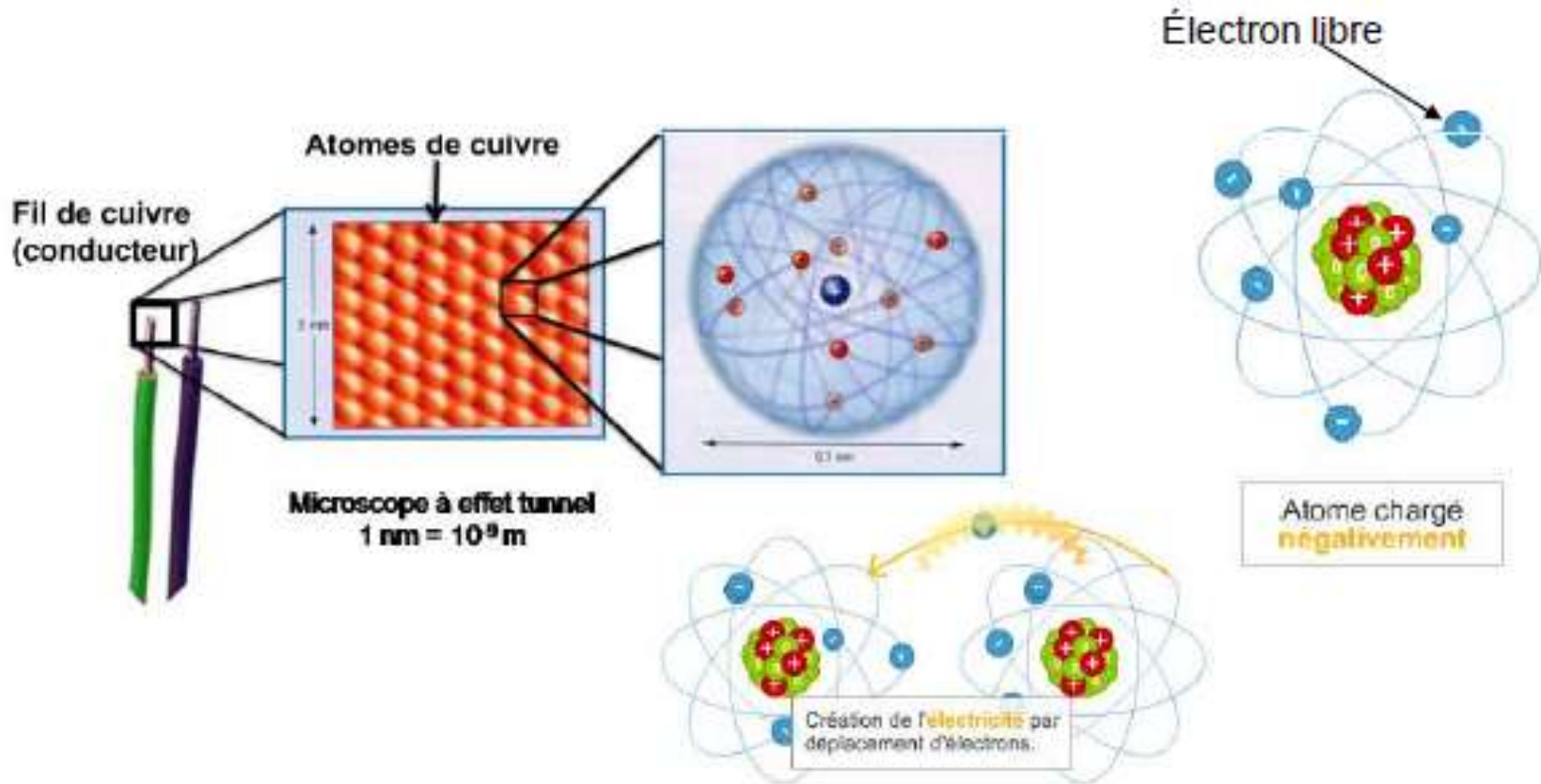
L'électron est une charge électrique élémentaire de signe négatif qui fait partie des éléments de l'atome.



Introduction sur de l'électronique

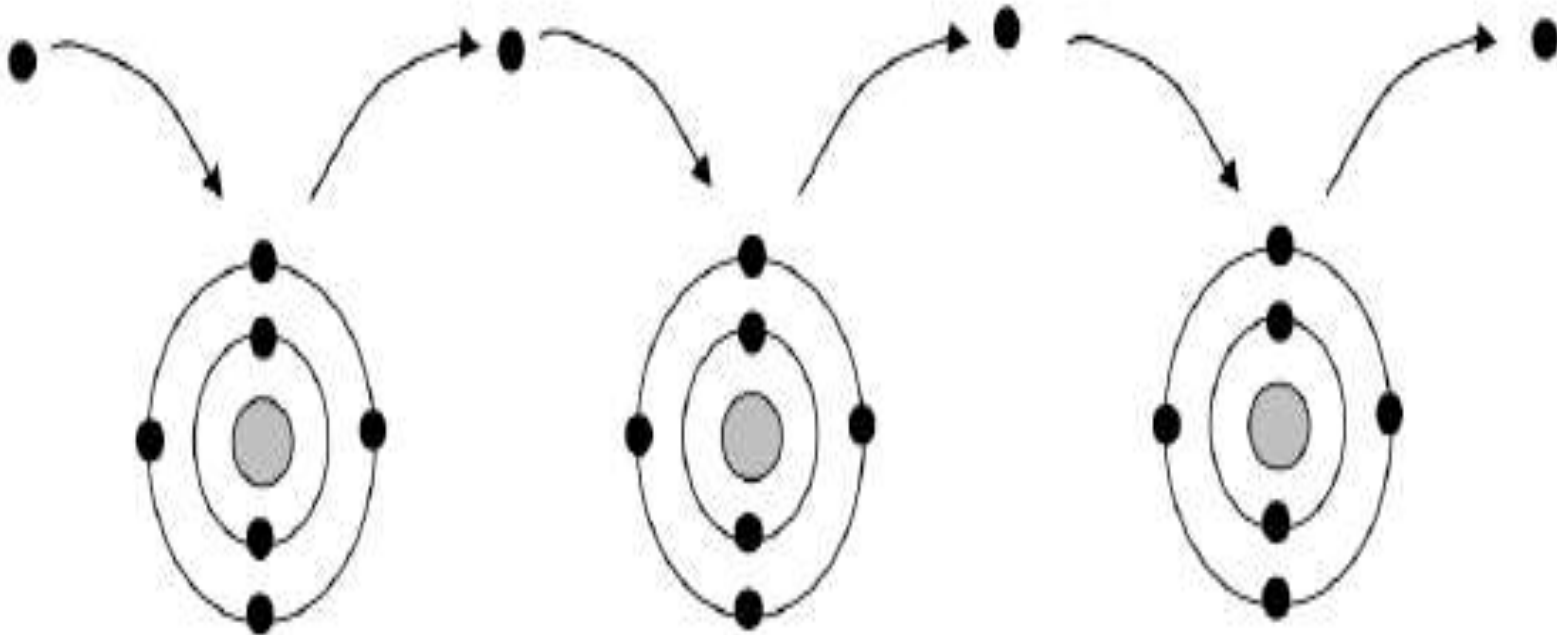
Question est :

Toute matière étant constitué d'atomes, pourquoi certains matériaux sont conducteurs et d'autres non?



Introduction sur de l'électronique

Les électrons libres se déplacent donc par bond d'un atome vers un autre.

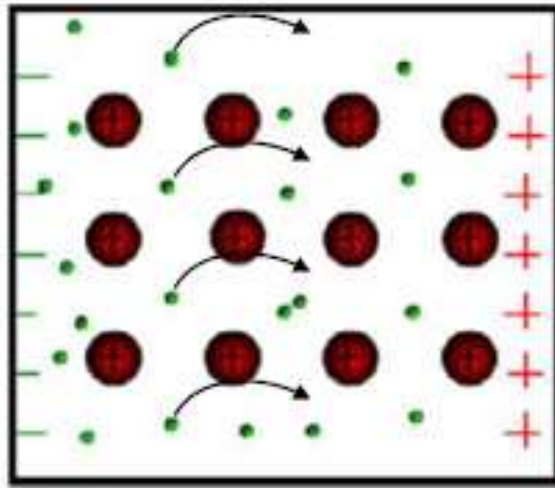


Introduction sur de l'électronique

Sens de déplacement du courant

1. Sens réel de déplacement des électrons

Cuivre placé dans un circuit

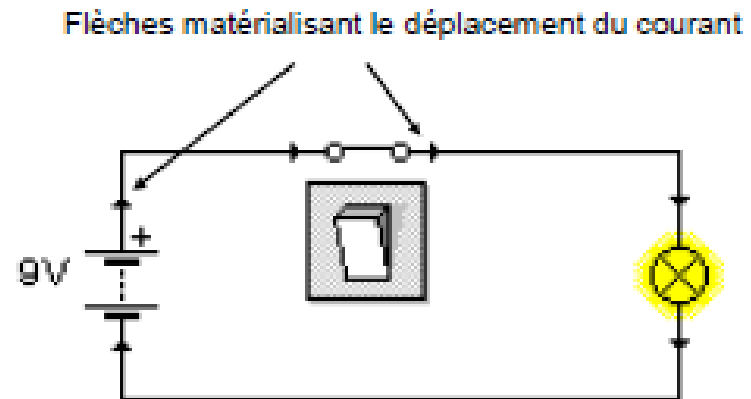
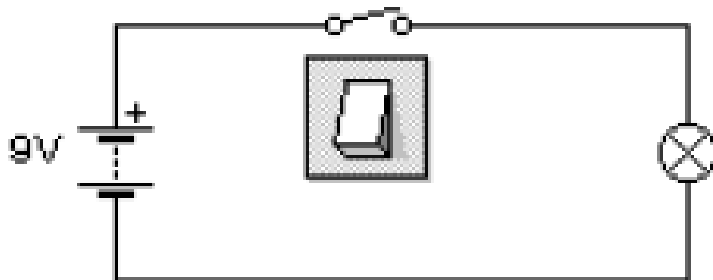


Les électrons se déplacent du (-) vers le (+)

Introduction sur de l'électronique

Sens réel de déplacement des électrons

2. Sens conventionnel

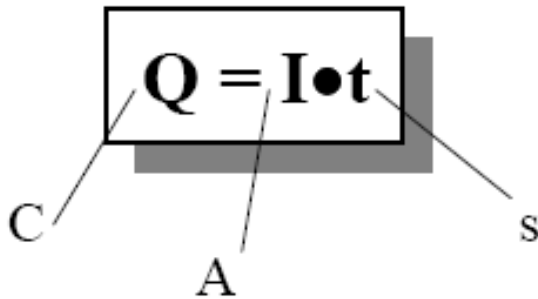


**Le sens conventionnel du courant a été choisi
arbitrairement du (+) vers le (-) à l'extérieur du générateur**

Introduction sur de l'électronique

L'intensité du courant électrique est définie comme la quantité de charges électriques à travers une surface donnée, notamment la section d'un fil électrique pendant une unité de temps.

Formule est :

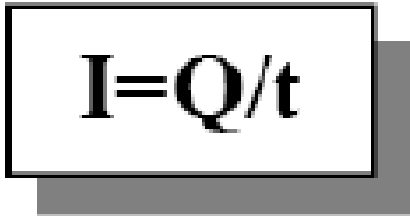

$$Q = I \cdot t$$

The diagram shows the formula $Q = I \cdot t$ inside a box. Three lines point from labels below to the variables: 'C' points to 'Q', 'A' points to 'I', and 's' points to 't'.

Les Grandeurs sont:
Q : Quantité d'électricité
I: Intensité du courant
t: temps

Les unités sont:
C : Coulombs
A: Ampère
s: secondes

De cette formule on peut déduire la formule de l'intensité du courant:


$$I = Q / t$$

The diagram shows the derived formula $I = Q / t$ inside a box.

Introduction sur de l'électronique

Valeurs remarquables du courant électrique:

Ordres de grandeur de l'intensité du courant électrique.

Ordre de grandeur	Dispositif
1 mA	Seuil de perception
10 mA	DEL commune
100 mA	Électrocution. Un courant alternatif de 75 mA à 50-60 Hz appliqué durant une seconde produit une fibrillation ventriculaire, létale sans intervention rapide.
1 A	Ampoule à incandescence
10 A	Radiateur
100 A	Démarrreur automobile
1 kA	Moteur de locomotive
10 kA	éclair négatif ¹
100 kA	éclair positif ¹

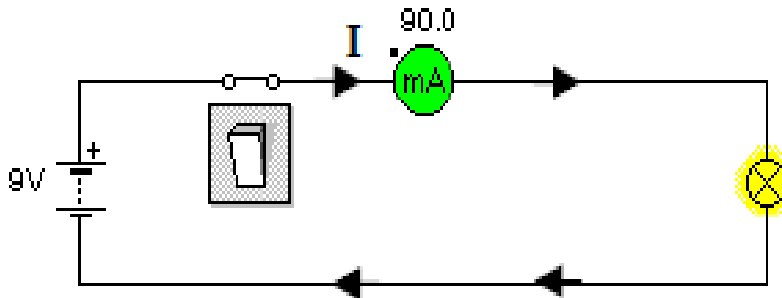
Introduction sur de l'électronique

Représentation de l'intensité dans un schéma:

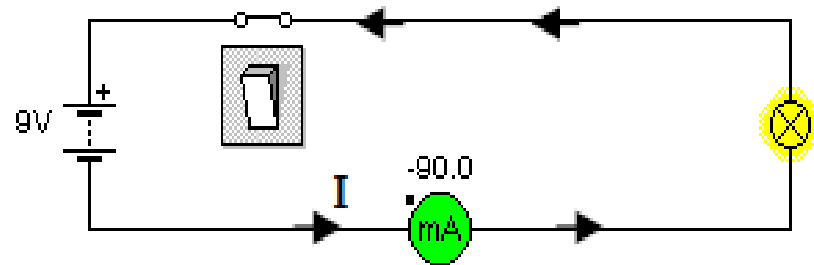
L'intensité du courant électrique est représentée sur les schéma par une flèche avec au dessus le nom de la grandeur: (I , I_1 , I_2 etc...)



Il n'est pas obligatoire de représenter la flèche du courant en respectant le sens conventionnel



Dans le cas où le sens de la flèche est le même que sens conventionnel, la valeur algébrique du courant (mesurée ici par un ampèremètre) sera positive.



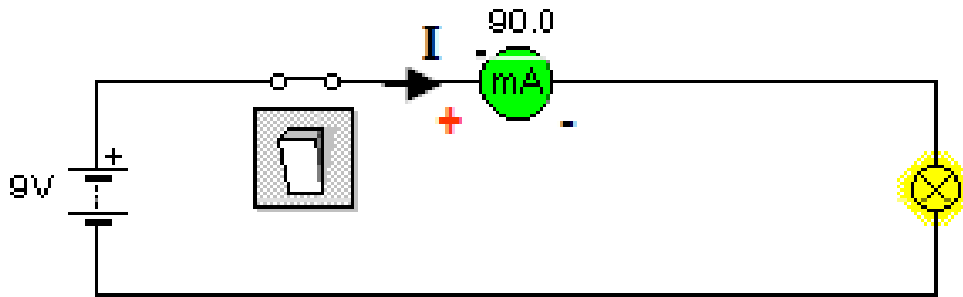
Dans le cas où le sens de la flèche est de sens inverse au sens conventionnel, la valeur algébrique du courant (mesurée ici par un ampèremètre) sera négative.

Introduction sur de l'électronique

Appareil de mesure:

Branchement

L'intensité du courant électrique se mesure avec un ampèremètre placé en série dans le circuit.



Pour que la valeur mesurée soit juste il est nécessaire de respecter les polarités de l'appareil. (le courant rentre par la borne (+) de l'appareil et sort par la borne (-)).

Si l'ampèremètre est branché en inverse la valeur mesurée sera de signe contraire à celle attendue.

Introduction sur de l'électronique

Appareil de mesure:

▪Exemples

Multimètre digital



Multimètre de table



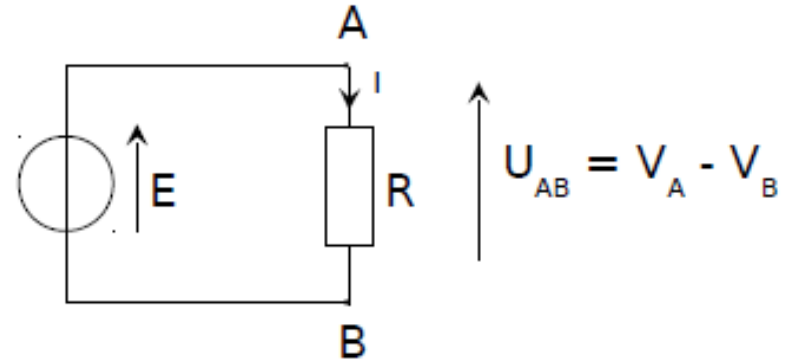
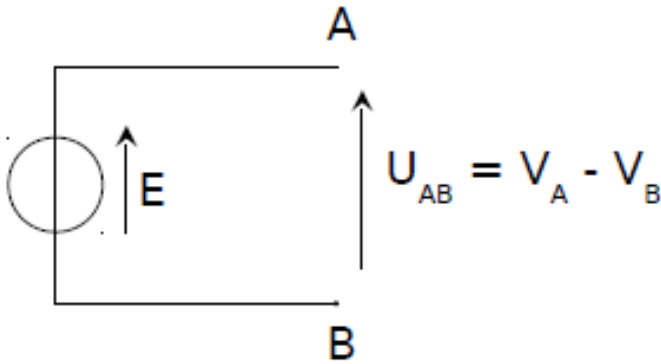
Multimètre analogique



Pince ampèremétrique

Introduction sur de l'électronique

La tension électrique

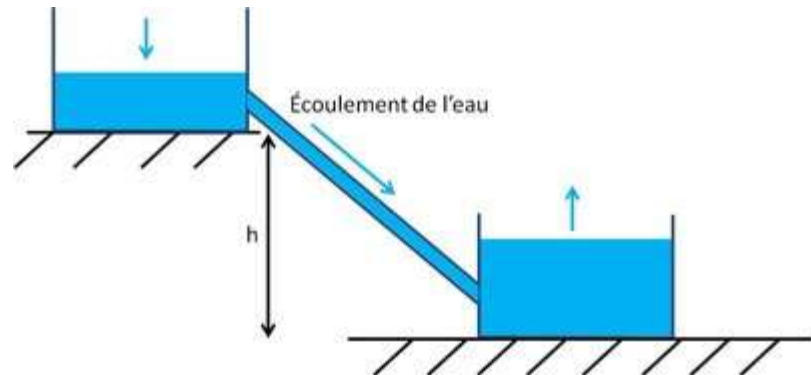


La tension est une différence de potentiel électrique entre deux points.

Elle produit un courant électrique lorsque ces deux points sont reliés entre eux par une chaîne de conducteurs.

La tension comme le potentiel électrique s'exprime en Volt (V).

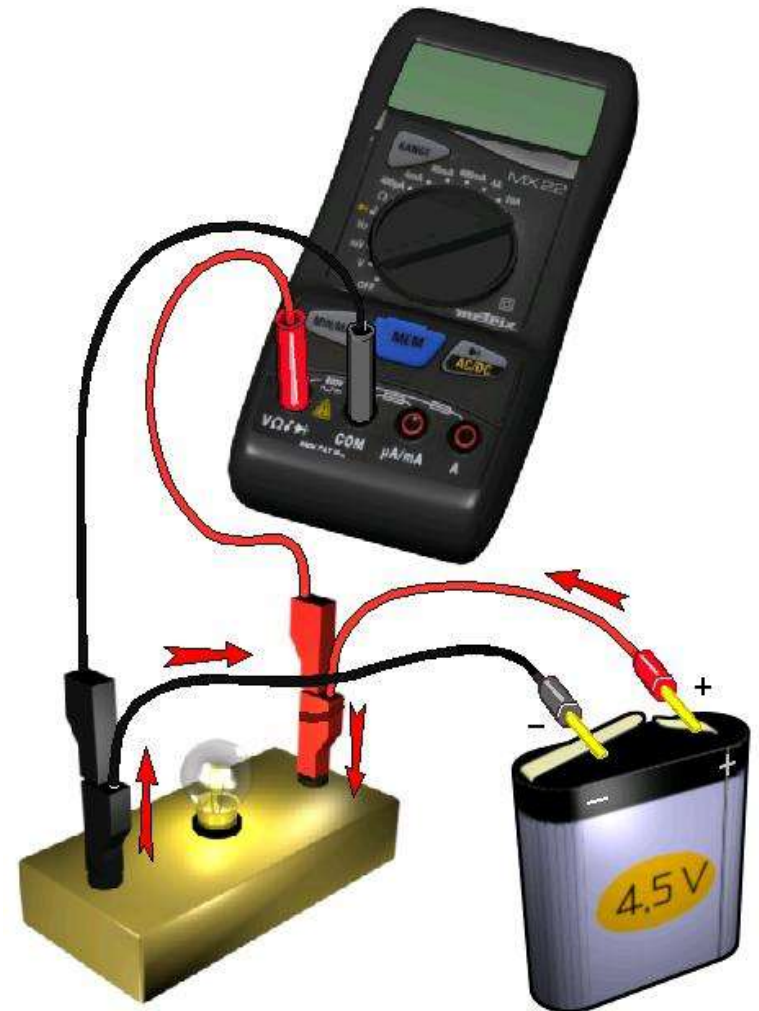
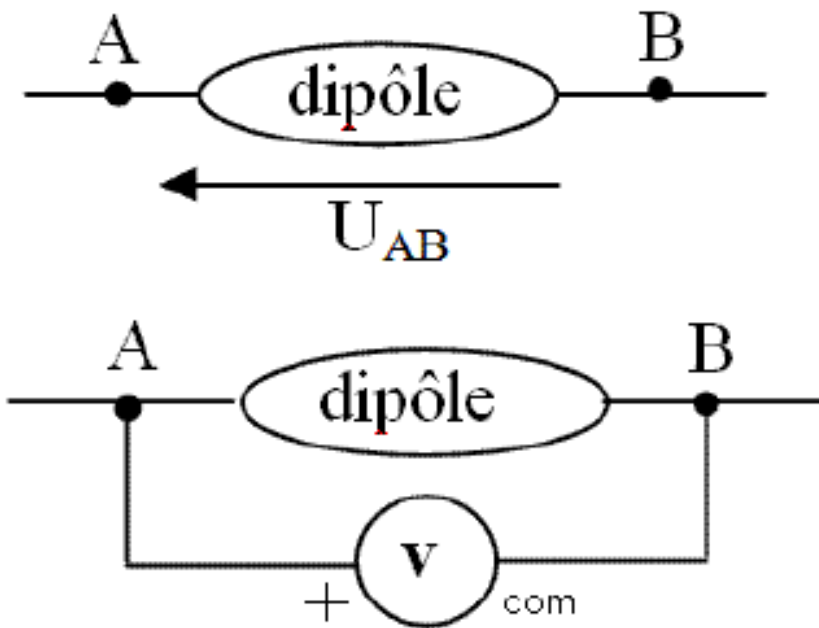
Analogie hydraulique :



Introduction sur de l'électronique

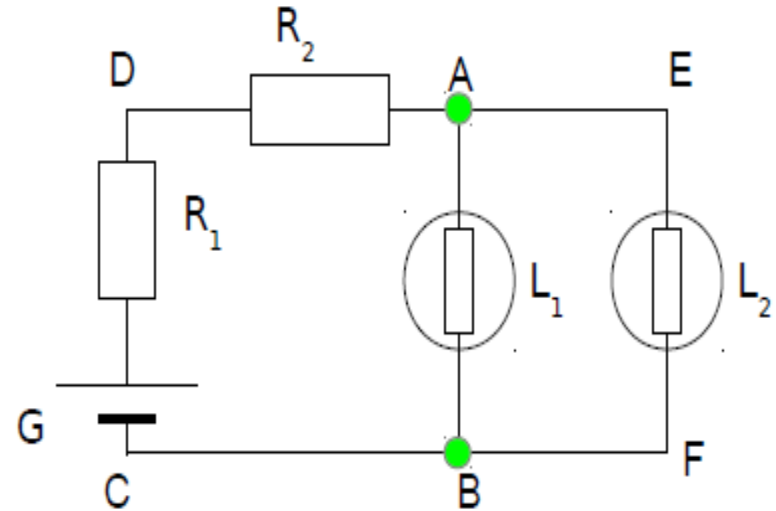
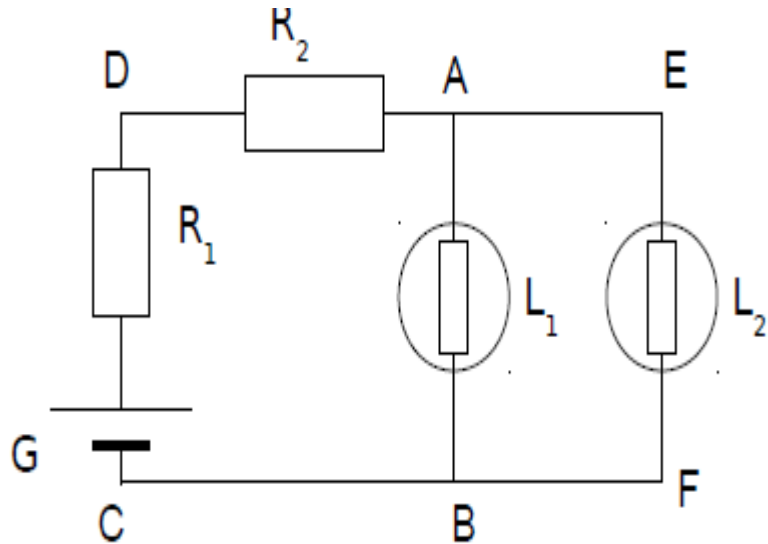
Mesure de la tension électrique

Elle s'effectue avec un voltmètre. Il doit être monté en dérivation dans le circuit pour avoir à ses bornes la différence de potentiel à mesurer.



Introduction sur de l'électronique

Circuit électrique

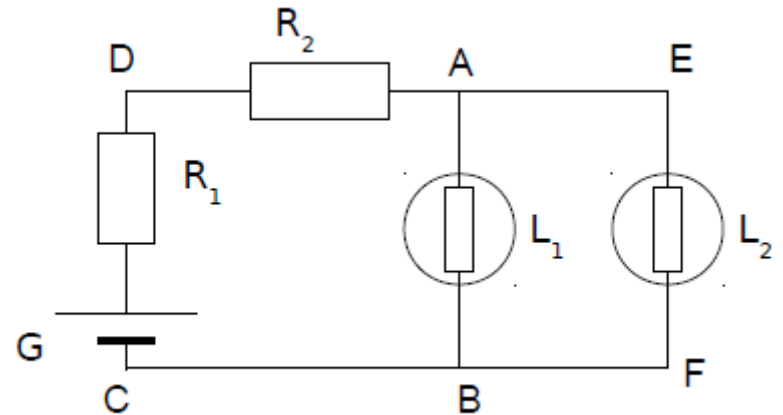
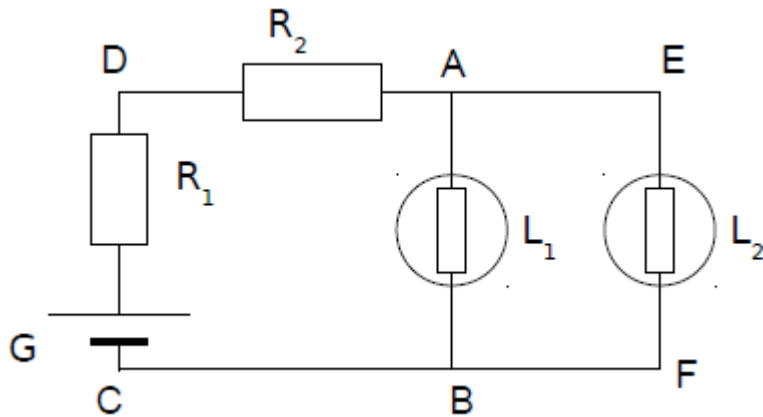


1) Un **noeud** est une connexion qui réunit plus de deux dipôles.

Exemple: A et B.

Introduction sur de l'électronique

Circuit électrique

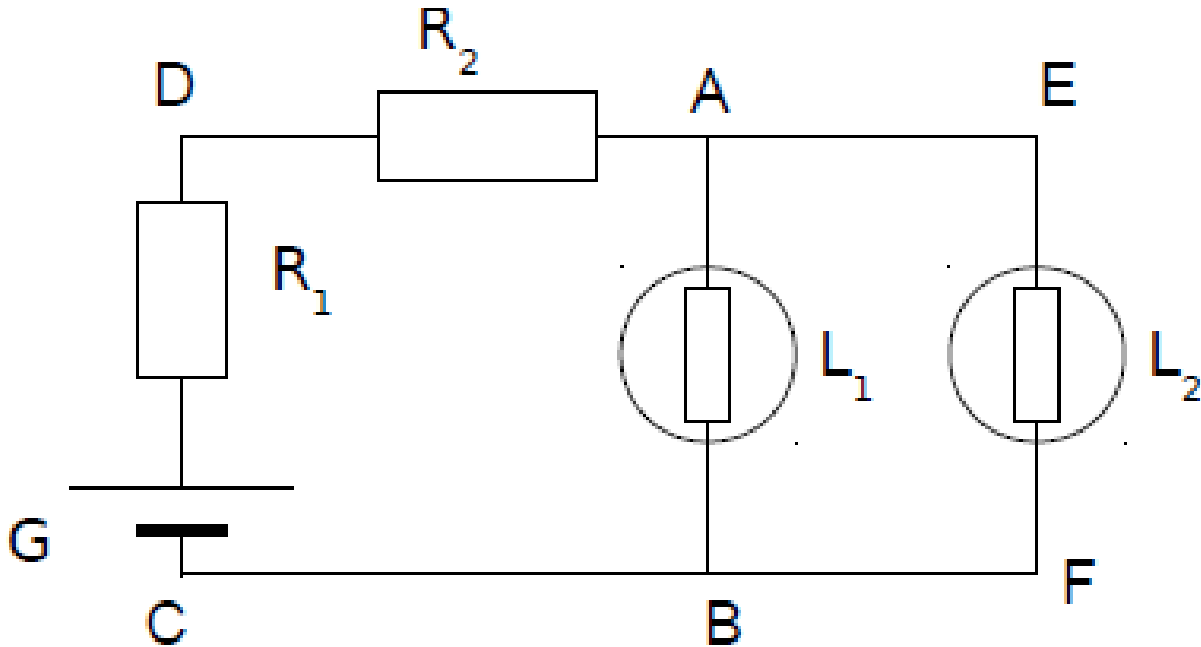


2) Une **branche** est une portion de circuit comprise entre deux **noeuds consécutifs**.

Exemple: Il y a trois branches entre les noeuds A et B.

Introduction sur de l'électronique

Circuit électrique

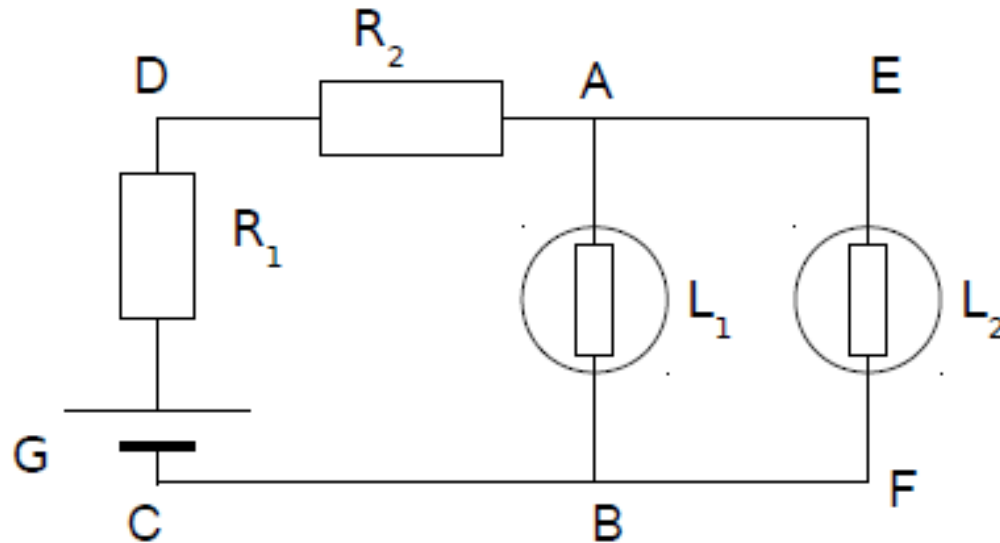


3) Une **maille** est un chemin fermé.

Exemple: 3 mailles : ABCD, ABEF et CDFE

Introduction sur de l'électronique

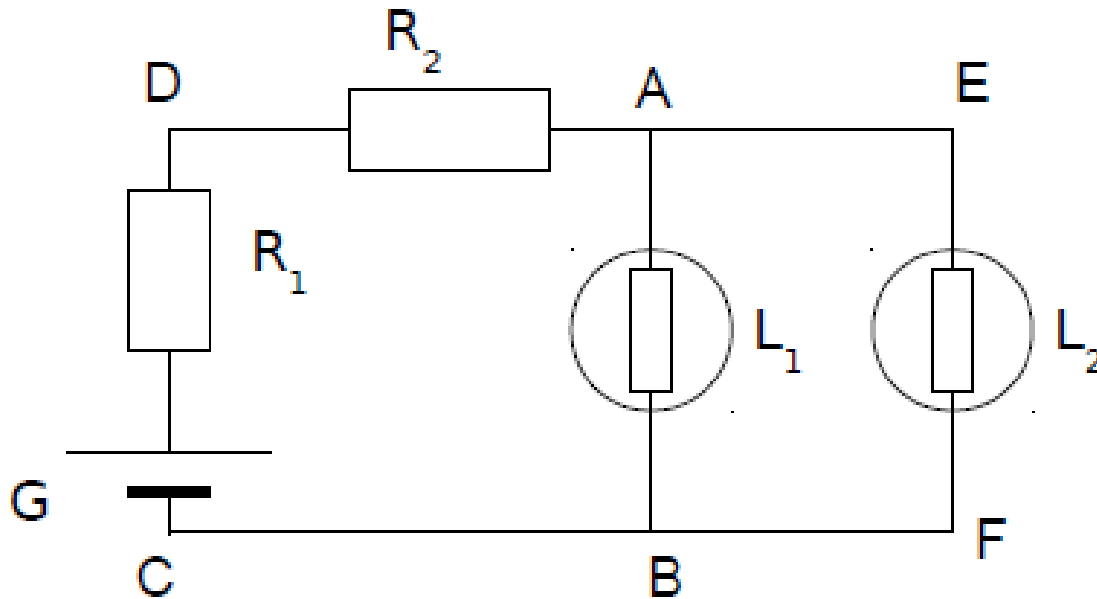
Circuit électrique



4) Des dipôles sont en **série** quand ils appartiennent à la même **branche**, ou à un circuit ne comportant qu'une maille.

Exemple: G , R_1 et R_2 sont en série.

Circuit électrique

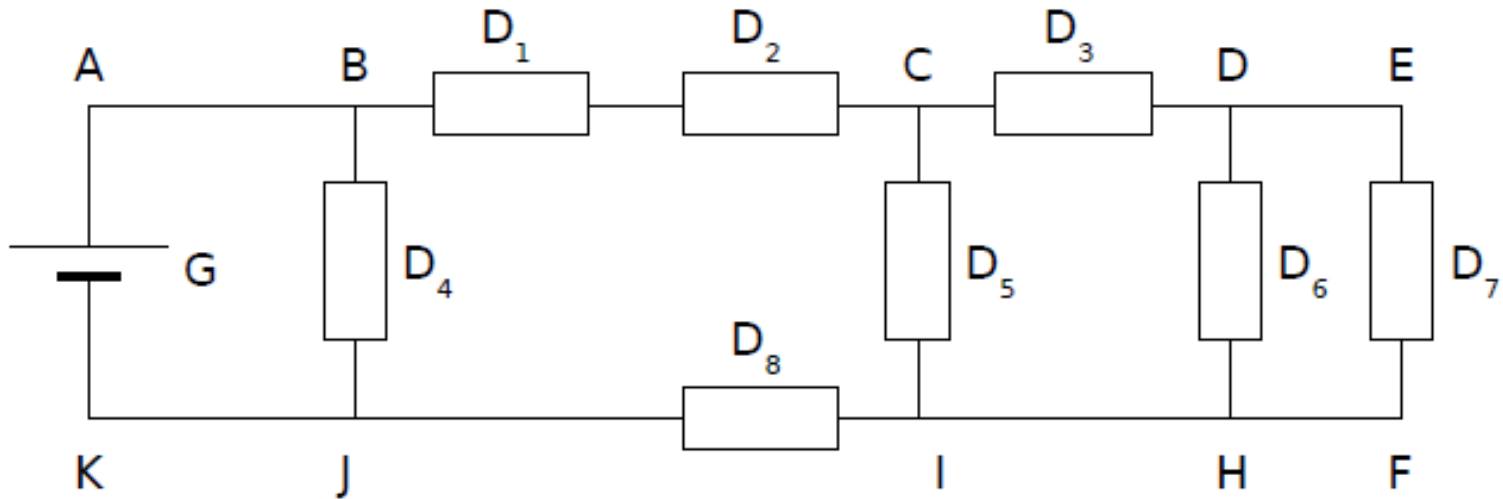


5) Des dipôles sont en **parallèle** s'ils sont compris entre deux **neuds consécutifs**

Exemple: L_1 et L_2 sont en parallèle entre A et B .

Introduction sur de l'électronique

Circuit électrique



Exercice d'application n°1.

- 1) Combien y a-t-il de noeuds? Les nommer.
- 2) Combien y a-t-il de branches? Les nommer.
- 3) Combien y a-t-il de mailles?
- 4) Quels dipôles sont en série?
- 5) Quels dipôles sont en parallèle?

Introduction sur de l'électronique

Notion d'Energie et de Puissance

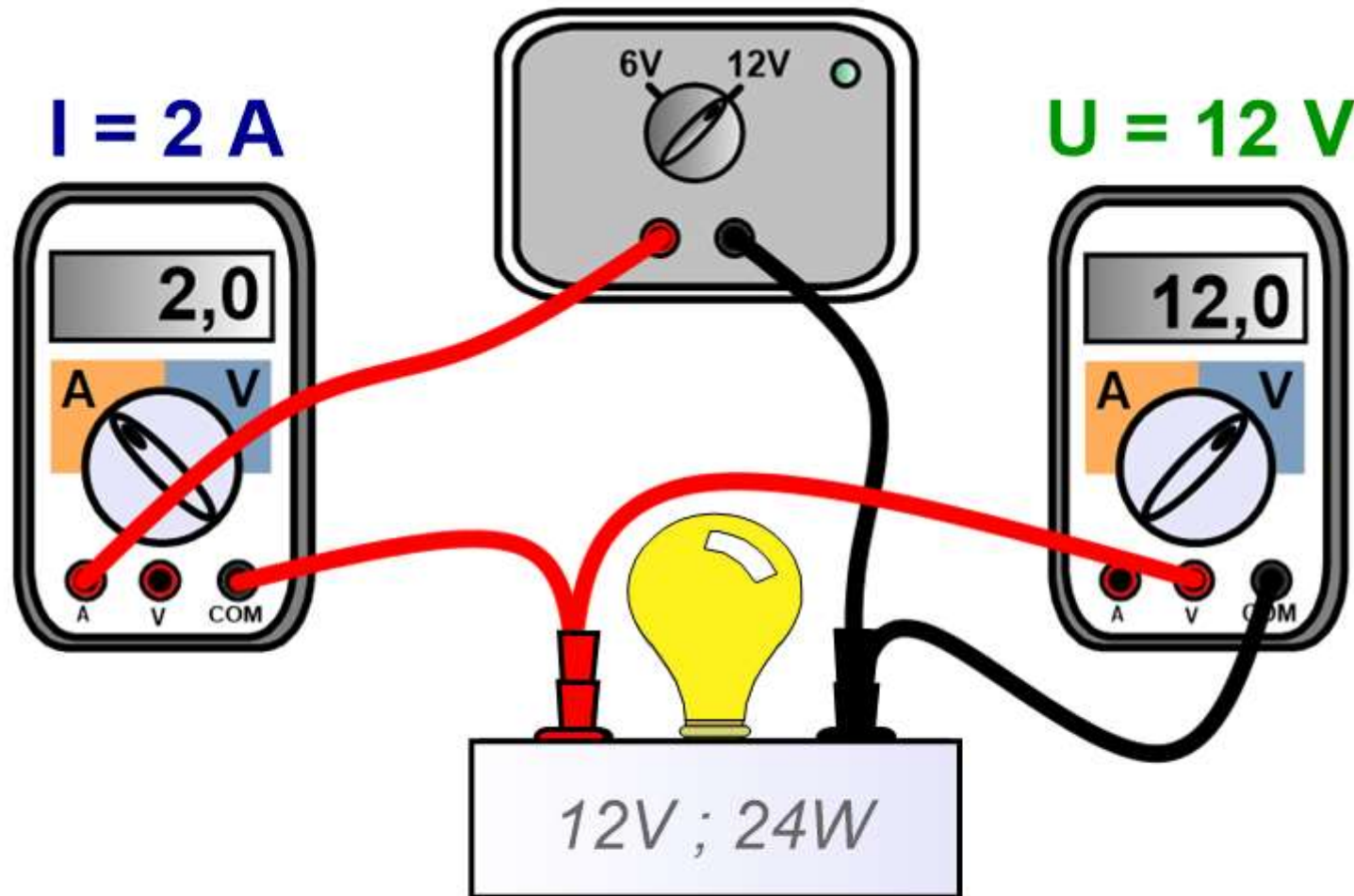
Energie ou travail : d'une façon générale, l'énergie ou le travail (en Joule) représente ce qu'il faut fournir à un système pour l'amener d'un état initial à un état final. La manière dont le chemin est parcouru entre les 2 états n'a pas d'importance.

Puissance : elle caractérise le débit d'énergie fourni à chaque instant (instantanément) entre l'état initial et l'état final. Elle ne dépend ni de l'état initial, ni de l'état final du système, mais permet de décrire les flux d'énergie entre ces deux états.

La puissance correspond à l'énergie échangée (reçue ou donnée) pendant une seconde.

Introduction sur de l'électronique

Puissance électrique

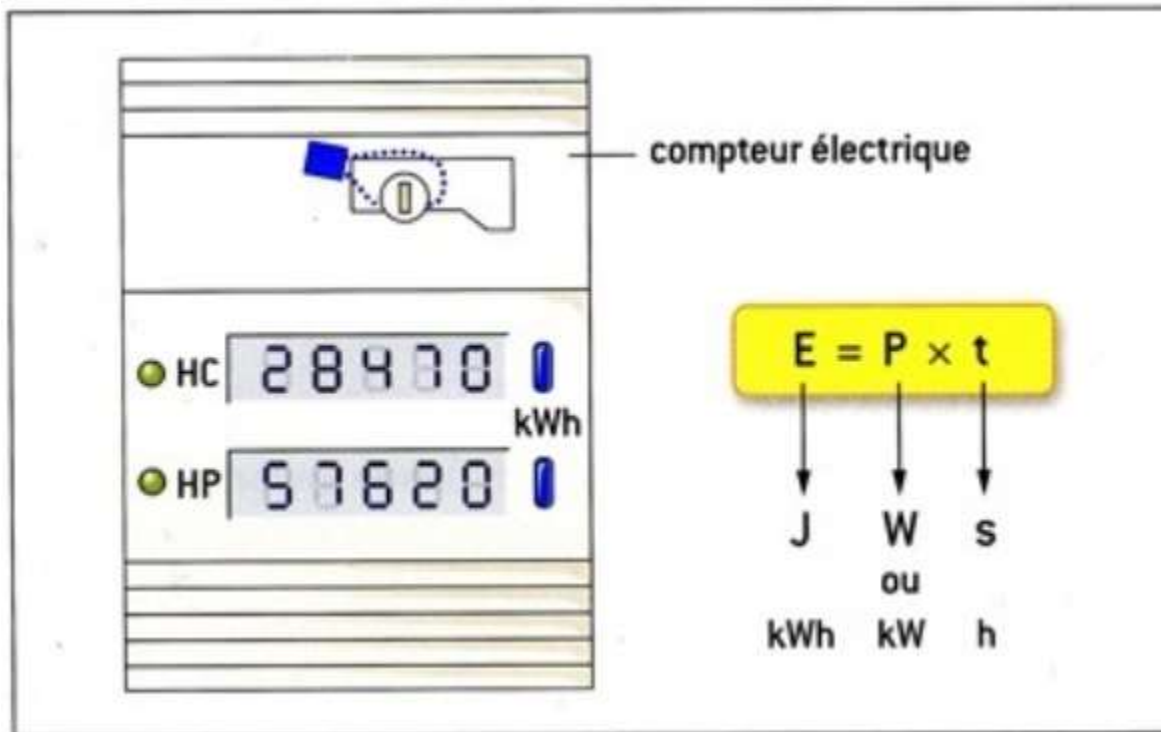


$$P = U \times I = 12 \times 2 = 24\text{ W}$$

L'énergie électrique E transférée pendant une durée t à un appareil de puissance P est égale au produit :

$$E = P \times t$$

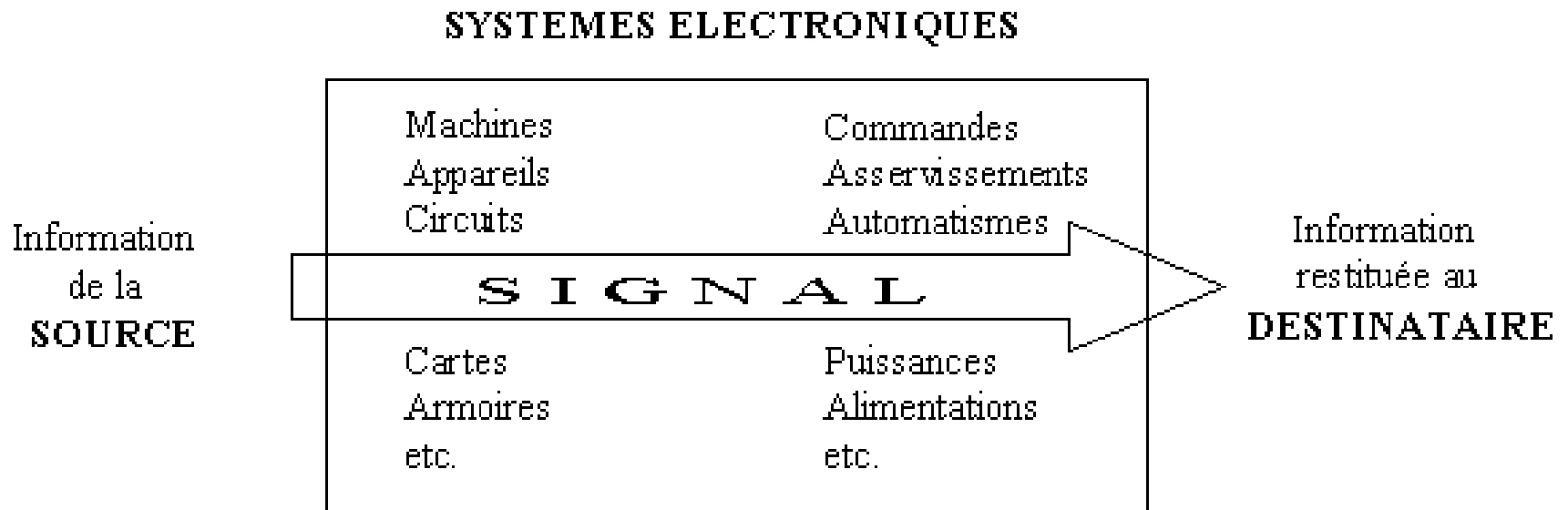
En joule (J) En Watt (W) En seconde (s)



Introduction sur de l'électronique

LE SIGNAL ELECTRONIQUE

Une définition générale et théorique que nous pouvons accepter du signal électronique est : *Un signal est la représentation physique d'une information qui transite dans un système de la source jusqu'au destinataire.*



Introduction sur de l'électronique

LE SIGNAL ELECTRONIQUE

Un signal est la variation d'une grandeur électrique qui peut être une tension (exprimée en Volts (V)) ou un courant (exprimé en Ampères (A)).

Pour une tension on parle aussi de différence de potentiel (différence de deux tensions à deux points différents du circuit électronique). En général la tension (ou différence de potentiel est référencée sur un point du circuit par rapport à la masse (0V)).

Pour un courant on parle aussi d'intensité du courant circulant à travers un composant du circuit (résistance, potentiomètre, inductance, condensateur, diode électroluminescente,...).

Introduction sur de l'électronique

Représentations d'un signal

La représentation temporelle

$$U = f(t)$$

L'oscilloscope est l'appareil qui permet sa mesure et sa visualisation.

Cette représentation permet de visualiser:

La forme, l'amplitude et la période du signal.

La représentation spectrale

$$U = f(f)$$

L'analyseur spectral est l'appareil qui permet sa mesure et sa visualisation.

Cette représentation permet de visualiser:

Les diverses fréquences contenues dans le signal.

La représentation vectorielle

Vecteurs tournants

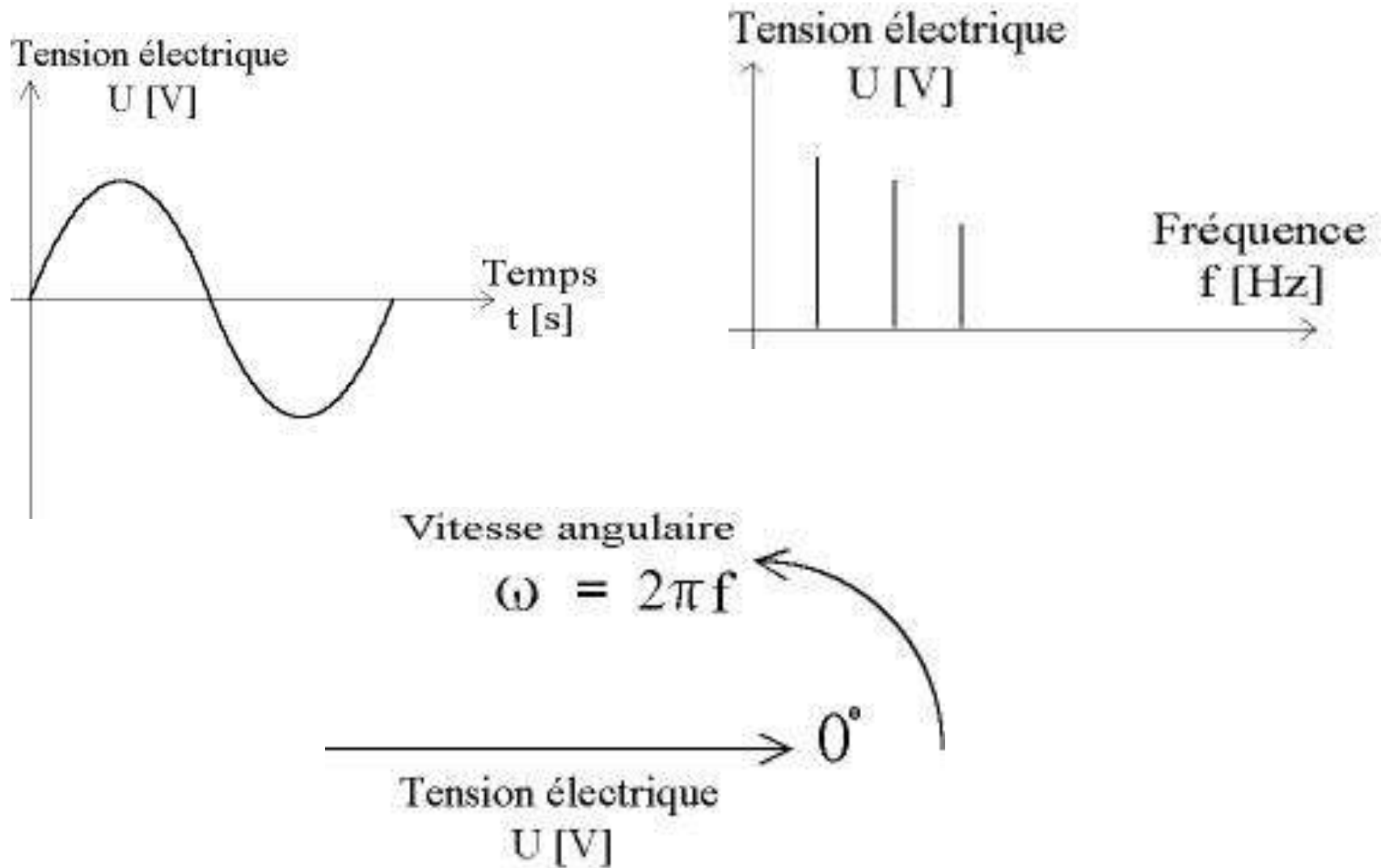
Le vecteurscope est l'appareil qui permet sa mesure et sa visualisation.

Cette représentation permet de visualiser:

La phase et l'amplitude du signal.

Introduction sur de l'électronique

Représentations d'un signal



Introduction sur de l'électronique

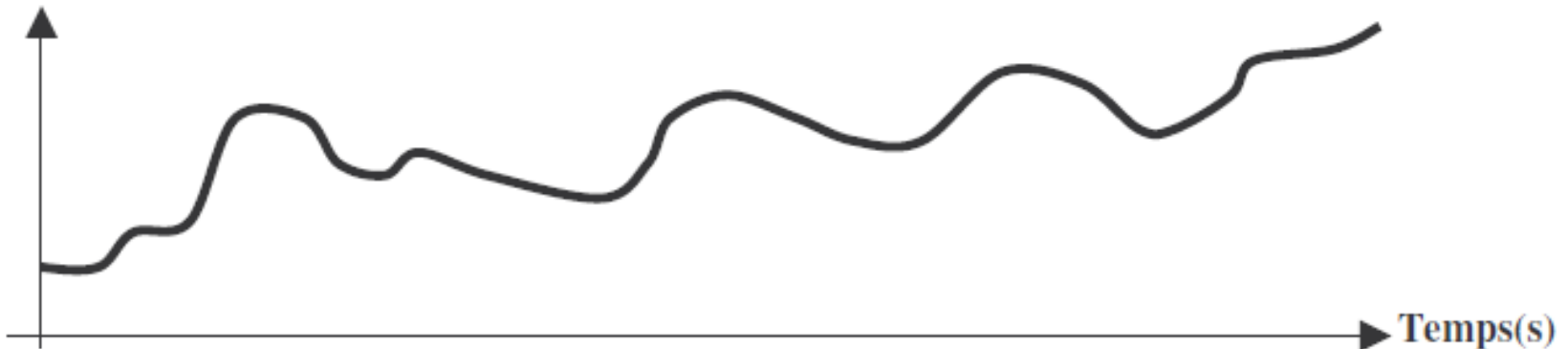
Classification des signaux

Il existe trois grands types de signaux :

- les signaux analogiques,**
- les signaux logiques,**
- les signaux numériques**

Les signaux analogiques Ce sont des signaux dont la grandeur électrique (courant ou tension) varie de façon continue dans le temps.

Grandeur électrique

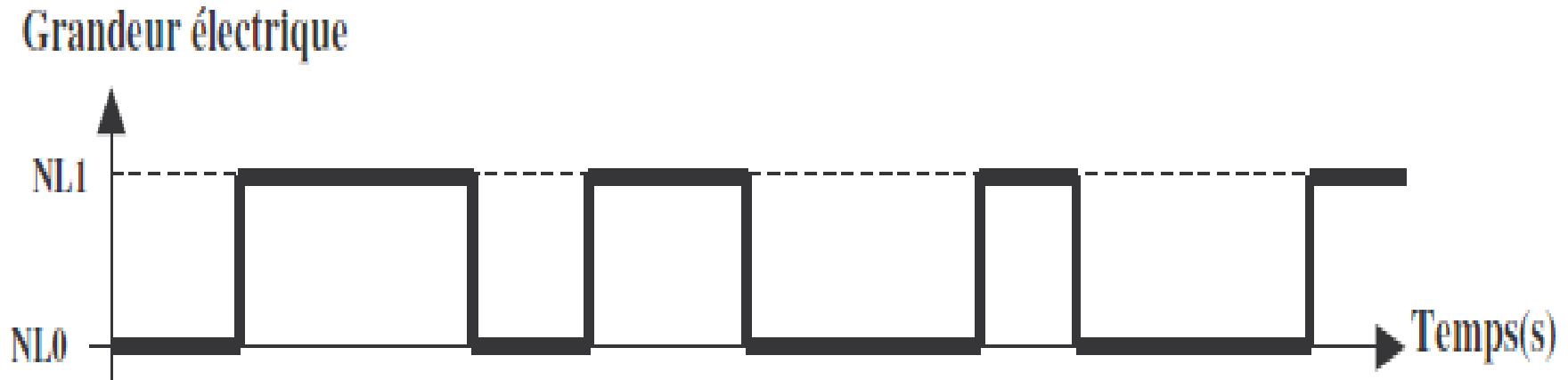


Introduction sur de l'électronique

Les signaux logiques

Ce sont des signaux dont la grandeur électrique (**courant ou tension**) **ne peut prendre** que deux valeurs distinctes.

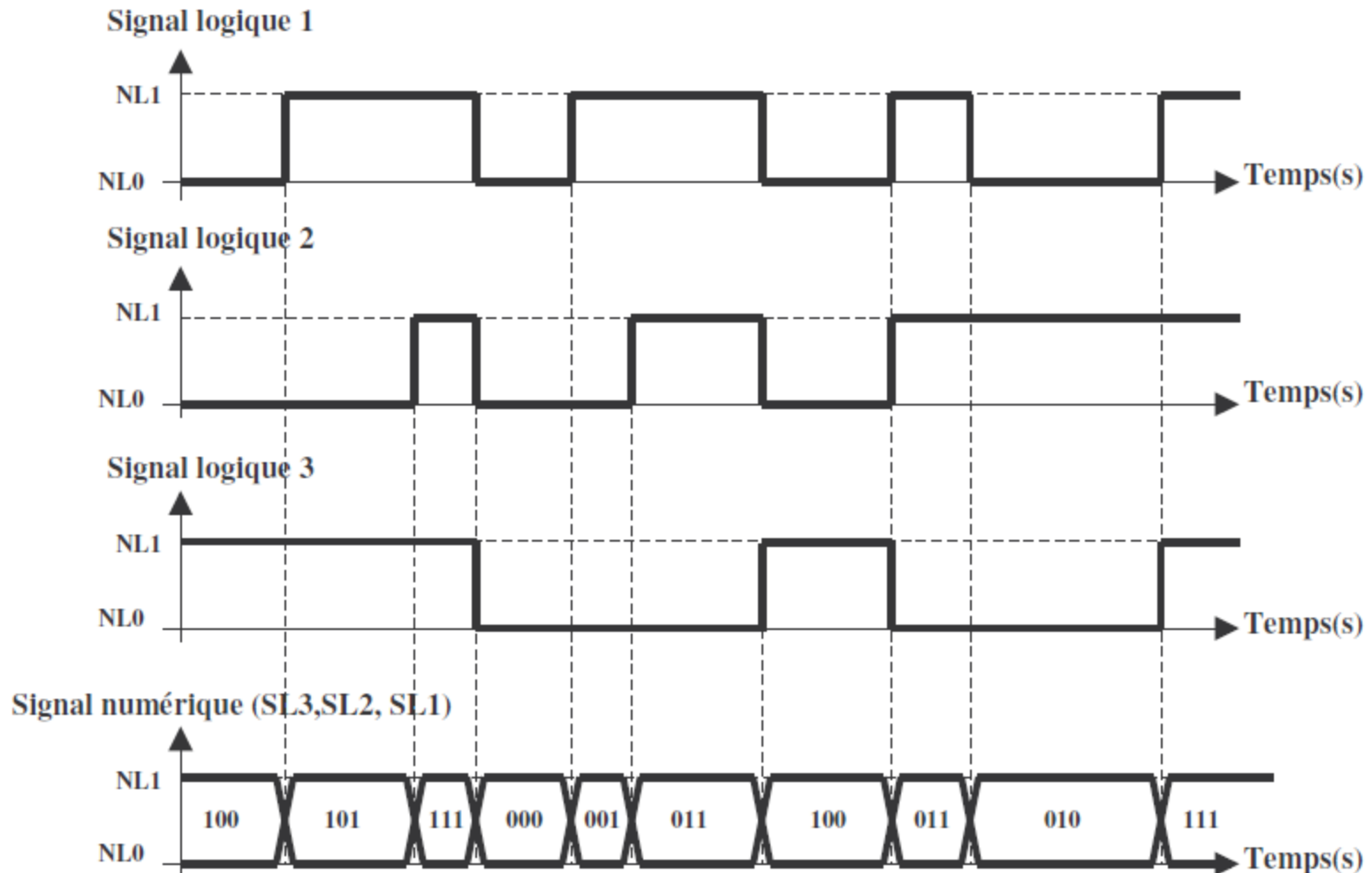
Pour ces deux valeurs on parlera d'un niveau logique 1 (NL1) ou d'un niveau logique 0 (NL0).



Les signaux numériques

Contrairement aux autres signaux, ils n'ont pas qu'une seule composante (ils circulent sur plusieurs fils constituant eux-même un **bus**). Il faut **plusieurs conducteurs pour faire** circuler l'information.

Ils sont en fait constitués de plusieurs signaux logiques qui représentent **un nombre codé en binaire**.

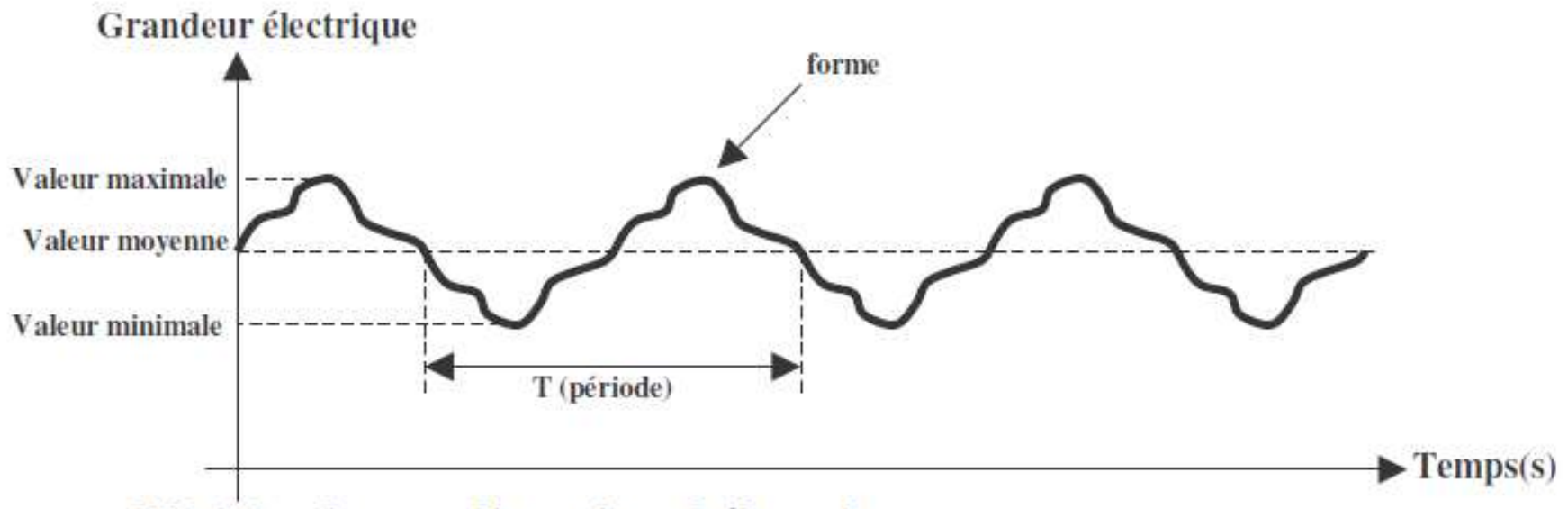


Introduction sur de l'électronique

Caractérisation des signaux électriques

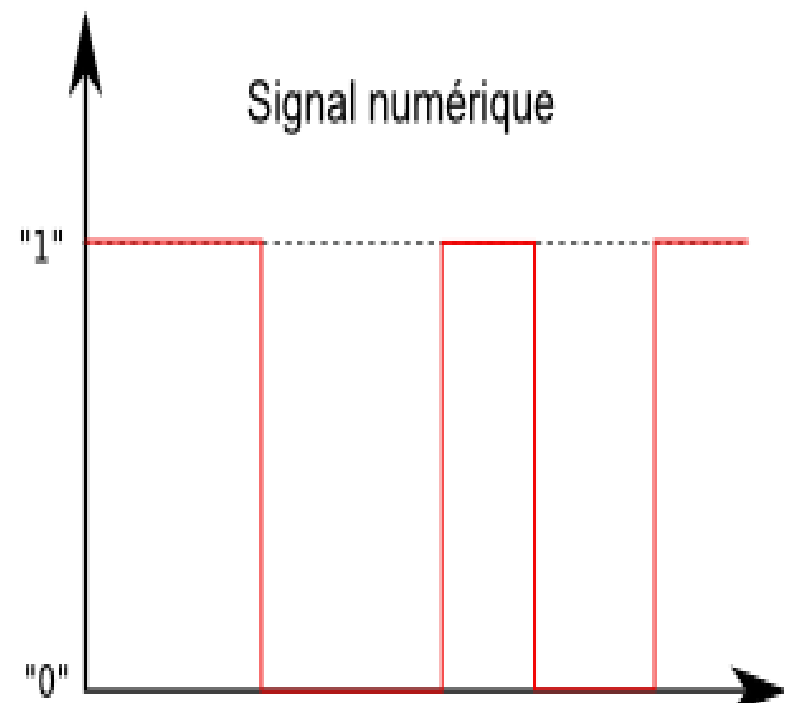
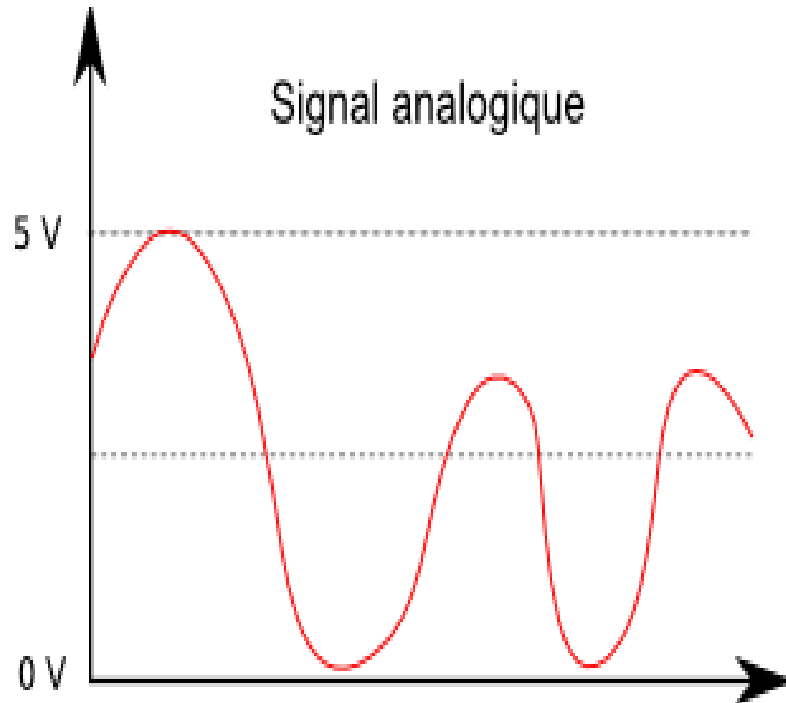
On caractérise un signal électrique par :

- sa **forme**,
- sa **période (ou fréquence)**,
- son **amplitude**,
- sa **valeur moyenne (ou sa composante continue)**.



Introduction sur de l'électronique

Classification des signaux



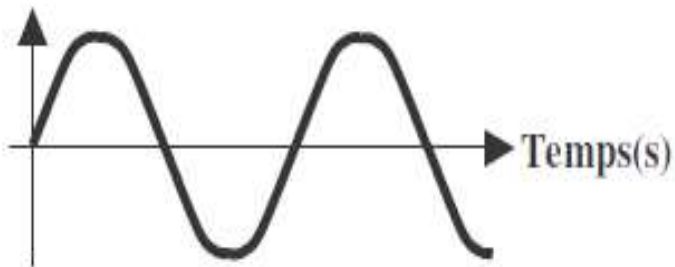
Un signal analogique est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs, alors que le signal numérique est un signal discret (discontinu), qui se résume en une succession de « 0 » et de « 1 ».

La forme d'un signal électrique

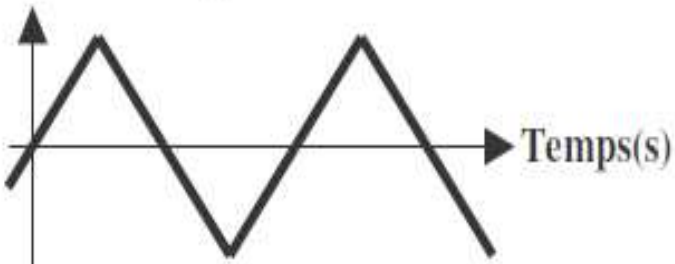
On distingue 5 formes différentes :

- forme **sinusoïdale**,
- forme **triangulaire**,
- forme **rectangulaire**,
- forme en **dent de scie**,

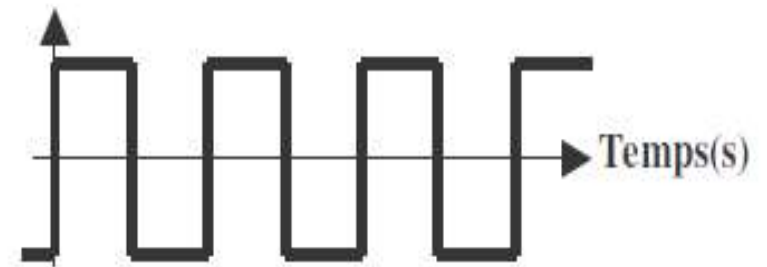
-Forme **sinusoïdale** :



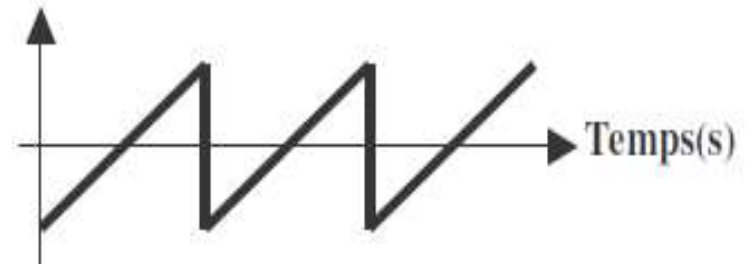
-Forme **triangulaire** :



-Forme **rectangulaire** :



-Forme **dent de scie** :



Introduction sur de l'électronique

La période d'un signal électrique

On dit qu'un signal électrique est périodique lorsque la même forme se répète par cycles .

La durée d'un cycle est définie comme étant la **période du signal électrique**.

On la note **T** et elle s'exprime en secondes.

A partir de la valeur de la **période (T)** on peut obtenir la **valeur de la fréquence (F)** à

partir de la relation suivante : **$F=1/T$**

La fréquence s'exprime en **Hertz (Htz)**.

Introduction sur de l'électronique

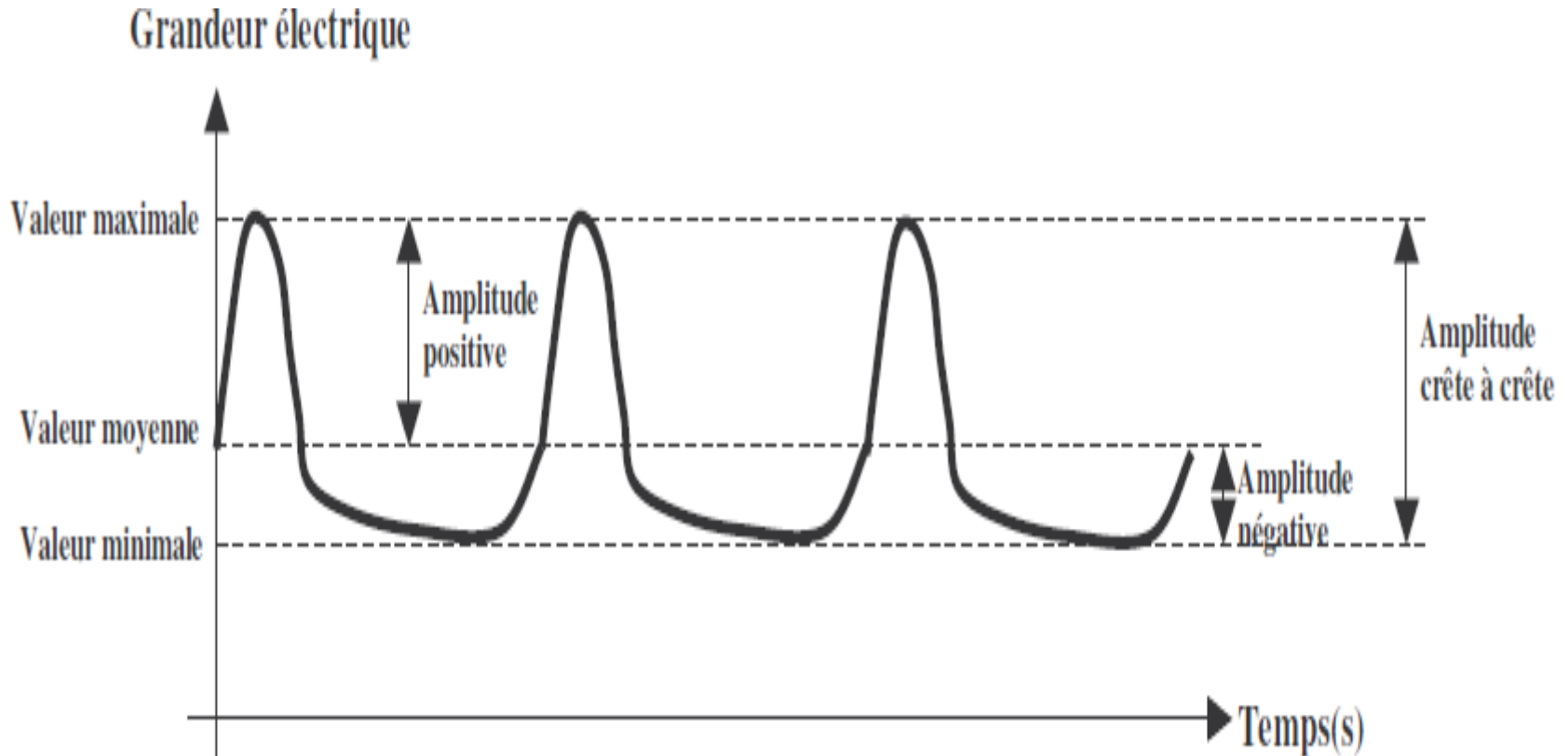
L'amplitude d'un signal électrique

On distingue plusieurs définition pour l'amplitude d'un signal électrique :

Amplitude positive=valeur maximale-valeur moyenne

Amplitude négative=valeur minimale-valeur moyenne

Amplitude crête à crête=valeur maximale-valeur minimale.



Contenu du cours

- Introduction sur de l'électronique
- L'électronique analogique (éléments passifs, éléments actifs),
- L'électronique numérique (circuits intégrés, circuit logiques,) .
- L'Application de l'électronique

L'électronique analogique (éléments passifs, éléments actifs)

Un composant électronique est un élément destiné à être assemblé avec d'autres afin de réaliser une ou plusieurs fonctions électroniques.

Qu'est-ce qu'une fonction électronique ?

Grosso modo, la fonction électronique est le « pourquoi » d'un objet électronique.

Lorsque vous utilisez un amplificateur audio, la fonction électronique est l'amplification du signal d'entrée



.Les composants à une patte

Il en existe peu, mais il y en a, sachez-le. Parmi eux, les antennes ou certaines résistances particulières, dites « de puissance ».

.Les composants à deux pattes : les dipôles

Les dipôles constituent la plus importante famille de composants électroniques, tant par leur variété que par leur présence dans les circuits. Citons parmi eux notamment :

- les résistances ;

- les condensateurs ;

- les inductances (ou bobines) ;

- les diodes sous (presque) toutes leurs formes ;

- les fusibles.

.Les composants à trois pattes : les tripôles

Ces composants-ci sont aussi très présents, notamment grâce à toute la famille des transistors.

On peut citer par exemple :

- certaines régulateurs de tension ;

- les potentiomètres ;

- les diodes Zener programmables ;

- les LED bicolores.

.Les composants à quatre pattes

- certaines amplificateurs intégrés ;

- les ponts de diodes ;

- certaines régulateurs de tension ;

- les optocoupleurs.

.Les composants à plus de quatre pattes

On retrouve là encore certains amplificateurs intégrés, d'autres régulateurs de tension, d'autres optocoupleurs. Mais surtout, à partir de huit pattes, on trouve les **circuits intégrés qui peuvent remplir seuls une fonction électronique particulière. Leur champ** d'application est extrêmement vaste : du simple inverseur logique au plus compliqué des processeurs en passant par les amplificateurs audio multiples ou les circuits programmables.

Actifs ou passifs ?

l'électronique est une question de transfert d'énergie.

La première distinction que nous pouvons effectuer entre tous les composants est donc purement physique : ce composant x peut-il ou non fournir de l'énergie ? Est-ce un générateur ou un récepteur ?

En électronique, et pour tout système physique en général, retenez bien qu'il est impossible de produire plus d'énergie que l'on en reçoit.

En utilisant cette technique d'analyse, les électroniciens ont pu distinguer deux grandes catégories de composants.

Les composants passifs et actifs

Les composants passifs

définition

Un composant passif est un composant qui ne peut pas introduire d'énergie dans le circuit auquel il appartient.

Par conséquent, ils sont par exemple **incapables d'amplifier un signal, c'est-à-dire d'augmenter sa puissance.**

Autres définitions moins complètes

On trouve notamment :

« Un composant passif est un composant **qui obéit à la loi d'Ohm généralisée.** »

Pour un dipôle, cette loi s'exprime de la façon suivante : $U = Z \times I$

avec Z l'impédance du dipôle considéré.

Une autre définition, équivalente à la précédente, veut qu'un composant soit passif si son intensité de court-circuit est nulle et si la différence de potentiel à ses bornes est nulle quand le circuit est ouvert, ce qui signifie :

$$U = 0 \Rightarrow I = 0.$$

Quelques exemples

Parmi les composants passifs les plus courants, on trouve beaucoup de dipôles, notamment :

- les résistances (variables ou non) ;
- les condensateurs ;
- les bobines ;
- la plupart des diodes.

Résistances

La résistance est la caractéristique d'un composant à s'opposer au passage du courant (flux d'électrons).

La résistance est un composant passif non polarisé (indépendant du sens du courant qui la traverse, ce qui n'est pas le cas des diodes et de certains condensateurs).

Caractéristiques principales

- Valeur ohmique (en $m\Omega$, Ω , $k\Omega$, $M\Omega$)
- Tolérance (précision en %)
- Valeurs normalisées (séries E..)
- Dissipation de puissance
- Coefficient de température
- Technologies

Valeur ohmique

La valeur nominale C'est la valeur de référence qui figure sous forme codée sur le composant.

Tolérance (précision en %)

Du fait des tolérances de fabrication, la résistance réelle est un peu différente de la valeur nominale. Les constructeurs donnent une fourchette dans laquelle peut se trouver cette valeur. Cette tolérance est exprimée en % de la valeur nominale.

Exemple : $R = 10 \text{ k}\Omega$, tolérance 5 % , Ce composant peut avoir une résistance réelle comprise entre $9,5 \text{ k}\Omega$ et $10,5 \text{ k}\Omega$ puisque 5 % de $10 \text{ k}\Omega$ correspond à un écart de $0,5 \text{ k}\Omega$.

Valeurs normalisées (séries E..)

Toutes les valeurs de résistances n'existent pas et de manière générale, on ne les fabrique pas à la demande. Les valeurs proposées par les constructeurs apparaissent dans diverses listes normalisées (Le chiffre indique le nombre de valeurs dans la série) **série E6** tolérance $\pm 20\%$, **série E12** tolérance $\pm 10\%$, **série E24** tolérance $\pm 5\%$, **série E48** tolérance $\pm 2\%$, **série E96** tolérance $\pm 1\%$, **série E192** tolérance $\pm 0,5\%$.

Les séries les plus courantes sont la **E12** et **E24** :

Valeur de la série E12 : 10 – 12 – 15 – 18 – 22 – 27 – 33 – 39 – 47 – 56 – 68 – 82

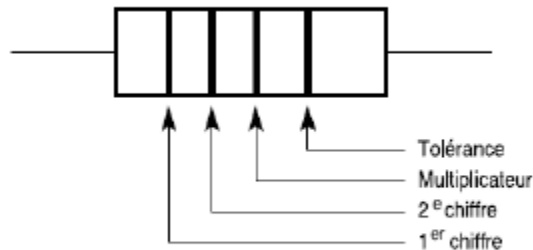
Valeur de la série E24 : 10 – 11 – 12 – 13 – 15 – 16 – 18 – 20 – 22 – 24 – 27 – 30 – 33 – 36 – 39 – 43 – 47 – 51 – 56 – 62 – 68 – 75 – 82 – 91

Dissipation de puissance

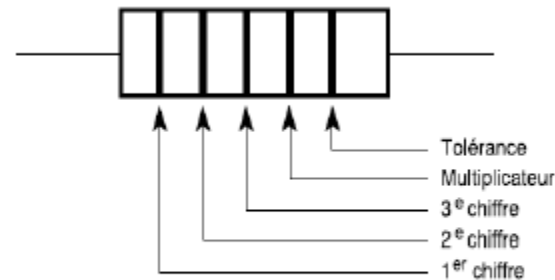
Une résistance dissipe une certaine puissance sous forme thermique : c'est l'effet Joule. Pour un composant donné, il existe une limite technologique de dissipation. Si l'on dépasse cette puissance maximale autorisée, l'élément risque de se dégrader : sa résistance est modifiée sans que cela change forcément l'aspect du composant. Si la limite est fortement dépassée, la résistance noircit et peut même se détruire.

MARQUAGE DE LA VALEUR NOMINALE

Les résistances sont en général identifiées par différents anneaux de couleur tracés sur le corps du composant qui indiquent la valeur nominale et la tolérance. Les éléments ordinaires (5 % ou 10 %) comportent quatre anneaux tandis que les éléments de précision (1 % ou 2 %) en ont cinq.

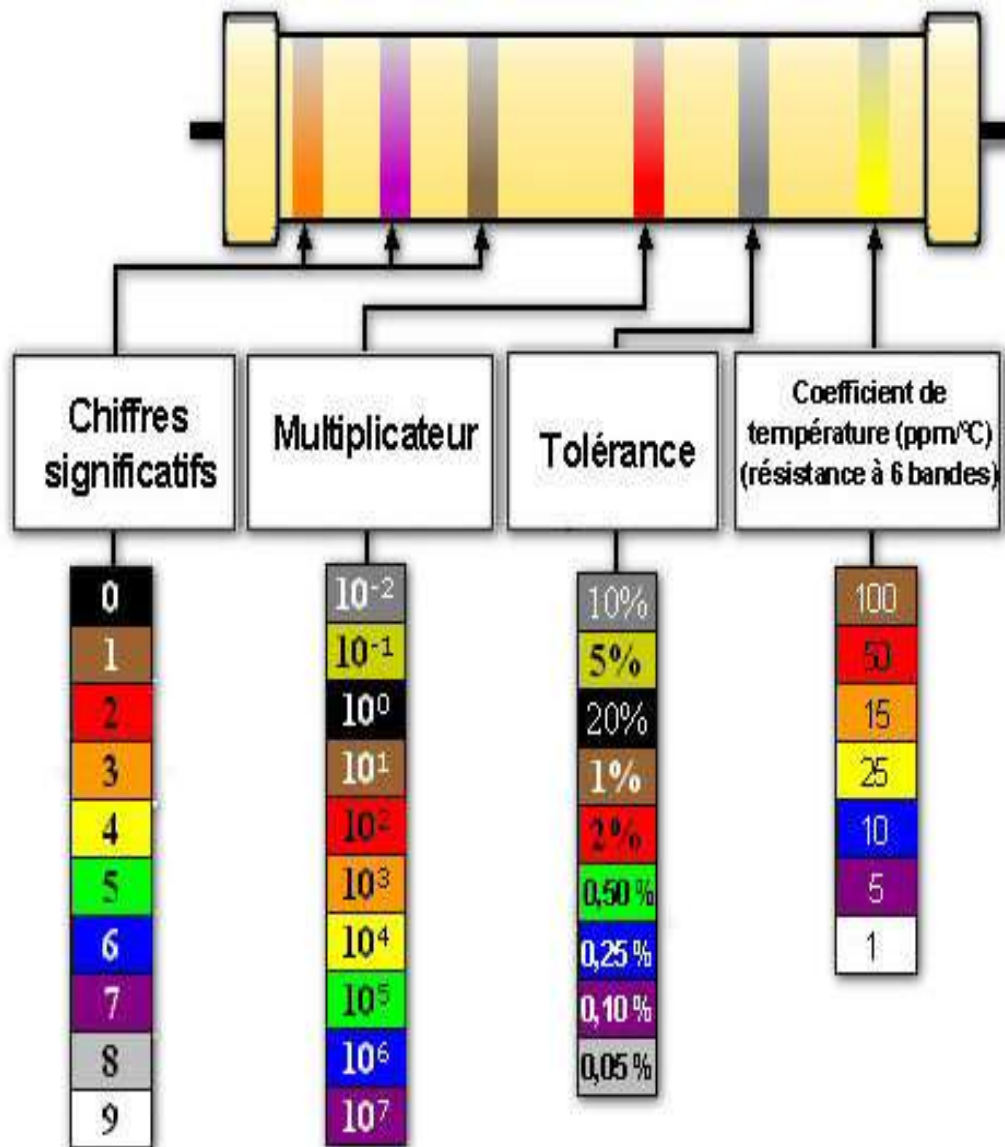


Marquage d'une résistance à 5 % ou 10 %.



Marquage d'une résistance à 1 % ou 2 %.

MARQUAGE DE LA VALEUR NOMINALE

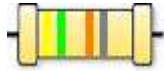


Ne Mangez Rien Ou Jeûnez
Voilà Bien Votre Grande
Bêtise

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)

EXEMPLE DE CALCUL D'UNE RESISTANCE

Exemple 1



Premier chiffre significatif : jaune : 4

Deuxième chiffre significatif : vert : 5

Multiplicateur : orange : 3

Tolérance : dorée : 5 %

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

Exemple 2



Premier chiffre significatif : rouge : 2

Deuxième chiffre significatif : violet : 7

Multiplicateur : marron : 1

Tolérance : argent : 10 %

Donc la valeur de cette résistance est : 27×10^1 à 10 % soit 270 à 10%.

Symbole



Européen



Américain

un rectangle avec la valeur à l'intérieur et sa référence à l'extérieur (norme Européenne)

une dent de scie (norme US et ancienne représentation)

Résistances à couche de carbone

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords et par leur laque beige/brun clair.

Principe de fabrication:

Le carbone est déposé en une fine couche autour d'un cylindre isolant. La valeur est ajustée par des stries visibles en grattant la surface laquée.

Avantages:

Relativement robustes mécaniquement, économiques et disponible en série 10%, 5% et 2%.



Résistances à couche métallique

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords.

Nous pouvons les rencontrer avec des laques de toutes sortes de couleurs: Vert clair, bleu pâle, vert foncé, jaune, etc.

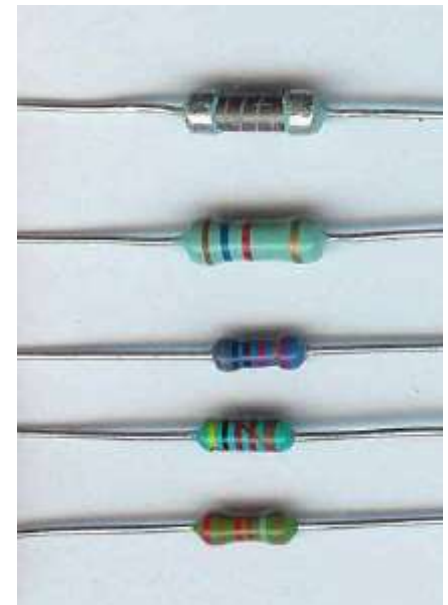
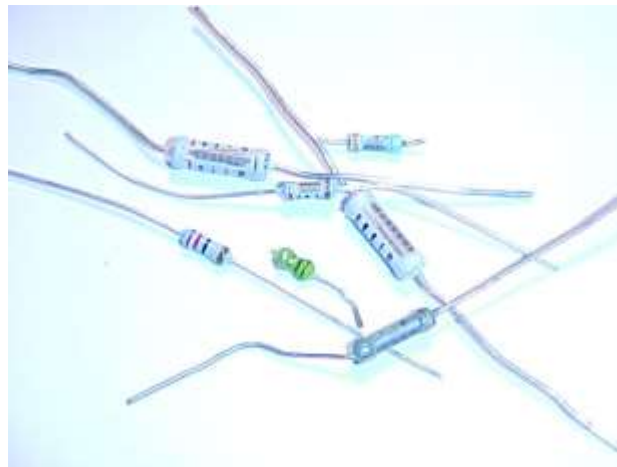
Principe de fabrication:

Une fine couche de métal est déposée à la surface d'un support isolant.

Les stries visibles, en grattant la laque, permettent l'ajustement de la valeur ohmique.

Avantages:

Elles produisent beaucoup moins de bruit que les résistances au carbone. Bonne stabilité en température et dans le temps. Ce sont les plus répandues aujourd'hui.

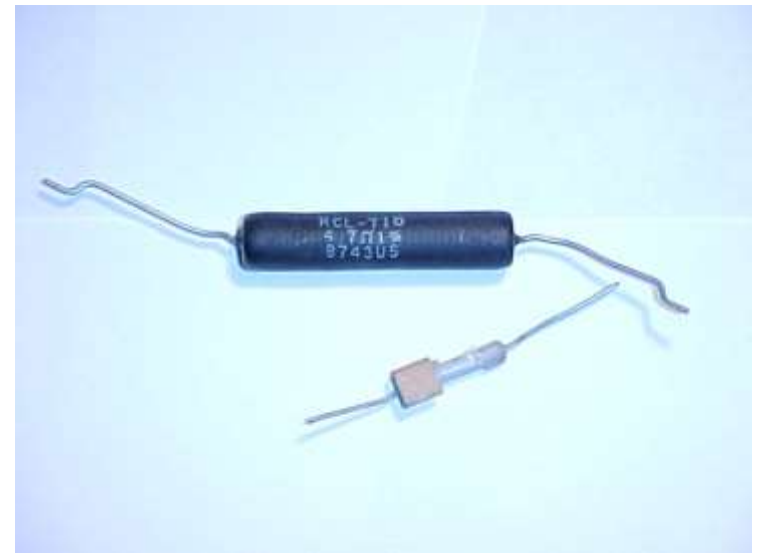
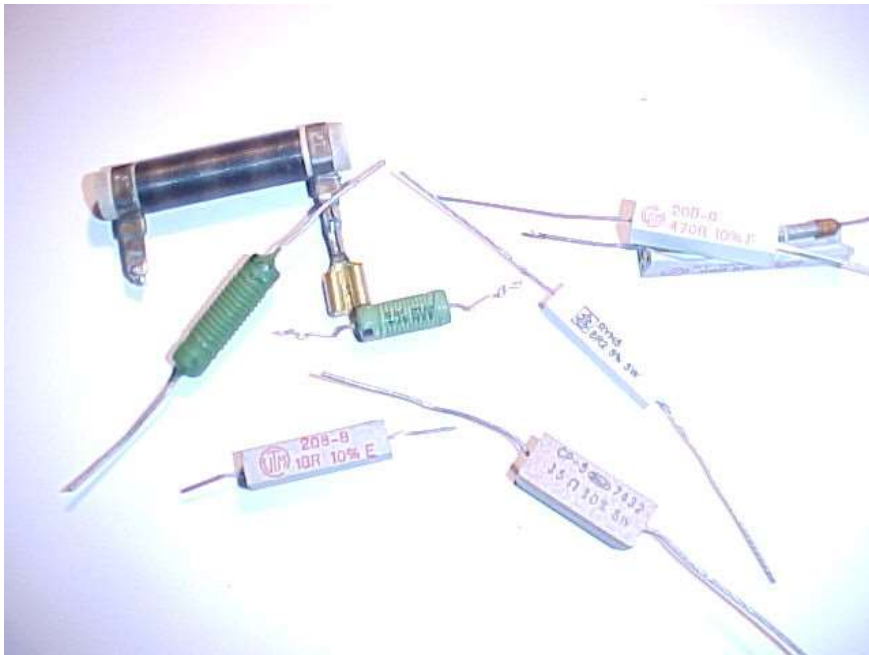


Résistances bobinées

Reconnaissables par leur taille, l'inscription, ou le fil enroulé souvent visible.

Principe de fabrication:

Le plus souvent constituée d'un fil enroulé sur un mandrin isolant en matière réfractaire et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre). Leur inductance propre en interdit l'usage en hautes fréquences.



Résistances bobinées de forte puissance

Se reconnaissent au système de fixation mécanique qui permet une fixation sur un radiateur pour augmenter la dissipation. Les valeurs de R et P sont généralement inscrites en toute lettre.

Principe de fabrication:

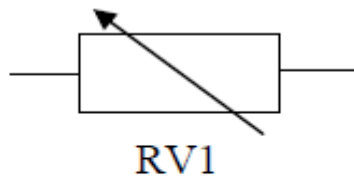
Le plus souvent constituée d'un fil enroulé sur un mandrin isolant en matière réfractaire et recouverte d'une couche de protection (vernis, émail, ciment ou verre).



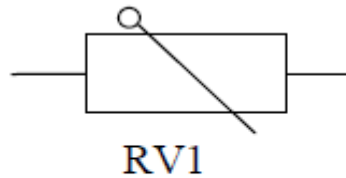
Potentiomètres

La résistance ajustable ou le potentiomètre ajustable (Trimmer en Anglais) est un composant dont on peut faire varier la valeur de sa résistance en déplaçant un contact mobile (Wiper en Anglais) sur une piste résistante en carbone ou en métal grâce à un dispositif (vis de réglage) accessible de l'extérieur.

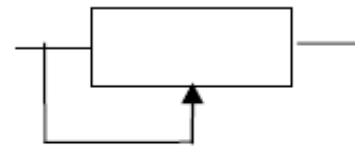
Symboles de la résistance et du potentiomètre ajustable (norme Européenne):



2 connexions



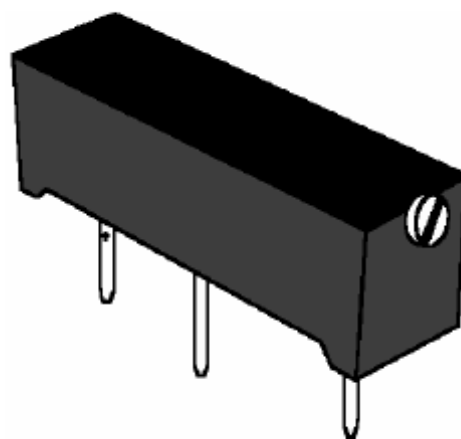
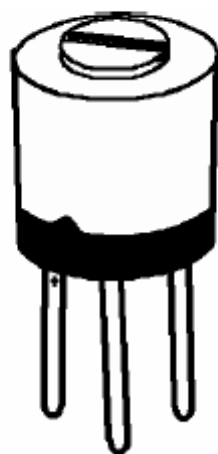
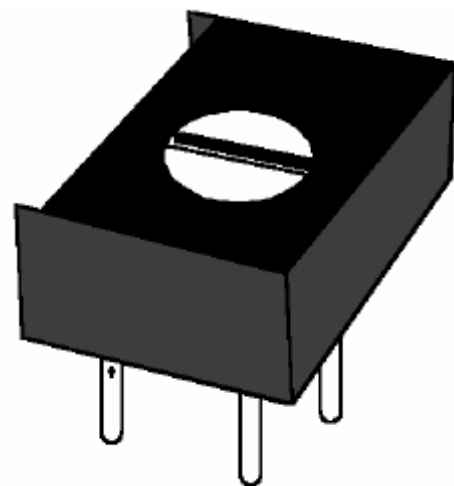
2 connexions



3 connexions

Représentation d'une résistance et d'un potentiomètre ajustable (norme US)





Résistance
variable à piste
de carbone
2 connexions

Potentiomètre à
piste de carbone
implantation
verticale

Potentiomètre à
piste de carbone
implantation
verticale 0,1W

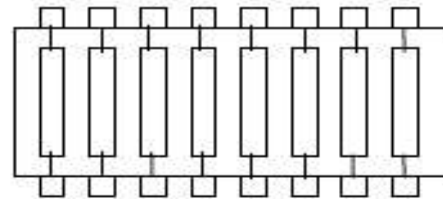
Potentiomètre
cermet à piste
de carbone
implantation
verticale

Potentiomètre cermet à
piste de carbone
implantation
horizontale et verticale

Le réseau de résistances

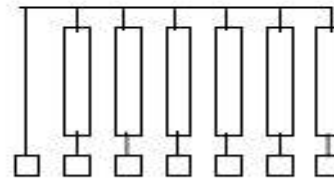
Le réseau de résistances SIL ou DIL

Réseau de résistances de 1/8W indépendantes ou ayant un point commun au format DIL (Dual In Line = 2 rangées de connexions en ligne) ou SIL (Single in line = une rangée de connexions en ligne) ou réseau de résistances fabriqué à la demande.



DIL16

Résistance indépendantes ou un
ayant un point commun



SIL 8 ou 12

Réseau spécifique de résistances

Le réseau diviseur

Le diviseur de tension est utilisé en général dans les appareils de mesure pour diviser (atténuer) la tension à mesurer et la rendre compatible avec la capacité de mesure de la partie mesure de l'appareil.

Exemple d'un diviseur de tension d'un multimètre numérique :



La charge non rayonnante

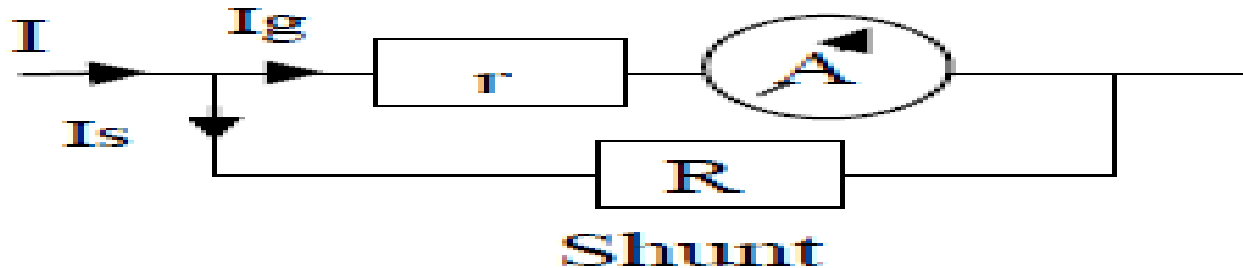
La charge non rayonnante est une résistance de puissance non inductive qui sert de charge lors du réglage de la partie émission d'une station émettrice (à la place de l'antenne) pour ne pas perturber les communications radio environnantes.

Elle se présente sous la forme d'une résistance (ou plusieurs) montée(s) sur un radiateur ou baignant dans un bain d'huile contenu dans un bidon



Le shunt

Le shunt est une résistance de faible valeur placée en général en dérivation pour drainer la majorité du courant. Elle est utilisée dans le cas de l'ampèremètre pour mesurer l'intensité d'un courant plus important que celui supporté par la partie mesure de l'appareil (par exemple un galvanomètre).



r = résistance interne du galvanomètre

R = résistance du shunt

Exemple d'un shunt de très faible résistance extrait d'un ampèremètre Metrix et ajusté en usine par une fente :



Le strap - résistance 0Ω

Le Strap a une valeur de résistance de 0Ω , il est utilisé dans la conception de circuits imprimés pour simplifier le dessin du circuit en évitant le chevauchement des pistes.

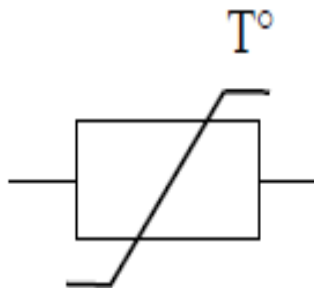


La thermistance – CTN – CTP

La thermistance est une résistance particulière dont la valeur de la résistance varie en fonction de la température. Elle est classée en deux catégories : les coefficients de température négatifs (CTN (NTC en Anglais) dont la valeur diminue quand la température augmente) et les coefficients de température positifs (CTP (PTC en Anglais) dont la valeur augmente quand la température augmente).

Elle peut être utilisée pour mesurer la température à l'intérieur d'un appareil ou d'un radiateur d'amplificateur et déclencher une ventilation forcée (ventilateur) à partir d'un certain seuil de température.

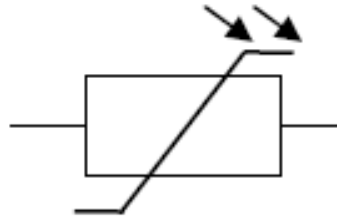
Symbole :



La photo résistance –LDR

La photo résistance est une résistance particulière, parfois à base de sulfure de cadmium (Cds), dont la valeur de la résistance varie en fonction de l'intensité lumineuse reçue. La valeur de la résistance diminue quand la luminosité augmente et peut varier de quelques Mégohms dans l'obscurité à quelques centaines d'ohms en pleine luminosité.

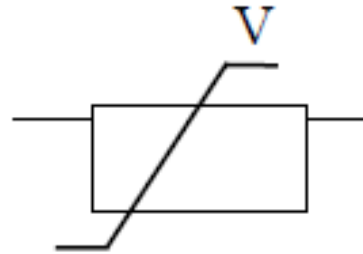
Symbole :



La Varistance –VDR (Voltage Dependent Resistor)

La varistance (Varistor en Anglais) est une résistance particulière, à base d'oxyde métallique, dont la valeur de la résistance varie en fonction de la tension appliquée à ses bornes. La valeur de la résistance diminue quand la tension augmente à partir d'une tension de seuil et protège ainsi le montage d'une surtension. Elle est capable d'absorber des courants très importants (100A à 1000A) pendant une courte durée (8 à 20 μ S).

Symbole
et
exemple

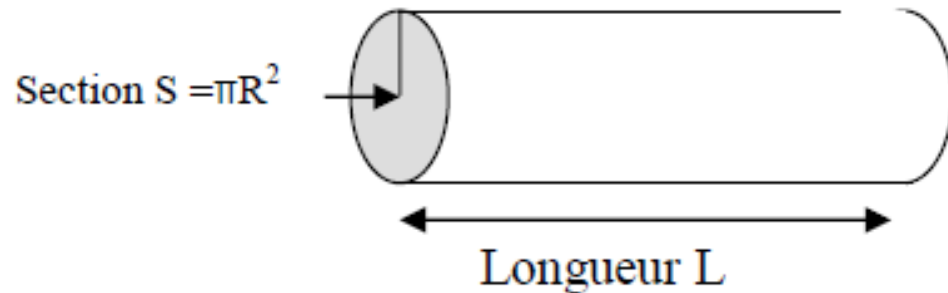


La résistivité

La résistivité d'un matériau est sa capacité à s'opposer au passage du courant électrique. Elle est faible pour les conducteurs, très grande pour les isolants et moyenne pour les semiconducteurs (germanium, silicium). Elle varie plus ou moins en fonction de l'augmentation de la température

La résistivité, dont le symbole est la lettre rho (ρ), s'exprime en ohms mètre (Ωm). Elle correspond à la résistance d'un matériau de 1 m de longueur et d'une section de 1 m².

La formule donnant la résistance d'un fil de résistivité ρ , de longueur L et de section S est :



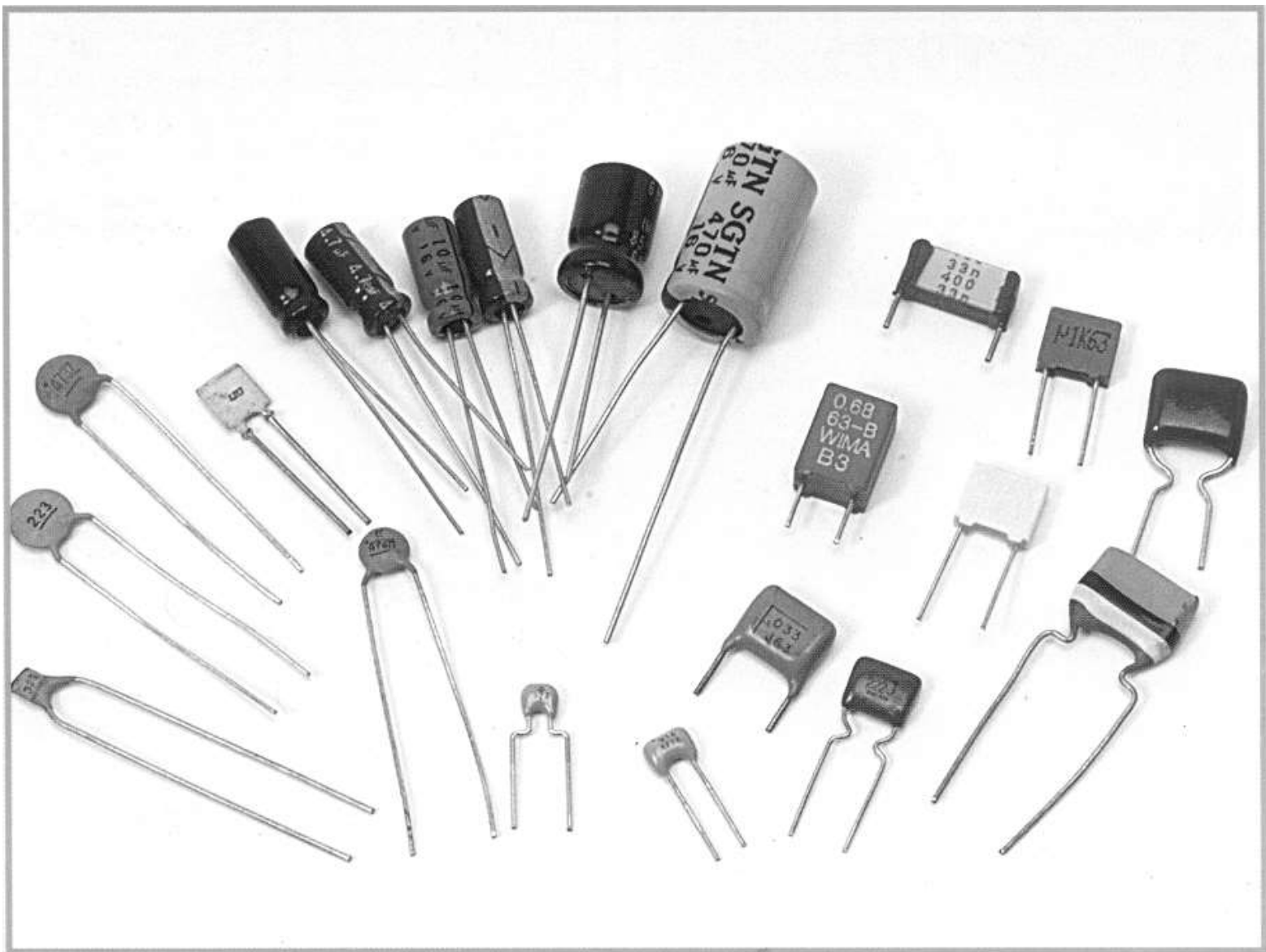
$$R = \rho L / S$$

R = résistance en Ohms, L = longueur du matériau en mètre, S = la section en m².

La résistivité de quelques matériaux :

Matériau	Symbole chimique	ρ en $\Omega.m$	Coef . thermique α ($^{\circ}C$) ⁻¹
Aluminium	Al	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Air sec		$1,12 \cdot 10^{+9}$	
Argent	Ag	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Bakélite		10^{+16}	
Bronze		$5 \cdot 10^{-8}$	
Cadmium	Cd	$7,6 \cdot 10^{-8}$	
Carbone	C	$3500 \cdot 10^{-8}$	$-0,5 \cdot 10^{-3}$
Constantan		$5 \cdot 10^{-7}$	
Cuivre	Cu	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Cuivre écroui	Cu	$1,8 \cdot 10^{-8}$	
Etain	Sn	$1,2 \cdot 10^{-8}$	
Fer	Fe	$1 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Germanium	Ge	0,46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Laiton	60% Cu 40% Zn	$5 \cdot 10^{-8}$	
Magnésium		$4,6 \cdot 10^{-8}$	
Mercure		$96 \cdot 10^{-8}$	
Nickel	Ni	$7 \cdot 10^{-8}$	
Nichrome	NiCr	$150 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Or	Au	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Platine		$9,4 \cdot 10^{-8}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Plexiglas		10^{+17}	
Polystyrène		10^{+20}	
Porcelaine		10^{+11}	
Silicium	Si	640	$-75 \cdot 10^{-3}$
Tungstène	W	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Zinc	Zn	$6,1 \cdot 10^{-8}$	

les condensateurs



les condensateurs

1. Qu'est-ce qu'un condensateur ?

Les condensateurs, tout comme les résistances font partie de la catégorie de ce qu'on appelle les composants passifs.

Un condensateur est formé par **deux surfaces métalliques en regard**, séparées par **un isolant (= diélectrique)**. Les surfaces métalliques en regard sont appelées **les armatures du condensateur**

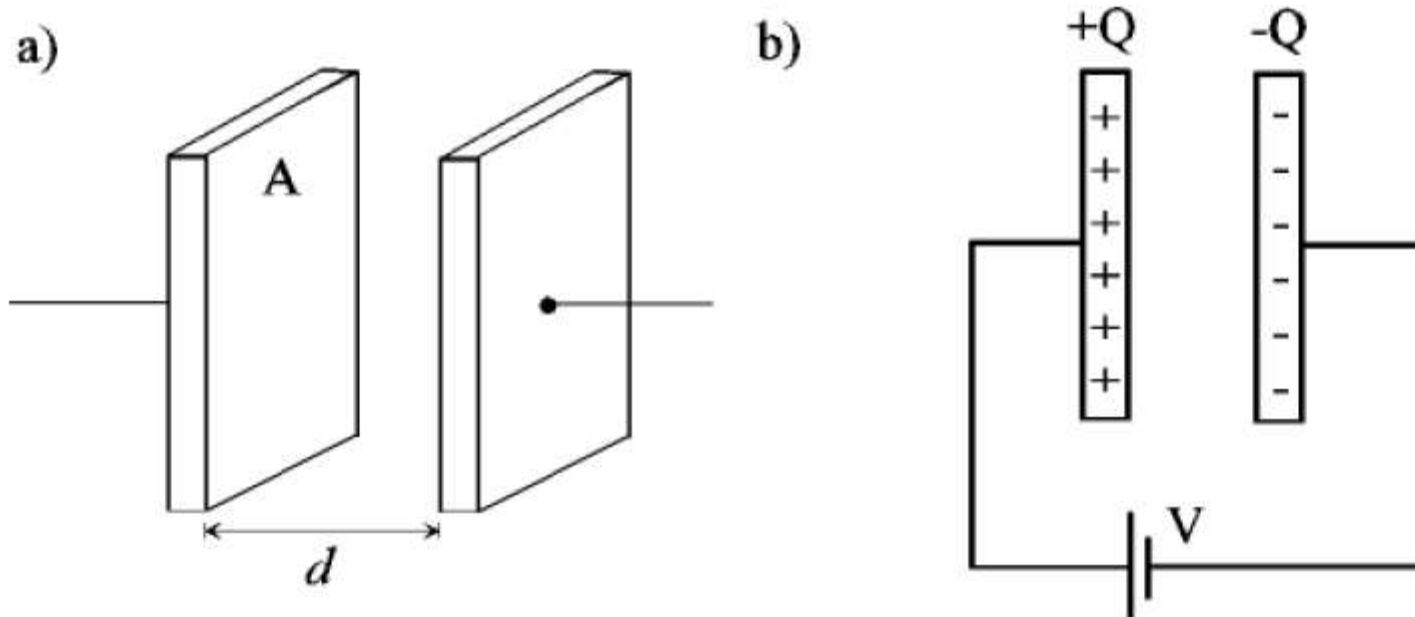
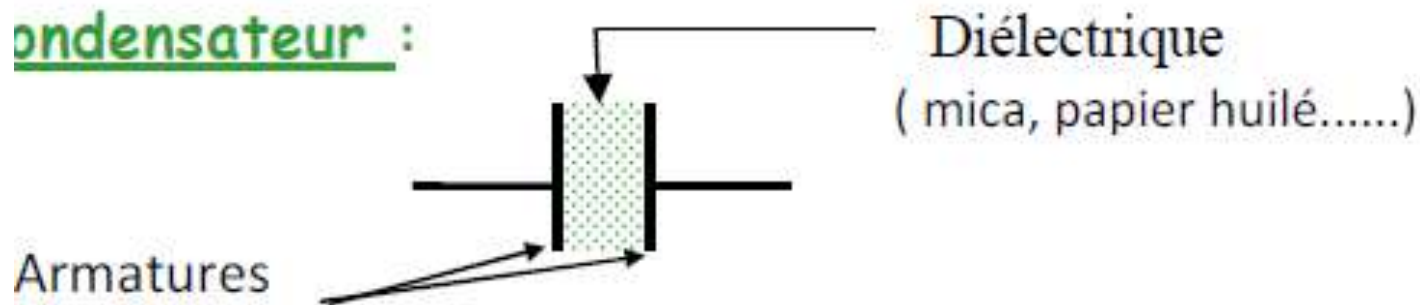
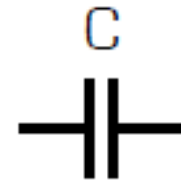


Schéma de principe d'un condensateur et unité



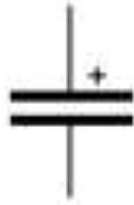
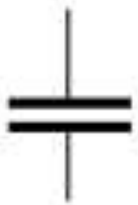
Le symbole général d'un condensateur est le suivant :



Un condensateur est caractérisé par sa capacité, notée C et exprimée en farads (symbole F). Le farad est une unité de capacité très grande, et peu adaptée aux capacités des condensateurs couramment utilisés en électronique. On préfère utiliser les sous-multiples suivants :

- Le microfarad [$1 \mu F = 10^{-6} F$]
- Le nanofarad [$1 nF = 10^{-9} F$]
- Le picofarad [$1 pF = 10^{-12} F$]

Schéma de principe d'un condensateur et unité



Condensateur électrolytique

La présence d'un signe + indique qu'il s'agit de condensateurs qui ne peuvent servir qu'en courant continu.

Utilisation

Le condensateur est utilisé principalement pour :

- stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension) ;
- traiter des signaux périodiques (filtrage, temporisation...) ;
- séparer le courant alternatif du courant continu, ce dernier étant bloqué par le condensateur ;
- stocker de l'énergie.
- Remonter le facteur de puissance en alternative

Le diélectrique

Le diélectrique est un matériau isolant qui sépare les deux armatures. Il doit avoir une bonne rigidité diélectrique. Autrement dit, il doit offrir une bonne résistance à la perforation ou supporter des tensions très élevées. Un bon diélectrique permettra de rapprocher les armatures pour obtenir des capacités élevées.

Le diélectrique peut être du type gazeux (air), liquide (huile ou électrolyte) ou solide (papier, mica, céramique, polyester). Les divers types de diélectriques donnent lieu à différentes familles de condensateurs.

les diélectriques empêchent plus efficacement que l'air ou le vide, les charges de passer d'une armature à l'autre, ce qui aurait pour effet de décharger le condensateur.

Enfin, on a constaté expérimentalement que lorsqu'un diélectrique remplit l'espace compris entre les armatures d'un condensateur, sa capacité augmente d'un facteur κ ($\kappa > 1$), appelé constante diélectrique :

$$C = \kappa C_0,$$

où **C₀** désigne la capacité du condensateur lorsqu'il y a le vide entre ses armatures et **C** celle du même condensateur avec un diélectrique de constante **κ** entre ses armatures. La valeur de **κ** varie avec la nature du diélectrique et se mesure expérimentalement. Le résultat de ces mesures se trouve consigné dans des tables. Quelques valeurs sont données à titre d'exemple dans le tableau suivant:

Matériau	Constante diélectrique (κ)
vide	1,0000
air	1,0006
papier	3 – 7
porcelaine	6 – 8
eau	80

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Marquage des valeurs des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Quantité d'électricité

La quantité d'électricité accumulée se compte en Coulombs (1 C = 6,25 10¹⁸ électrons)
Cette quantité est proportionnelle à la « pression » avec laquelle on y a forcé les électrons, autrement dit la tension U.

L'aptitude à emmagasiner des charges électriques est appelée « **Capacité** » du **condensateur**.

Ces trois valeurs sont reliées par la formule $Q = C.U$

Q représente la quantité d'électricité en Coulomb

C est la capacité qui s'exprime en Farads.

U est la tension en Volts

Capacité d'un condensateur

La capacité d'un condensateur dépend de la nature du diélectrique. Elle est proportionnelle aux surfaces conductrices qui se font face et est inversement proportionnelle à la distance entre les deux armatures, ou ce qui revient au même, à l'épaisseur de l'isolant. Cette capacité diminue donc quand l'isolant est plus épais ce qui est indispensable si on veut y stocker l'électricité sous une tension plus élevée. Un condensateur a une capacité **de 1 Farad** s'il est capable d'emmagasiner **1 Coulomb** (6,25 10¹⁸ électrons) quand il est soumis à une tension de **1 Volt**.

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

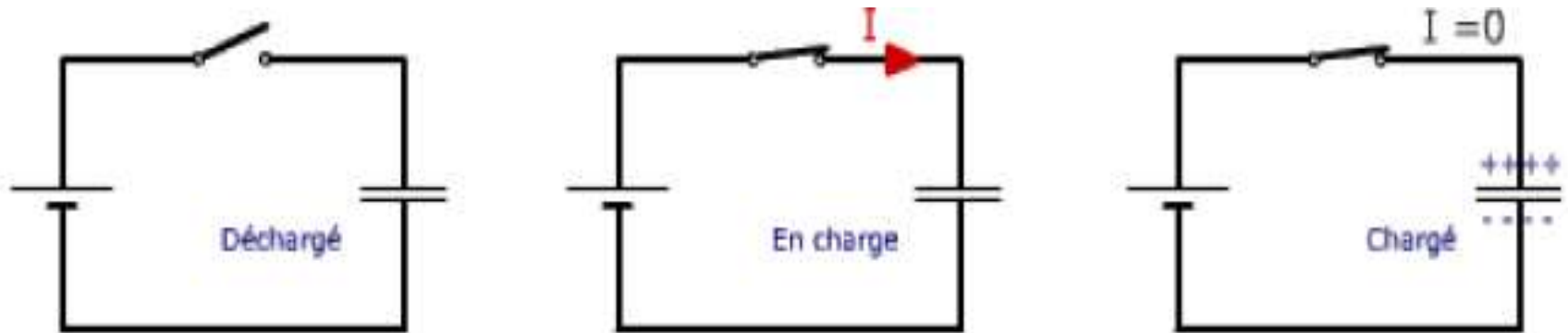
Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

En courant continu

Un condensateur vide raccordé à une source de tension continue, se charge rapidement. Il commence par se comporter comme une résistance quasi nulle. Le courant de charge peut instantanément atteindre une valeur importante comme dans le cas d'un court circuit mais l'intensité du courant décroît rapidement jusqu'à s'interrompre dès que le condensateur est chargé. Il se comporte alors comme une résistance infinie.



Le condensateur bloque le passage du courant continu

En courant alternatif

Lorsqu'on raccorde un condensateur à une source de tension alternative, il se charge dans un sens puis se décharge et se recharge dans l'autre sens et cela à chaque alternance de la tension.

Le condensateur laisse donc passer le mouvement de va et vient des électrons.

Impédance

Le courant alternatif dans un condensateur est limité par sa capacité. Un gros condensateur laisse passer plus de courant qu'un condensateur de capacité moindre, puisqu'il peut charger et décharger instantanément des quantités d'électricité plus importantes.

D'autre part, le passage du courant alternatif est plus facile si le va-et-vient des alternances est plus rapide. C'est-à-dire si la fréquence est plus élevée.

L'obstacle qu'un condensateur oppose au passage du courant est l'impédance « **Z** »

L'impédance d'un condensateur s'exprime en Ohm « **Ω** » Elle est inversement proportionnelle à la fréquence du courant alternatif et à la capacité du composant.

$$Z = \frac{1}{2 \pi f . C}$$

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

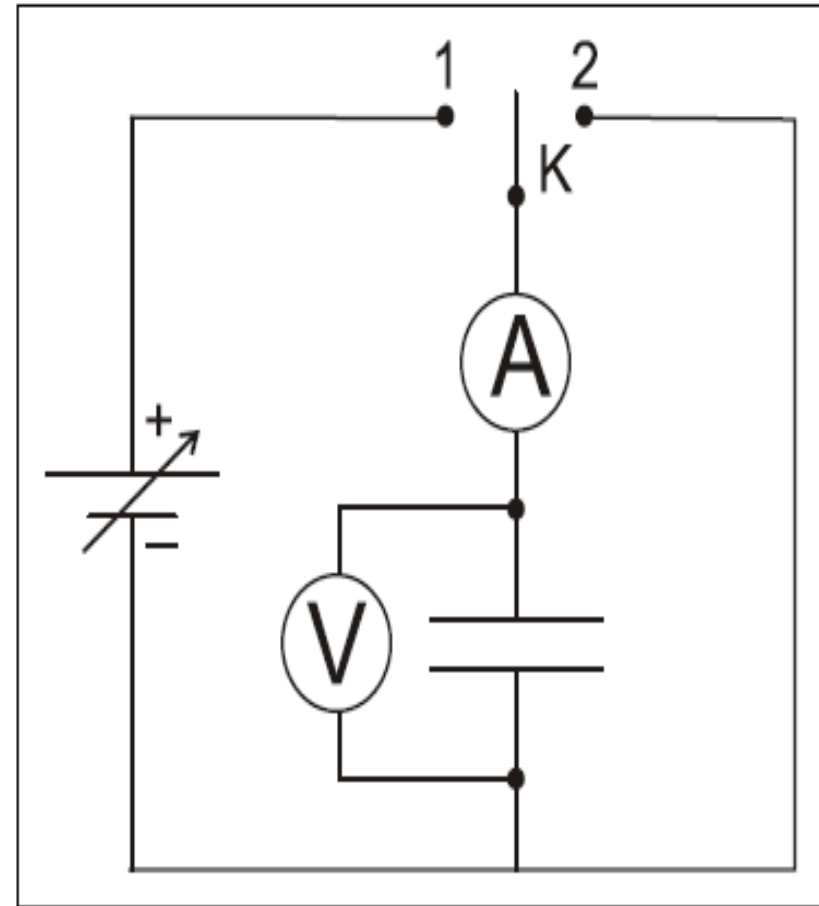
Energie emmagasinée par le condensateur

Charge et décharge d'un condensateur

a) Dispositif expérimental

L'interrupteur K peut être fermé soit en position 1 soit en position 2.

A est un ampèremètre très sensible, présentant une caractéristique intéressante : lorsqu'il est parcouru par une impulsion de courant (courant de brève durée), la **dévi**ation maximale de l'aiguille est proportionnelle à la quantité de charge totale Q qui l'a traversé.



b) Observations et interprétations

1. Charge du condensateur

Fermons K en 1 : l'aiguille de A dévie brièvement.

Le pôle + du générateur attire quelques électrons de l'armature 1, les propulse vers le pôle – d'où ils sont repoussés vers l'armature 2.

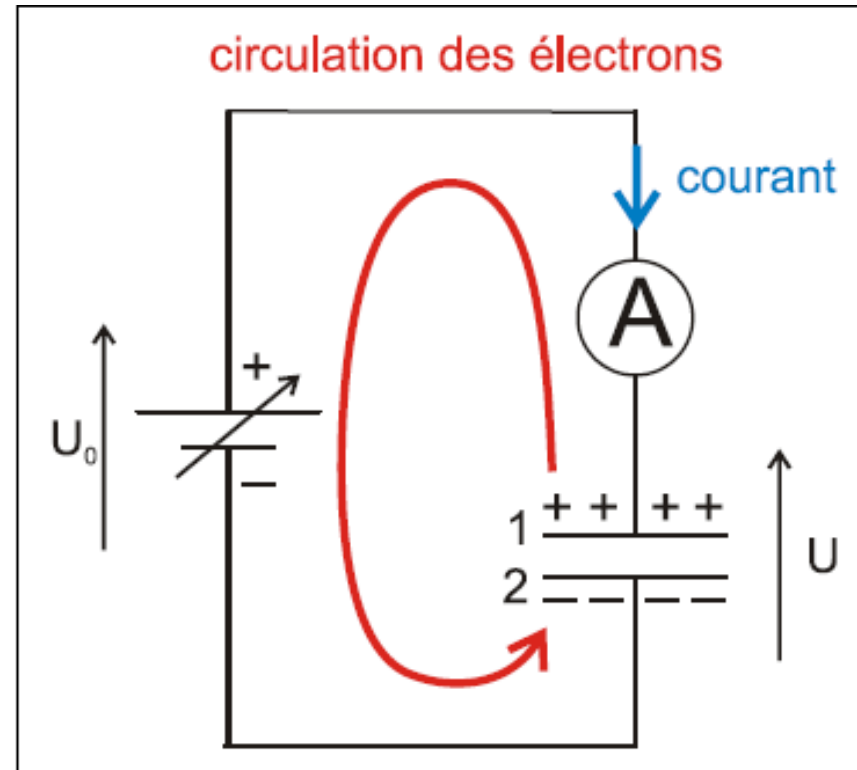
Cette circulation d'électrons donne lieu à une impulsion de courant indiquée par l'ampèremètre. Cette impulsion de courant fait apparaître des quantités de charge $Q_1 > 0$ sur l'armature 1 et $Q_2 < 0$ sur l'armature 2 du condensateur. On a évidemment:

$$Q_1 = - Q_2.$$

La présence des charges est indiquée par l'existence d'une tension U aux bornes du condensateur.

L'impulsion de courant s'arrête dès que $U=U_0$: aucun courant ne circule plus dans le circuit.

On dit alors que l'on a chargé le condensateur, sa « charge » vaut $Q = Q_1 = - Q_2$.



2. Décharge du condensateur

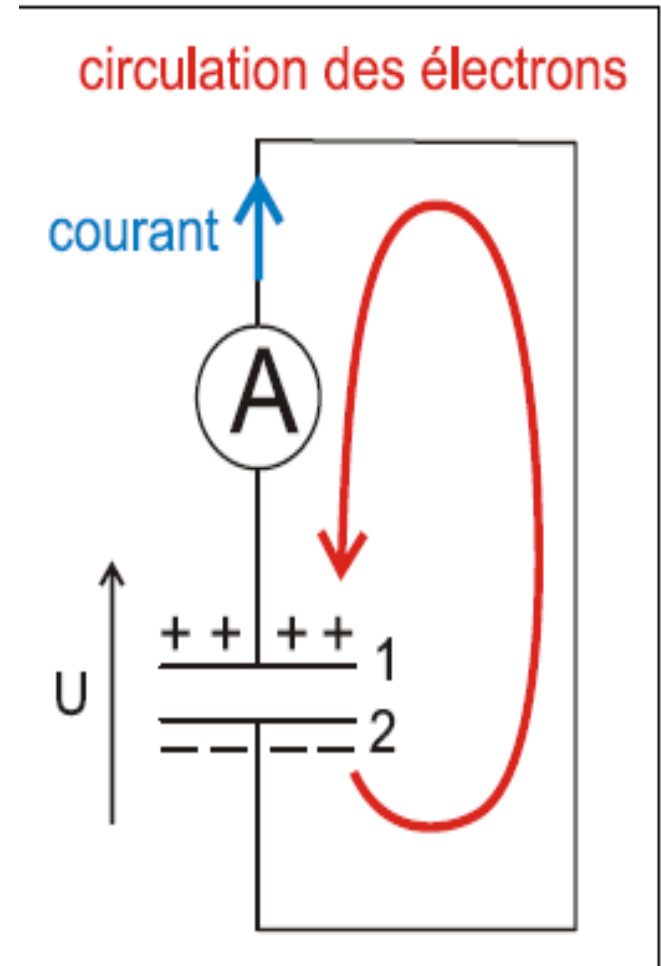
Fermons K en 2 : l'aiguille de A dévie brièvement dans l'autre sens.

Le condensateur chargé est court-circuité. Les électrons de l'armature 2 circulent à travers le circuit pour compenser le défaut d'électrons sur l'armature 1.

La circulation d'électrons s'arrête si les deux armatures sont

neutres, c.-à-d. si $U = 0$ et $Q = 0$.

Lorsqu'on relie les armatures d'un condensateur chargé par un conducteur, on décharge le condensateur. La tension à ses bornes ainsi que sa charge s'annulent.



Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupe ment de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

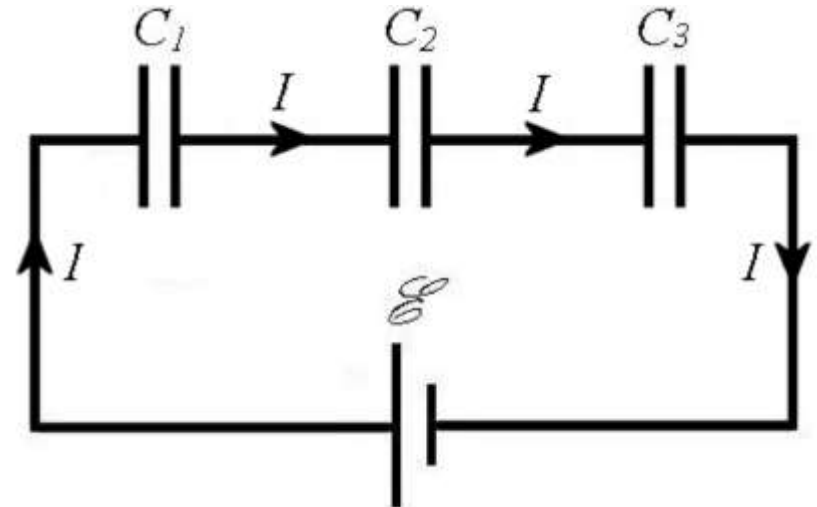
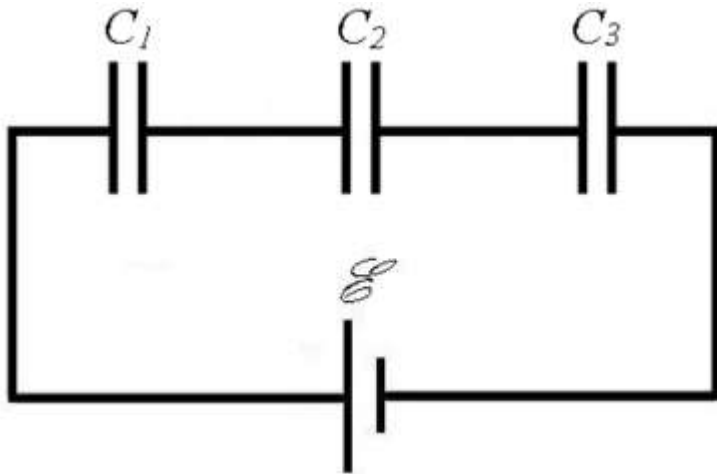
Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

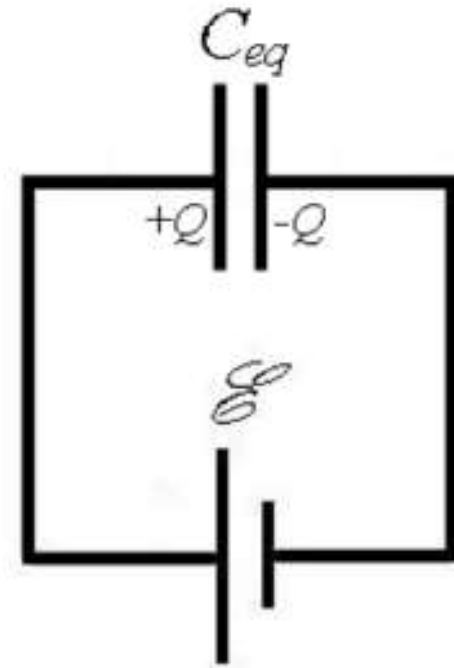
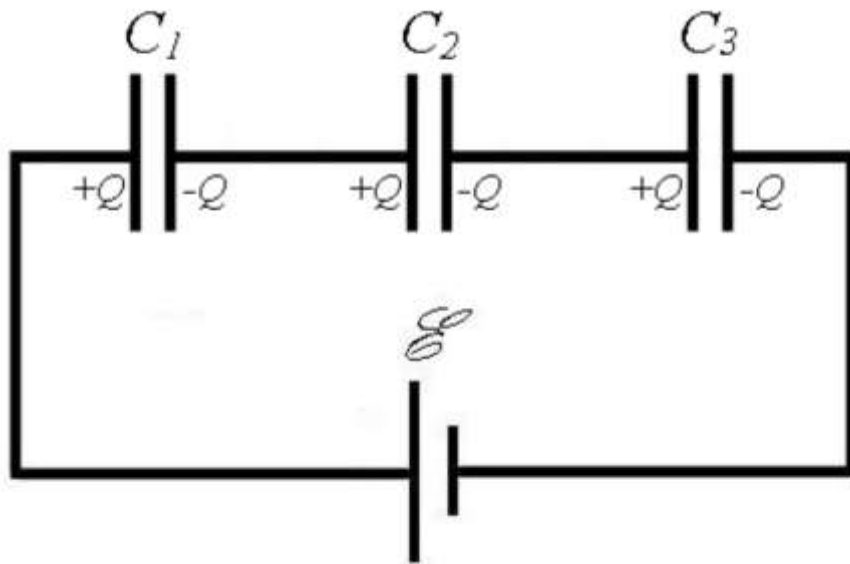
Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Condensateurs en série

Supposons qu'on ait plusieurs condensateurs branchés en série tels qu'illustrés sur cette figure.



Tous les condensateurs branchés en série ont des charges identiques

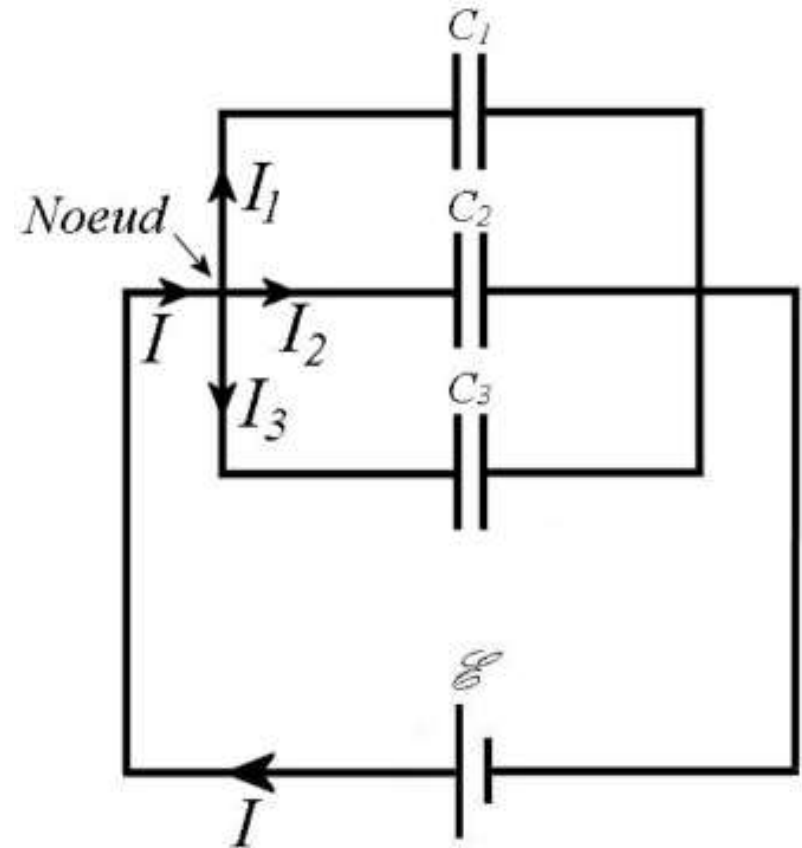
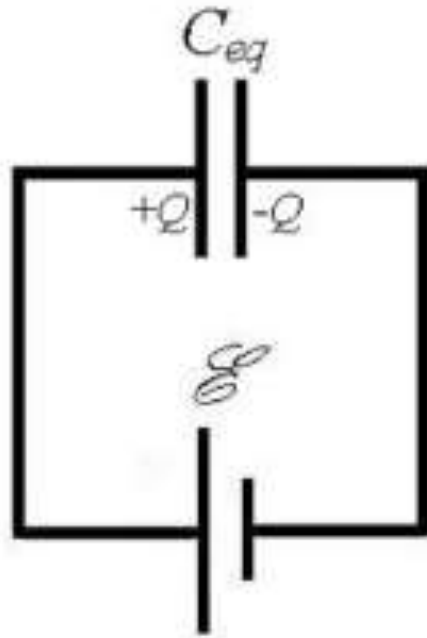


Condensateur équivalent : condensateur en série

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots$$

Condensateurs en parallèle

Supposons qu'on ait plusieurs condensateurs branchés tels qu'illustrés sur cette figure.



Condensateur équivalent : condensateurs en parallèle

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 +$$

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Valeurs normalisées des condensateurs

Il y a quelques décades, un fabricant de matériel électrique pouvait demander la valeur de capacité qu'il souhaitait, aujourd'hui ca reste toujours possible, mais seulement s'il commande quelques centaines de millions de pièces. On s'en tient donc (souvent) aux valeurs standard industrielles. Ces valeurs sont en relation avec la précision attendue des condensateurs : on va couvrir une décade (passage d'une valeur de base a dix fois cette valeur) avec quelques valeurs seulement qui se << raboutent >>.

Si on admet une erreur max de **20 %**, la valeur initiale de la décade est par exemple de 100 nF, sa tolérance peut l'amener a **120 nF (100 + 20%)**, la valeur suivante est de 150 nF dont la tolérance inferieure arrive a **120 nF** et la tolérance supérieure arrive a **180 nF**. La valeur suivante est **220 nF** car **220 - 20 % = 176nF**, allez, **180** quoi. La série proposée est alors la **série E6 a 20 %**.

C'est une série de valeurs de raison **$n\sqrt{10}$** dite **série de Renard** ou 10 est la base et **n** le nombre de valeurs.

Il suffit de multiplier une valeur par la raison pour obtenir la valeur suivante. La **série E6** donne une raison de **1,47** et ses valeurs sont

- **100 nF,**
- **147 nF (appelee 150 nF),**
- **216 nF (appelee 220 nF),**
- **317 nF (appelee 330 nF),**
- **466 nF (appelee 470 nF),**
- **686 nF (appelee 680 nF)**
- et **1009 nF**, et on recommence la décade suivante, en se réalignant sur une valeur ronde : **1μF**.

La série **E96** propose **96 valeurs** d'elements a **1 %** de tolérance, pour couvrir une octave.

A remarquer qu'il existe une série très connue, qui décrit une octave en douze éléments (de raison : $12\sqrt[12]{2}$, racine douzième de deux), la gamme de musique tempérée, proposée par le français Marin Mersenne et popularisée par Bach.

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Marquage des valeurs des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Marquage des valeurs des condensateurs

Marquage avec unité

Sans commentaire.

Marquage sans unité

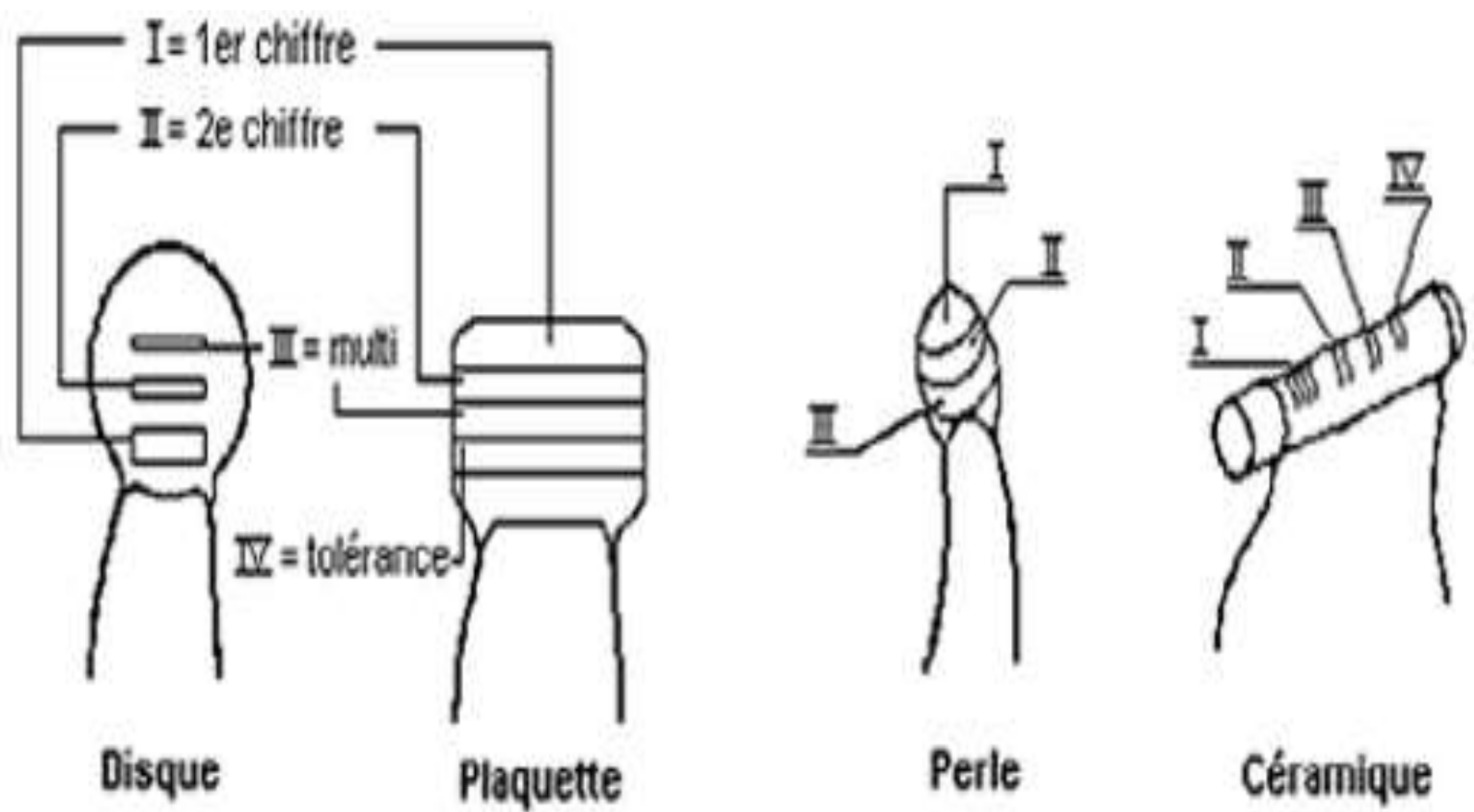
S'il y a présence d'un point avant ou parmi les chiffres, la valeur est exprimée en micro farad (uF).

Exemple: .0022 qui veut dire 0.0022uF soit 2,2nF

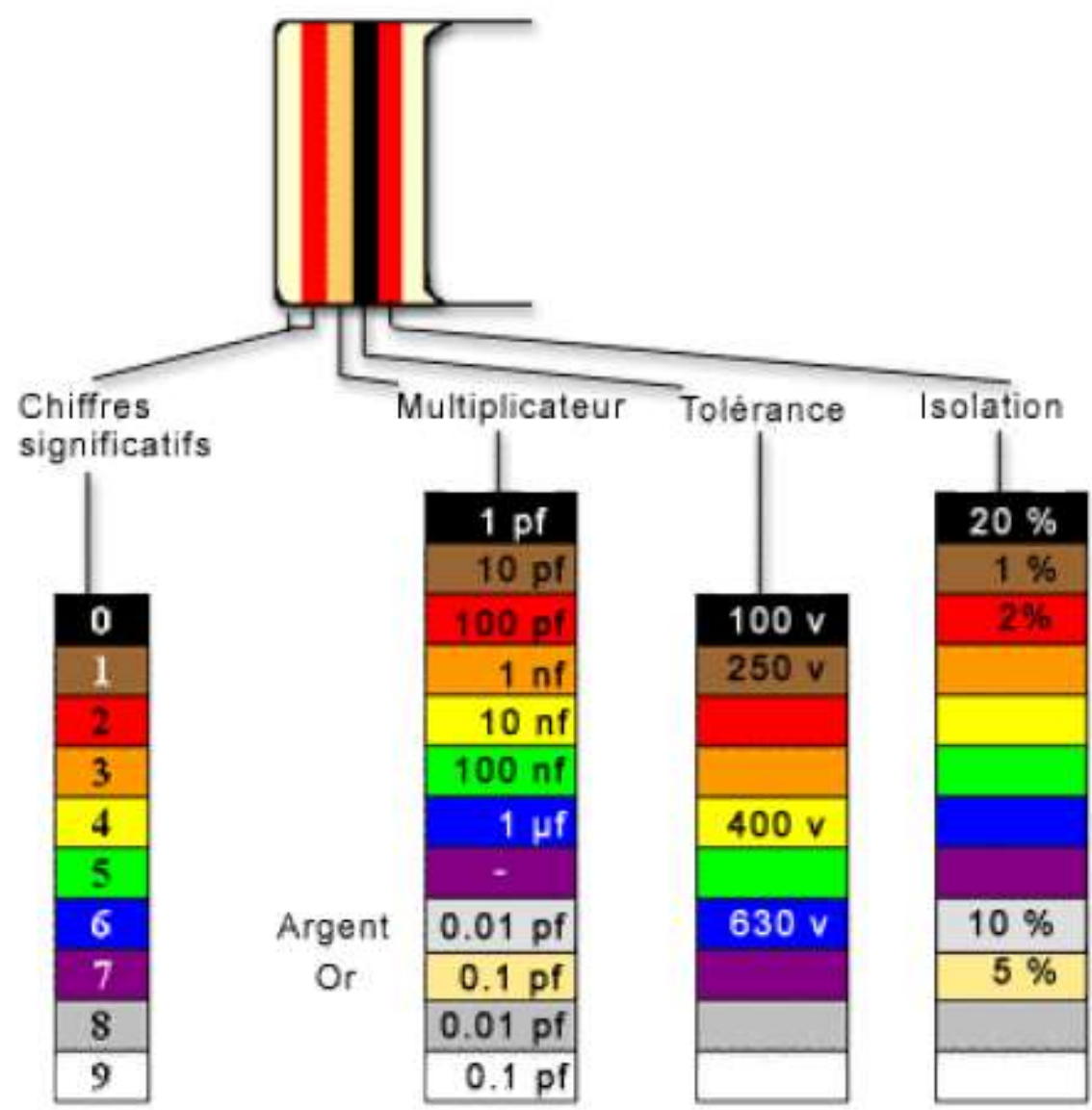
Soit la valeur est exprimée en pico farad (pF)

Exemple: 2200 2200pF soit 2,2nF

Marquage par code de couleur



Marquage par code de couleur



Marquage avec tolérance des composants

La tolérance est exprimée par une lettre

F=±1%

H=±2.5%

K=±10%

G=±2%

J=±5%

M=±20%

Exemple: 2200M 2200pF soit 2.2nF à 20%

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Relation entre la charge et l'intensité du courant

L'intensité du courant électrique est un **débit de charges électriques** : **plus le nombres de charges qui** traversent une section de conducteur pendant un certain temps est grand, plus l'intensité du courant est grande.

Cette quantité de charge est égale à la variation dq de la charge portée par l'armature A pendant un certain temps dt . On a donc :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{charge : } dq > 0 \text{ et } i > 0) \quad \left\{ \begin{array}{l} i : \text{intensité du courant en Ampères (A)} \\ q : \text{charge de l'armature en Coulombs (C)} \\ t : \text{temps en secondes (s)} \end{array} \right.$$

i = coefficient directeur de la droite $q = f(t)$

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Le constructeur indique généralement : la capacité C et deux valeurs différentes de tensions : l'une est la tension de claquage et l'autre est la tension de service.

- Définition : On appelle **tension de claquage** d'un condensateur la plus petite tension (en valeur absolue) faisant jaillir une étincelle entre les armatures du condensateur.
- **Autrement, la tension de claquage** est la tension maximale qui peut supporter un condensateur. Si on lui applique une tension supérieure à celle de claquage, il se détruit (des électrons traversent le diélectrique qui donc se détruit).
- **La tension de service** d'un condensateur est la tension nominale (préférée) de fonctionnement.
- La tension de service est inférieure à la tension de claquage d'un condensateur.

Caractéristiques principales

Quantité d'électricité

Capacité d'un condensateur

Loi d'Ohm pour les condensateurs

Impédance

Charge et décharge d'un condensateur

Groupement de condensateurs en parallèle et en série

Valeurs normalisées des condensateurs

Relation entre la charge et l'intensité du courant

Tension de claquage et tension de service d'un condensateur

Energie emmagasinée par le condensateur

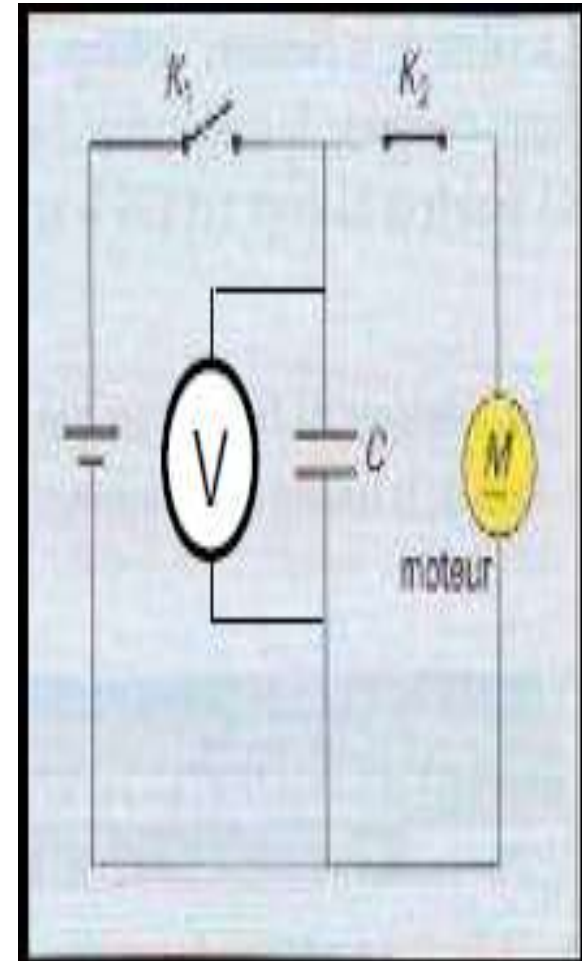
Energie emmagasinée par le condensateur

Lorsque K1 est fermé et K2 ouvert, on charge le condensateur (on peut ajouter un voltmètre pour vérifier). On ouvre ensuite K1 puis on ferme K2.

Donc le moteur tourne. C'est l'énergie emmagasinée dans le condensateur qui a été fournie au moteur et a permis de le faire fonctionner.

Un condensateur de capacité C , et chargé sous une tension u_C , emmagasine l'énergie :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2} \times C \times u_C^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_C : \text{Energie emmagasinée en Joules (J)} \\ C : \text{Capacité du condensateur en Farad (F)} \\ u_C : \text{tension aux bornes du condensateur en Volts (V)} \end{array} \right.$$



Types de familles de condensateurs

Condensateurs polarisés - condensateurs non polarisés :

a) Condensateurs non polarisés :

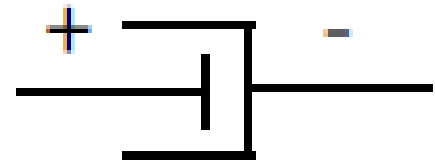
Ils sont symétriques, ils peuvent être utilisés en courant alternatif (et en courant continu).

Un condensateur non polarisé permet le passage de courant dans les deux sens.

b) Condensateurs polarisés :(bornes + et -)

Ils sont non symétriques, ils ne peuvent être utilisés qu'en courant continu.

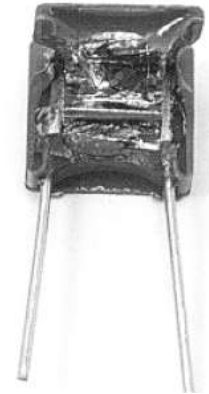
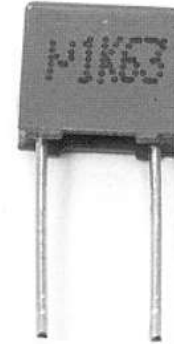
Exemple: les condensateurs électrochimiques
(représentés aussi par le symbole :



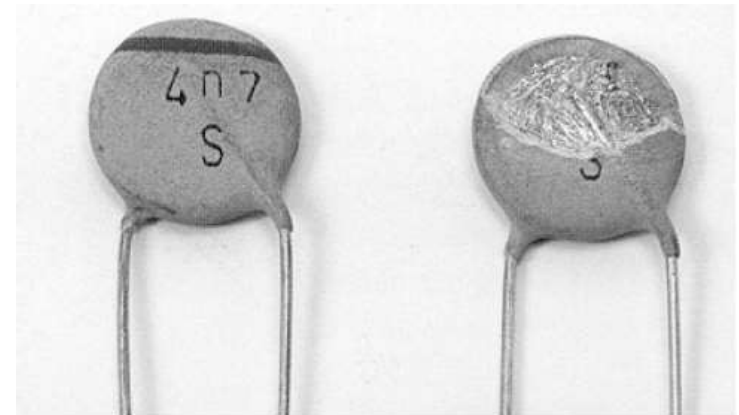
Types de familles de condensateurs

Condensateurs non polarisés

Le condensateur à film plastique

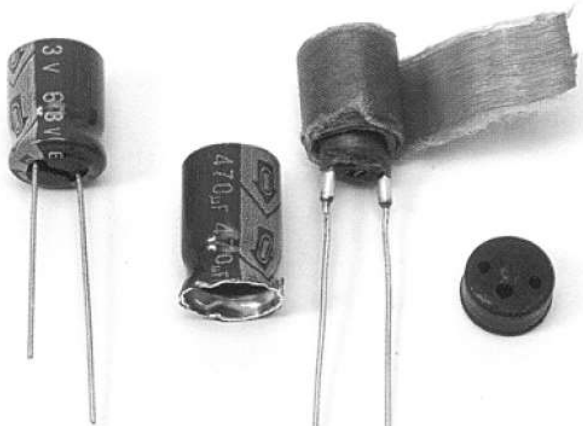


Le condensateur céramique

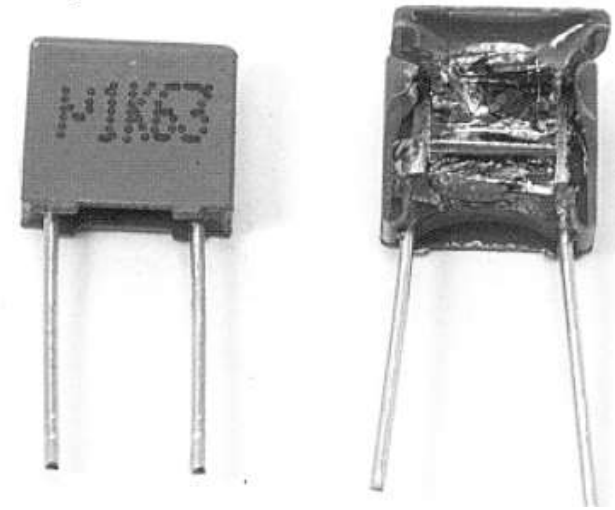


Condensateurs polarisés

Le condensateur électrolytique



Le condensateur à film plastique



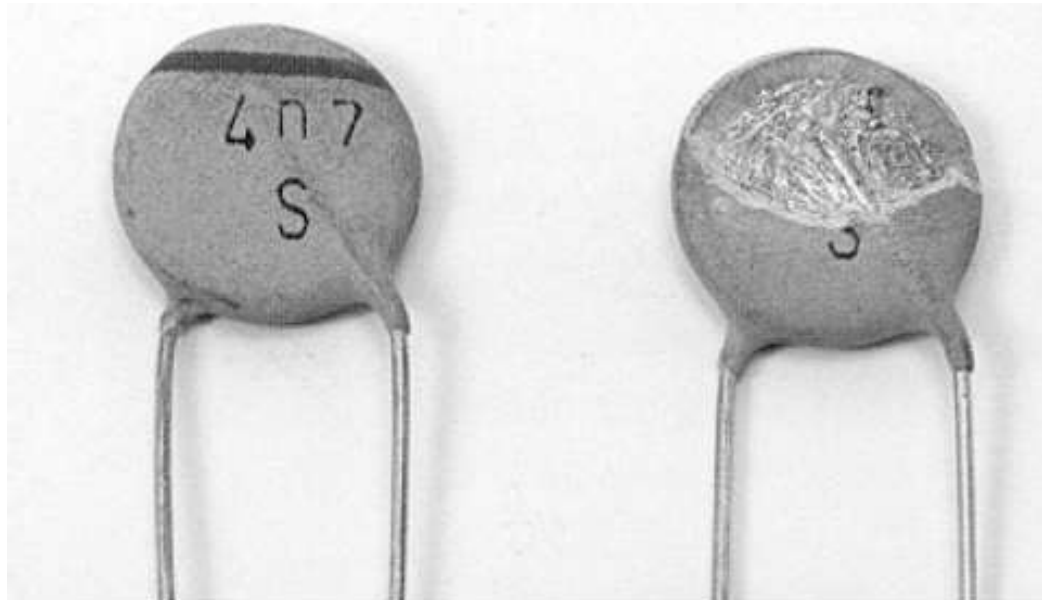
Les condensateurs qui utilisent un film plastique en guise de diélectrique sont largement répandus et très économique :

Les diélectriques les plus courants sont le polyester, le polycarbonate, le polystyrène, le téflon, le styroflex,... Ce genre de condensateur est constitué de fines lames d'aluminium entrecroisées ou enroulées sur des lames de plastique. N'ayant pas de polarité, l'une et l'autre de ses bornes peuvent être indifféremment connectées au pôle positif.

Le condensateur céramique

Cette famille de condensateurs est largement utilisée. Elle englobe des modèles bons marchés et des modèles de grande précision et stabilité. On retiendra particulièrement ceux du type NPO, à savoir des condensateurs à coefficient de température zéro. Autrement dit, leur capacité ne varie pas en présence de grands écarts thermiques.

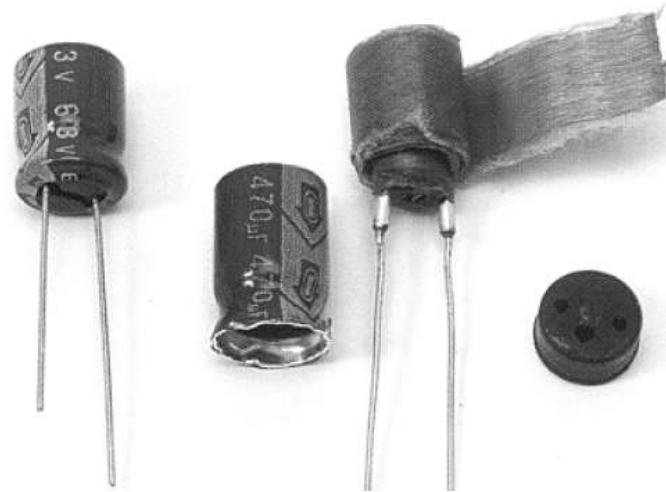
Ils sont utilisés dans des circuits où la stabilité de la capacité constitue un paramètre fondamental. Ils sont formés d'une fine couche métallique, d'aluminium ou d'argent, appliquée sur un élément de céramique. Ils ne sont pas polarisés



Le condensateur électrolytique

Ces condensateurs ont ceci de particulier qu'ils ont une polarité, c'est à dire un pôle positif et un pôle négatif, caractéristique dont il faudra tenir compte au moment de les connecter à un circuit. Dans ce cas, la polarité est marquée sur le corps du condensateur afin d'éviter toute erreur, car toute inversion pourrait le détruire, voire le faire exploser. A l'origine, le condensateur est formé par enroulement entre deux couches d'aluminium d'un matériau imprégné d'électrolyte. Ensuite, on applique à la structure une tension, laquelle forme le condensateur par oxydation de l'anode consécutive à l'électrolyse.

Ce type de condensateur offre l'avantage d'une grande capacité par unité de volume ; il est utilisé aux basses fréquences, habituellement en deçà de 20KHz. Les condensateurs électrolytiques les plus courants sont en aluminium, bien qu'on en trouve au tantale. Ces derniers offrent de meilleures caractéristiques, mais sont nettement plus chers.

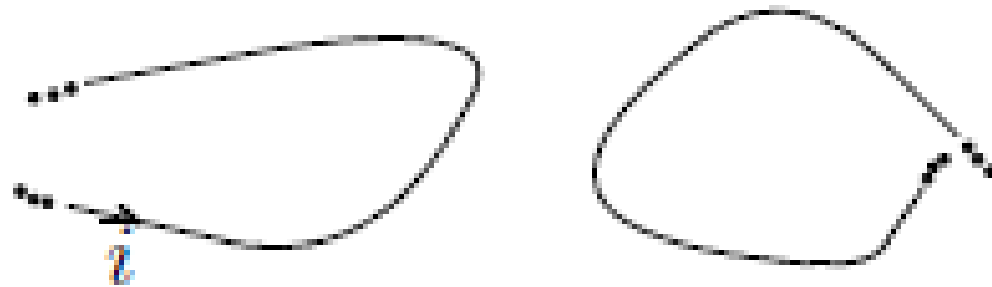


BOBINE

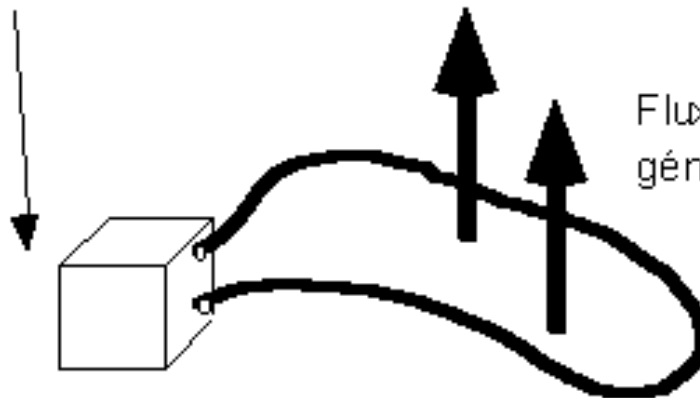


Les effets inductif et auto-inductif

Considérons deux conducteurs. On fait circuler dans l'un de ces conducteurs un courant électrique :



Générateur de tension variable



Flux d'induction magnétique
généré par le courant

Ce courant crée un champ d'induction magnétique. Si de plus le courant est variable, le champ ainsi créé est lui-même variable et est responsable de l'apparition d'un courant dit ***induit dans le deuxième conducteur : c'est l'effet inductif.***

Dans le même temps, le champ d'induction magnétique rétroagit sur le courant qui l'a créé, en ralentissant sa vitesse de variation. C'est ***l'effet auto-inductif.***

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 :

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

Caractéristique tension/courant d'une bobine

Dans une bobine ou auto-inductance le flux instantané est proportionnel au courant parcourant celle-ci : $\Phi = L i$. Le coefficient L est appelé coefficient d'auto-induction du circuit. Il s'exprime en Henry (H)

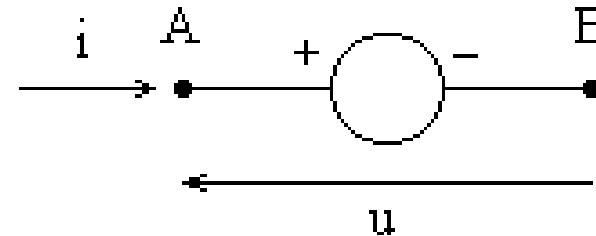
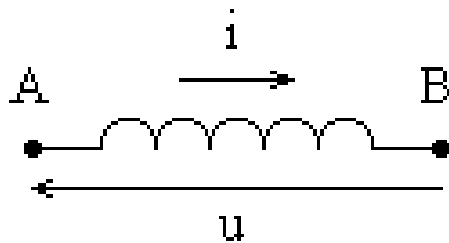
On définit le coefficient d'induction magnétique de la bobine par le rapport entre le flux d'induction magnétique à travers le circuit , et le courant qui lui donne naissance ; on le note L :

$$L(t) = \frac{\Phi(t)}{i(t)}$$

Or la différence de potentiel u apparaissant grâce à l'effet auto-inductif aux bornes de la bobine est égale à $u = d\Phi/dt$. Il vient donc

$$\boxed{u(t) = L \frac{di}{dt}}$$

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

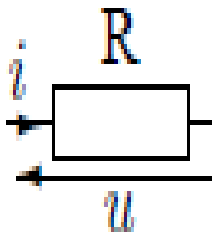
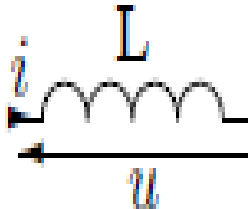


Ce qu'il faut retenir

– résistor et résistance ; condensateur et capacité ; bobine et inductance ;

caractéristiques tension/courant

On considère un dipôle, parcouru par un courant i , et aux bornes duquel on mesure la tension u :

Nom	Résistance	Condensateur	Bobine
Schéma			
Expression de la loi d'Ohm	$u = Ri$	$i = C \frac{du}{dt}$	$u = L \frac{di}{dt}$

Éléments actifs

LES DIODES ET LES TRANSISTORS

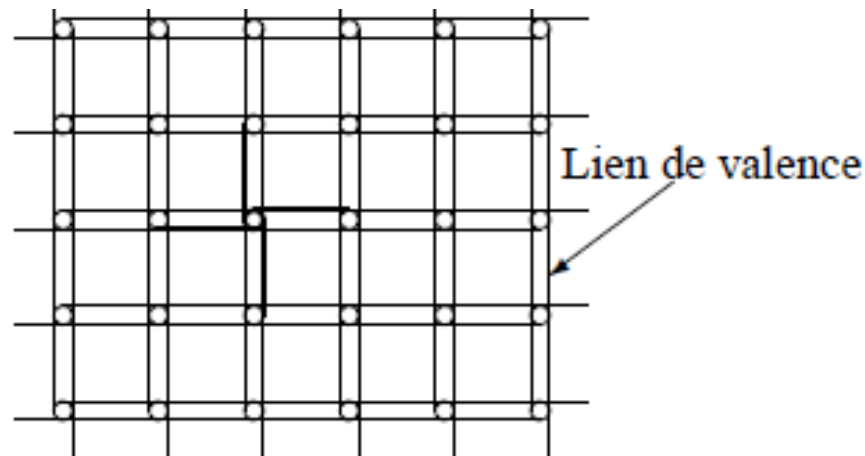
Les semi-conducteurs

Cette partie va présenter quelques modèles simples de semi-conducteurs, en vue d'expliquer rapidement le fonctionnement des dispositifs les utilisant, tels que diode, transistor à effet de champ, transistor bipolaire, etc.

Semi-conducteurs intrinsèques

Réseau cristallin

Un cristal de semi-conducteur intrinsèque est un solide dont les noyaux atomiques sont disposés aux noeuds d'un réseau géométrique régulier. Les atomes de semiconducteur sont tétravalents et le cristal peut être représenté par le réseau de la figure suivante :



L'électron qui possède une énergie suffisante peut quitter la liaison de valence pour devenir un *électron libre*. Il laisse derrière lui un *trou qui peut être assimilé à une charge libre positive*

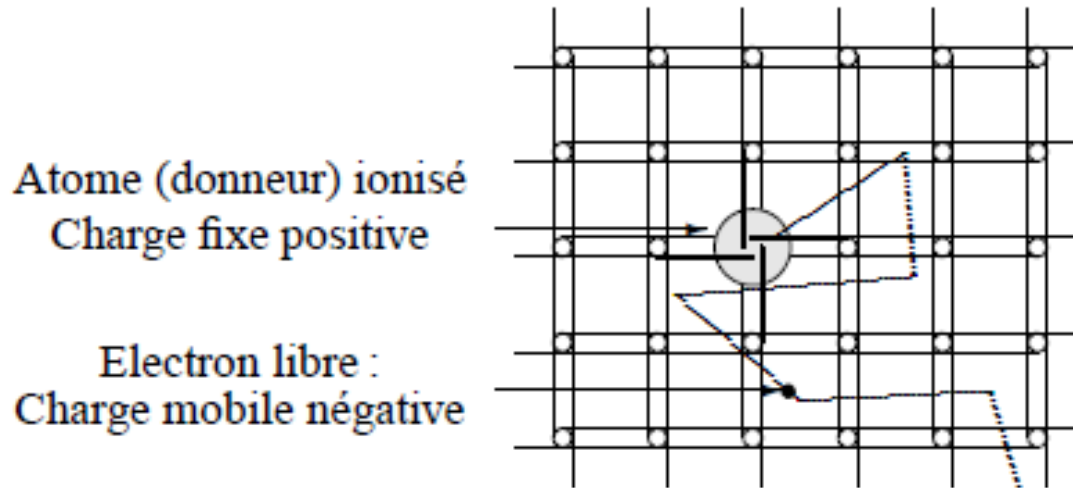
Exemples

Le silicium a un nombre volumique d'atomes de $5 \cdot 10^{22}$ par cm^3 . A 300K), le nombre volumique des électrons libres et des trous est de $1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$,

Le nombre volumique des atomes dans le germanium est de $4,4 \cdot 10^{22}$ par cm^3 . A 300K, le nombre volumique des électrons libres et des trous est $2,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$,

Semi-conducteurs extrinsèques de type n

Réseau cristallin



Quatre électrons de la couche périphérique de l'atome pentavalent prennent part aux liens de valence alors que le cinquième, sans attache, est libre de se mouvoir dans le cristal. L'électron libre ainsi créé neutralise la charge positive, solidaire du réseau cristallin, qu'est l'atome pentavalent ionisé.

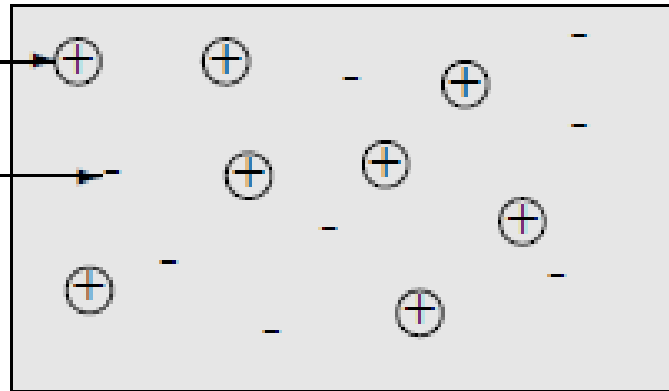
Le *dopage* est l'action qui consiste à rendre un *semiconducteur extrinsèque*. Par extension, ce terme qualifie également l'existence d'une concentration d'atomes étrangers : on parle de dopage de type *n*. On donne le nom d'*impuretés* aux atomes étrangers introduits dans la maille cristalline. Dans le cas d'un semiconducteur extrinsèque de type *n*, les impuretés sont appelées *donneurs* car chacune d'entre elles donne un *électron libre*.

Atome (donneur) ionisé

Charge fixe positive

Electron libre :

Charge mobile négative

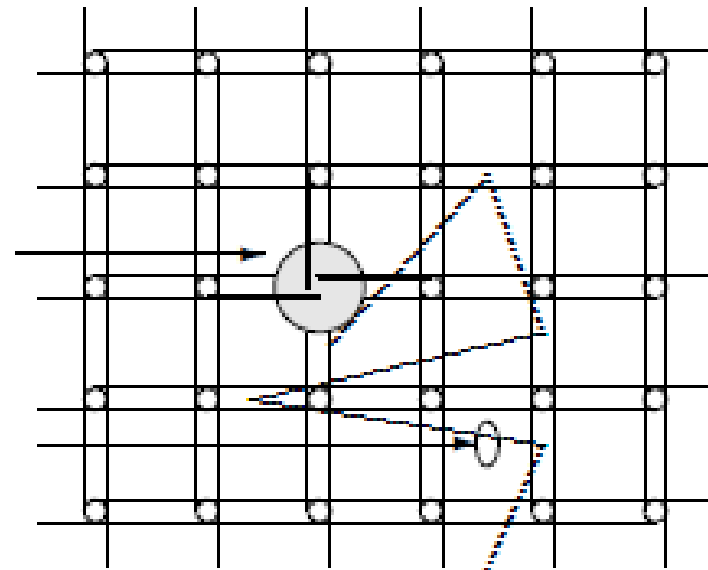


Semi-conducteurs extrinsèques de type p

Si l'on introduit des atomes trivalents dans le réseau cristallin du semiconducteur, les trois électrons de la couche périphérique de l'impureté prennent part aux liens de valence, laissant une place libre. Ce trou peut être occupé par un électron d'un autre lien de valence qui laisse, à son tour, un trou derrière lui. L'atome trivalent est alors ionisé et sa charge négative est neutralisée par le trou (voir figure ci-dessous). Le semi-conducteur est alors dit *extrinsèque de type p* . Les impuretés, pouvant accepter des électrons, sont appelées *accepteurs*.

Atome (accepteur) ionisé
Charge fixe négative

Trou libre
Charge mobile positive



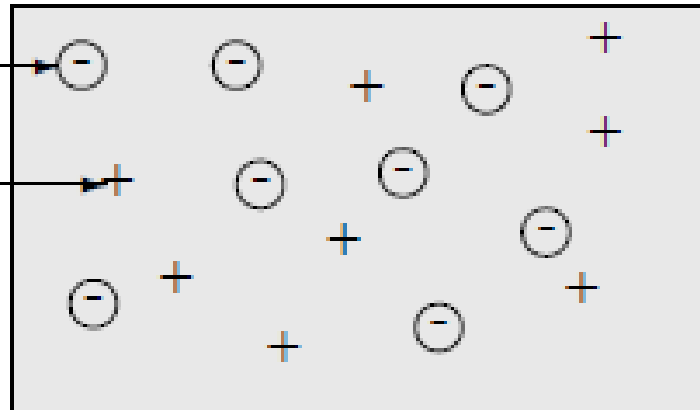
Les impuretés, dans un semi-conducteur extrinsèque de type p , sont *appelées accepteurs* au vu de leur propriété d'accepter un électron situé dans un lien de valence.

Atome (accepteur) ionisé

Charge fixe négative

Trou libre :

Charge mobile positive



La jonction PN

Jonction P-N

- Définition

L'union dans un même cristal d'un semi-conducteur type P et d'un semi-conducteur type N fait apparaître à la limite des zones P et N, une zone de transition appelée : Jonction P-N .

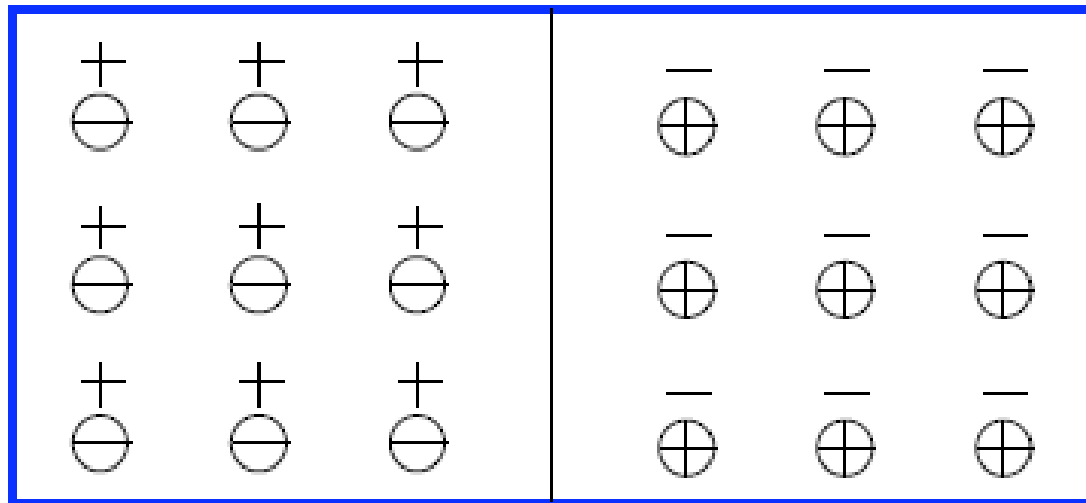


Figure 5 : Jonction P-N

Jonction P-N non polarisée

Au niveau de la jonction P-N :

- les électrons libres de la partie N diffusent vers les trous disponibles de la partie P
- les trous disponibles de la partie P diffusent vers la partie N et piègent des électrons. Il y a recombinaison électron-trou.

Les parties P et N étant initialement neutres, la diffusion des électrons et des trous a pour effet de charger **positivement la partie N, négativement la partie P d'où la création d'un champ électrique** interne. Ce champ repousse les porteurs majoritaires de chaque partie et arrête la diffusion (Figure 7). Entre les deux parties P et N apparaît alors une d.d.p. appelée aussi **barrière de potentiel de l'ordre de 0,7 V pour le Silicium, 0,3 V pour le Germanium**.

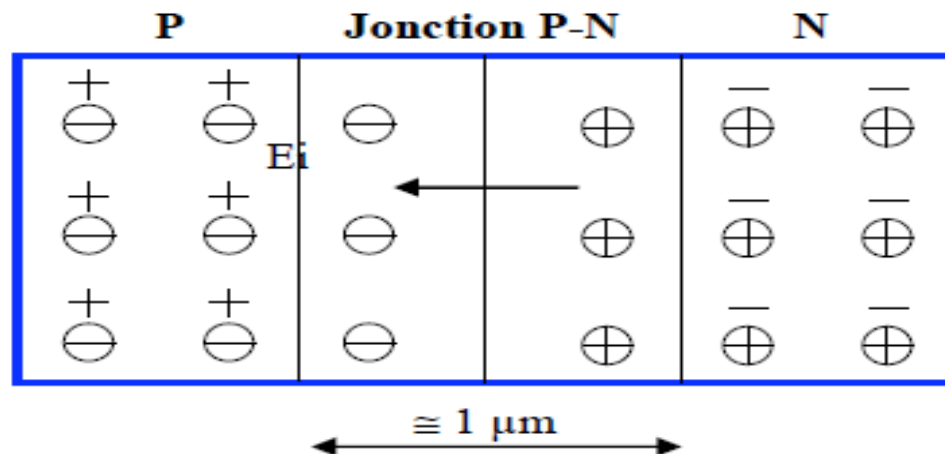


Figure 6 : Jonction P-N non polarisée à l'équilibre

Jonction P-N polarisée

- Polarisation en direct

Lorsqu'une tension positive est appliquée entre la partie P et la partie N ($U_{PN} > 0$), la jonction P-N est polarisée en direct (Figure 7). Cela revient à superposer au champ interne E_i , un champ externe E , le champ résultant a pour effet de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et par conséquent, le nombre de porteurs majoritaires capables de franchir la jonction augmente.

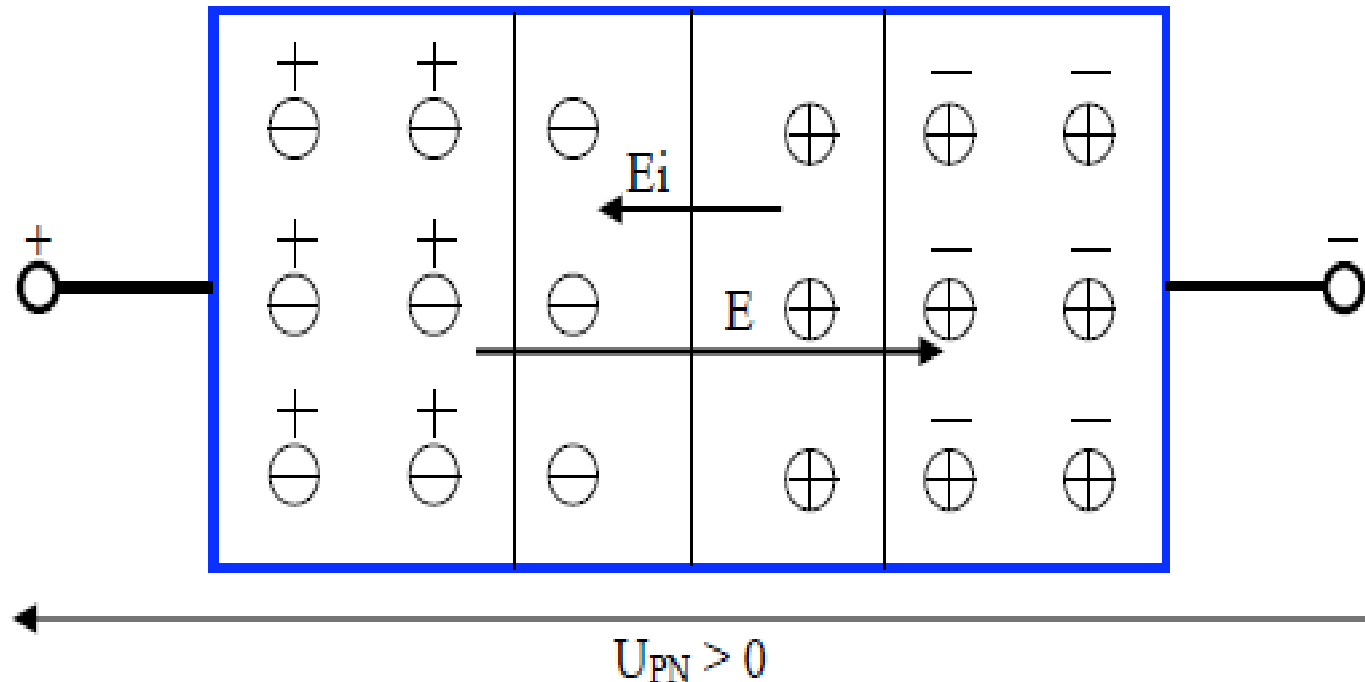


Figure 7: Jonction P-N polarisée en direct

Polarisation en inverse

Lorsqu'une tension négative est appliquée entre la partie P et la partie N ($U_{PN} < 0$), la jonction P-N est polarisée en inverse (Figure 8). Le champ résultant a pour effet d'empêcher la circulation des porteurs majoritaires. La jonction est **bloquée**. Le **courant inverse est pratiquement nul**.

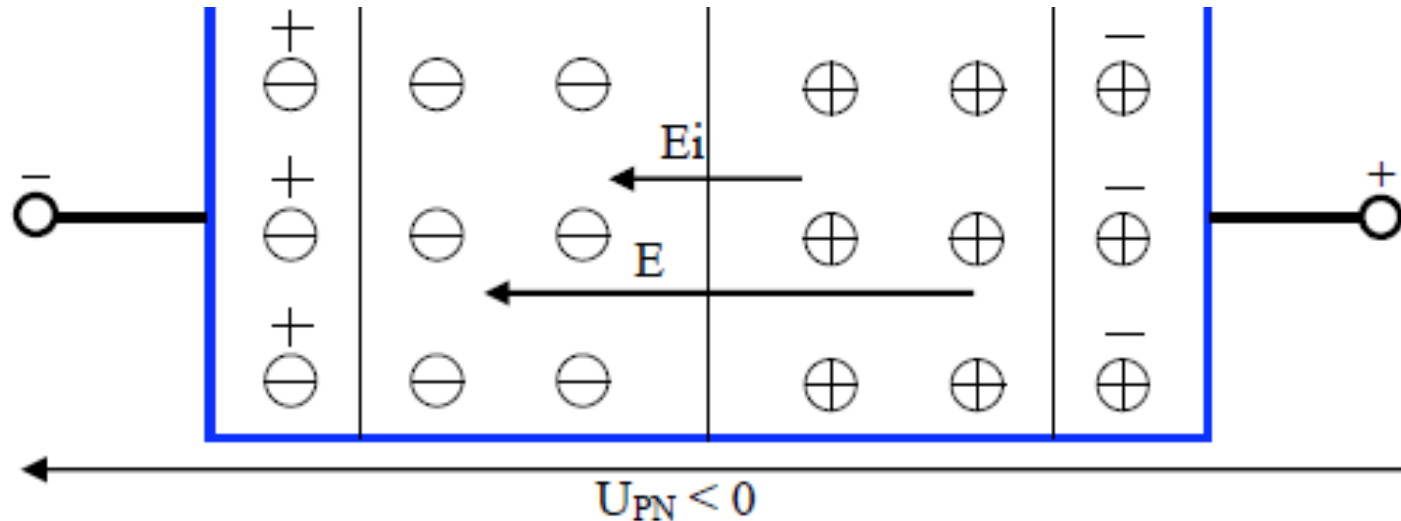


Figure 8: Jonction P-N polarisée en inverse

La diode à jonction

Définition

Une diode à jonction est un composant électronique constitué de deux électrodes : l'Anode (A) et la Cathode (K).

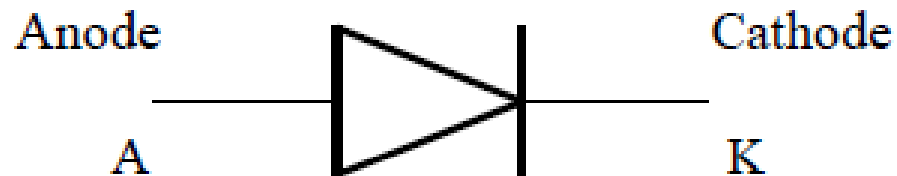


Figure 1 : Symbole d'une diode à jonction

Polarisation de la diode

En polarisation directe, la tension appliquée ($V_{AK} > 0$) permet le passage d'un courant électrique de l'anode vers la cathode appelé courant direct.

En polarisation inverse, la tension appliquée ($V_{AK} < 0$) empêche le passage du courant. Le courant inverse est pratiquement nul.



Figure 2 : Polarisations directe et inverse de la diode à jonction

Caractéristique statique courant-tension de la diode

Cette caractéristique décrit l'évolution du courant traversant la diode en fonction de la tension à ses bornes en courant continu.

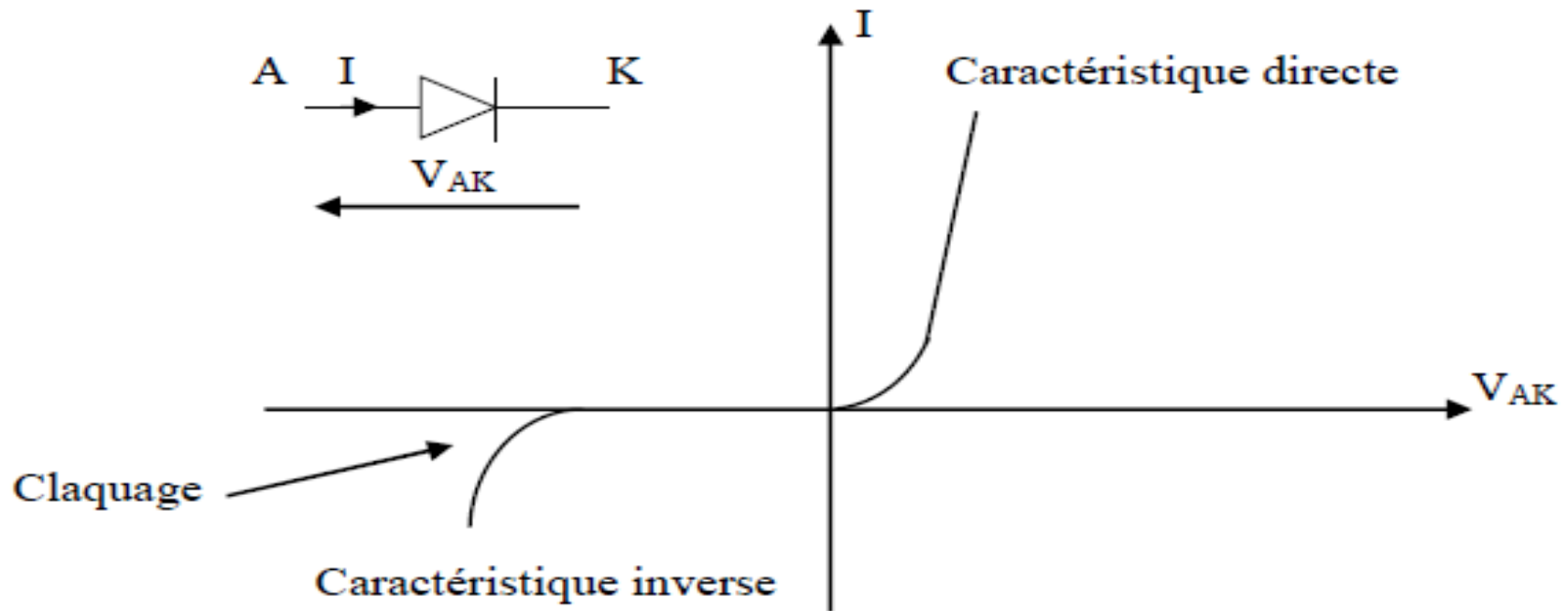


Figure 3 : Caractéristiques statiques courant-tension

En examinant en détail la relation courant-tension d'une jonction polarisée, on constate que le courant obéit à la tension appliquée selon la loi exponentielle suivante :

$$I_D = I_s \left(\exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right) - 1 \right)$$

le courant I_s est appelé courant inverse de saturation. C'est la valeur asymptotique du courant traversant la jonction en polarisation inverse.

V_T est la tension thermodynamique qui vaut $V_T = KT/q = 26\text{mV}$ à 25°C ($q = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{C}$; $K = 1.38 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$):

n est le coefficient d'émission. Il dépend du matériau, voisin de 1 dans les jonctions de transistors au silicium et dans les diodes au germanium, et compris entre 1 et 2 dans les diodes au silicium.

La diode est dite polarisée en direct lorsque la tension V_D est positive. Dans ce cas, la croissance exponentielle du courant est fortement marquée par la tension de seuil V_{D0} . Pour la jonction au silicium, la tension seuil V_{D0} s'établit environ entre 0,6V et 0,7V .

Pour une tension appliquée $V_D < 0$, la diode est polarisée en inverse. Le courant traversant la diode de la cathode vers l'anode est extrêmement faible et croît rapidement avec la température ; il vaut I_s . On considère que la diode est bloquée.

Schéma équivalent :

Plusieurs schémas équivalents simplifiés sont proposés pour la représentation de la diode.

Diode idéale : Dans ce cas, on néglige la tension de seuil et la résistance interne de la diode. La caractéristique est alors celle de la figure I-7.

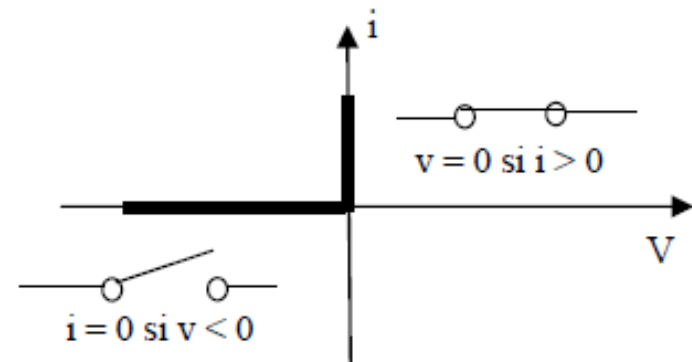
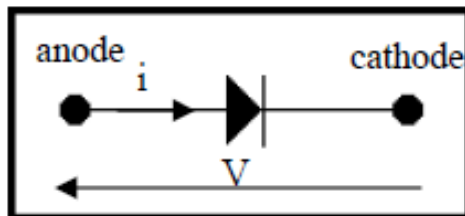


Figure I-7

Diode linéaire

On peut continuer à négliger la résistance interne, mais tenir compte du seuil de la diode. La caractéristique devient :

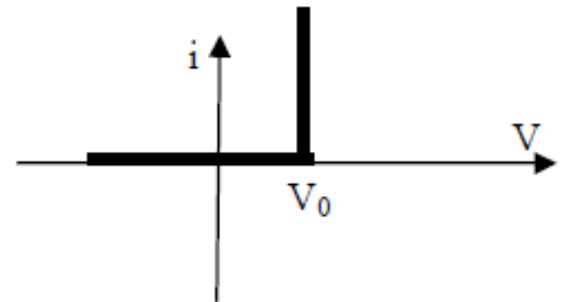
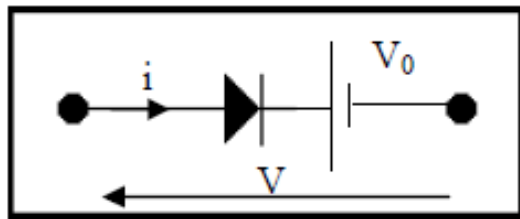


Figure I-8

Diode avec seuil et résistance

Ici, on prend en compte de la résistance de la diode. Ceci peut être utile si on utilise la diode en petits signaux alternatifs et qu'on a besoin de sa résistance dynamique.

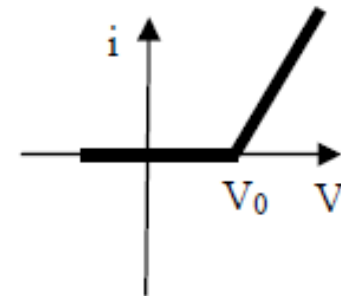
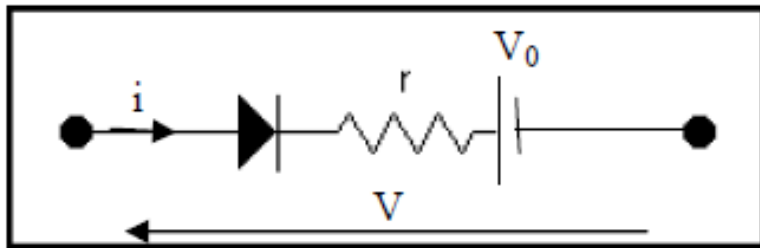


Figure I-9

Les autres diodes :

La diode Zener :

Dans le sens direct, cette diode se comporte comme une diode normale,

Mais c'est une diode spécialement conçue pour exploiter le claquage inverse. La tension de claquage est appelée **tension Zener**.

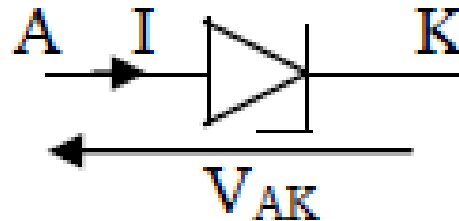


Figure 8 : Symbole de la diode Zener

Caractéristique statique courant-tension

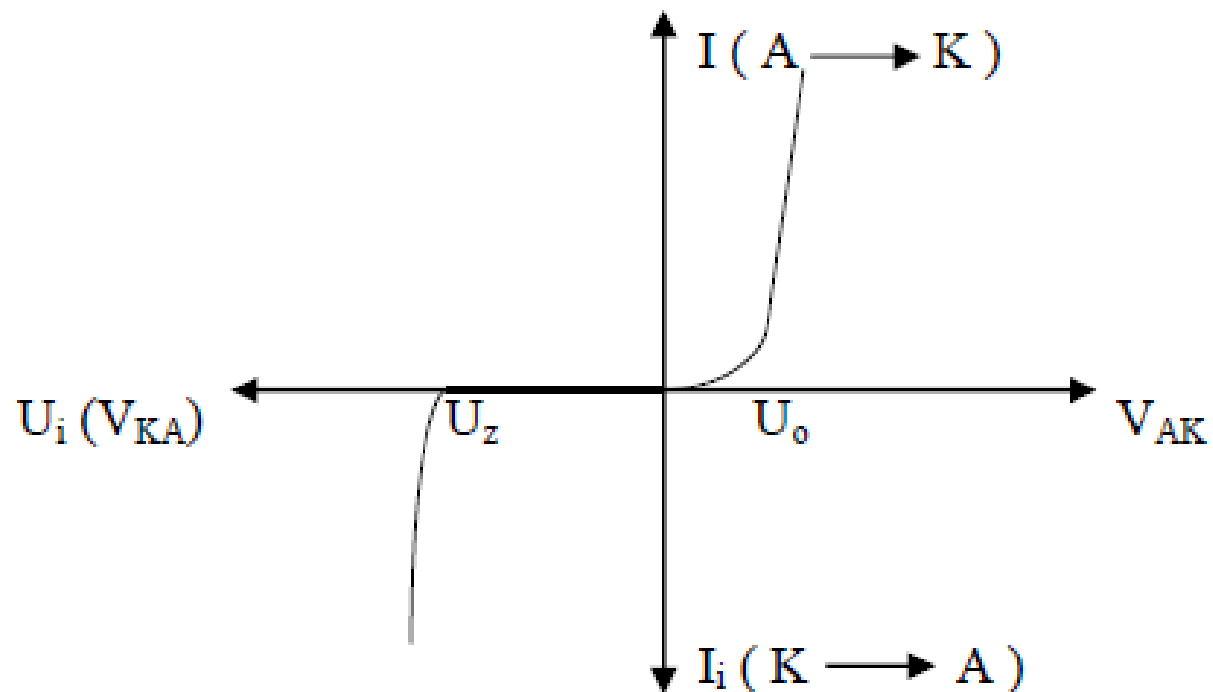


Figure 9 : Caractéristique courant-tension de la diode Zener

*En polarisation directe, une diode Zener est équivalente à une diode normale.
En polarisation inverse, la diode conduit lorsque la tension inverse U_i devient supérieure à la tension*

Zener U_z . La caractéristique linéarisée conduit à l'équation :

$U_i = U_z + R_z I_i$ où **R_z** est la **résistance** dynamique inverse. Dans ce cas La diode Zener est équivalente au modèle suivant :

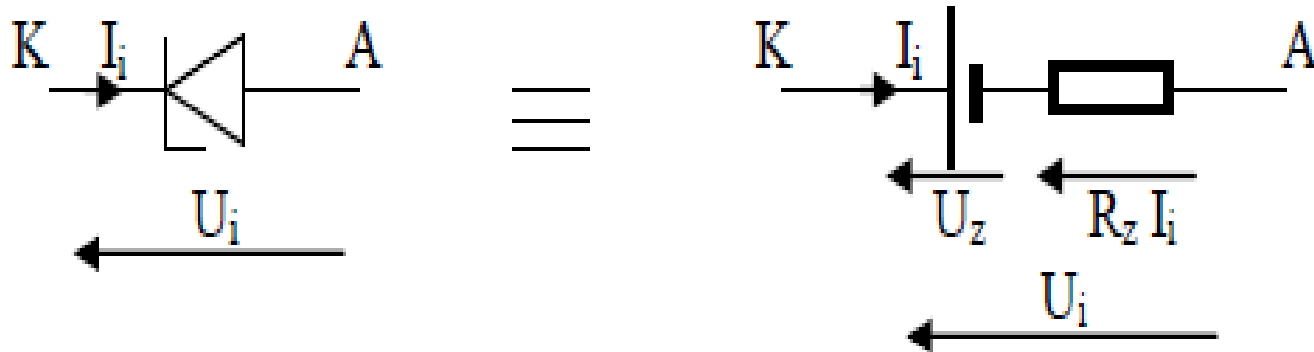


Figure 10 : Schéma équivalent à une diode Zener polarisée en inverse

La diode Schottky

Fréquemment utilisée en HF comme mélangeuse entre autres, cette diode à un seuil de tension très bas (0.25V) et commute très rapidement les signaux. Les Schottky de puissance sont également utilisées dans les alimentations.

La diode électroluminescente (LED ou DEL)

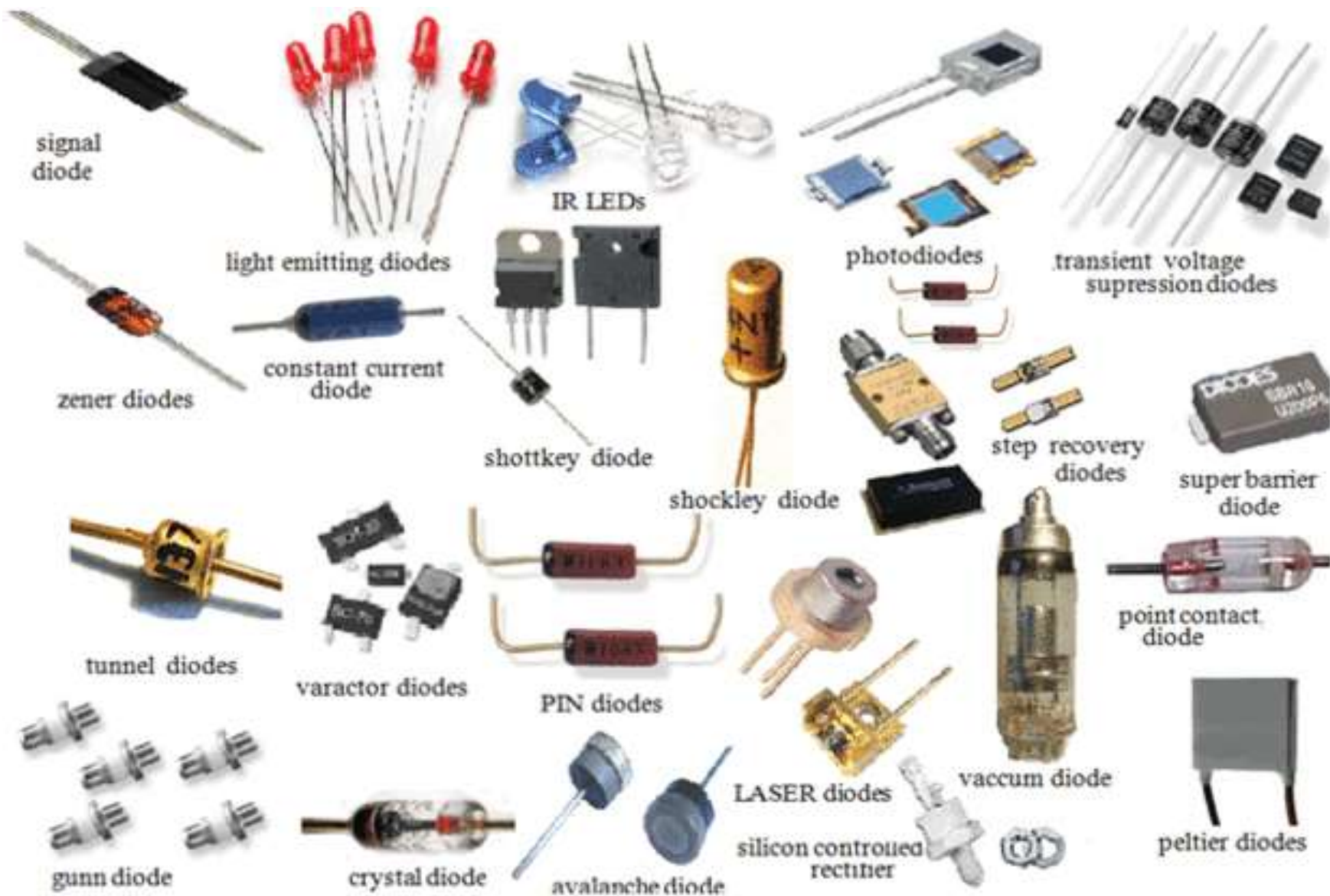
Vous la connaissez bien, on en voit partout. Retenez qu'une DEL ou LED in English fonctionne avec un courant d'une dizaine de mA.

Les LED on une tension de seuil variable en fonction de la couleur (ben oui...)

Rouge	~ 1,6 V
Jaune	~ 2 V
Vert	~ 2V
Bleue	~ 4V

La diode Varicap

Comme son nom l'indique, cette diode présente une capacité variable en fonction de la tension qui est appliquée à ses bornes. On l'utilise dans les oscillateurs commandés en tension (VCO) ou dans les circuits accordés. Vous la retrouverez souvent en HF.



Types of Diode

APPLICATIONS DES DIODES

Redresseur une alternance Une des applications les plus répandues des diodes est leur utilisation pour générer des tensions continues à partir d'une tension alternative. La figure montre un circuit redresseur simple alternance.

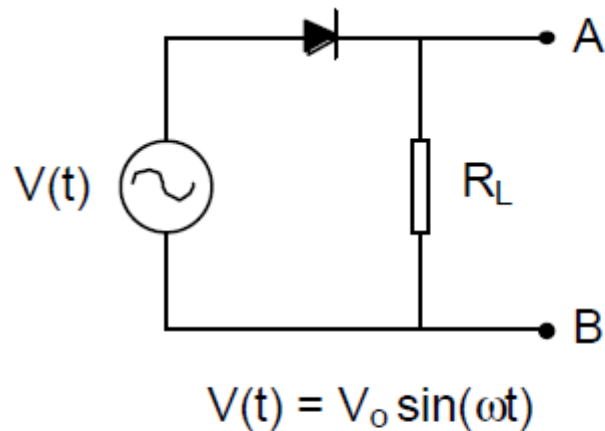


Figure 11.

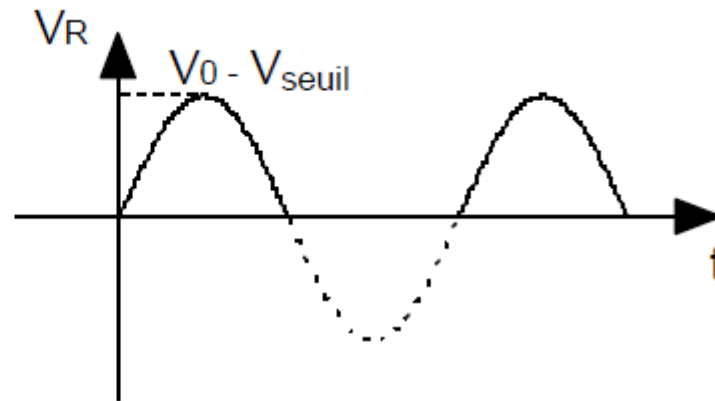


Figure 12.

La figure 12 représente la tension de sortie du circuit redresseur simple alternance.

Redresseur deux alternances

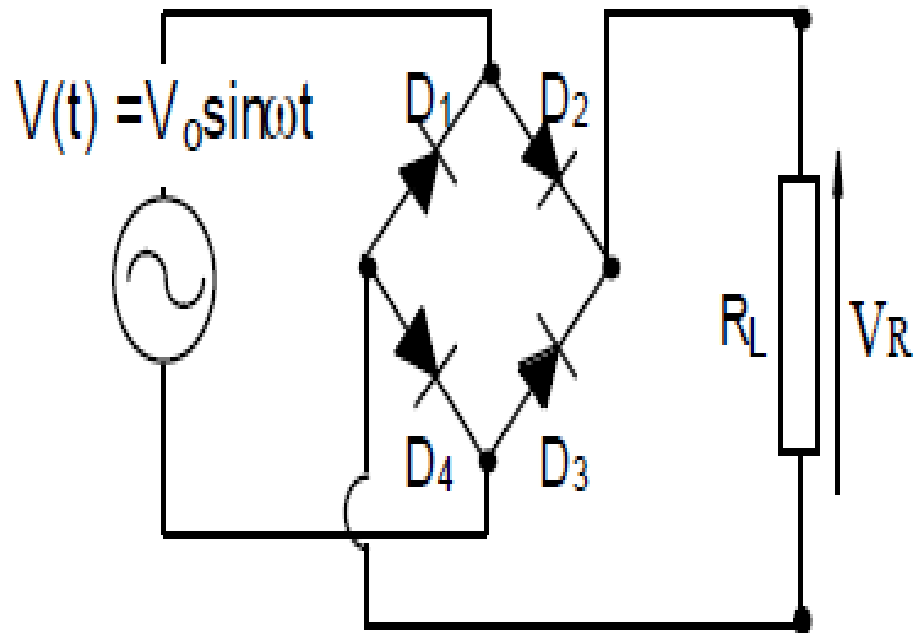


Figure 13.

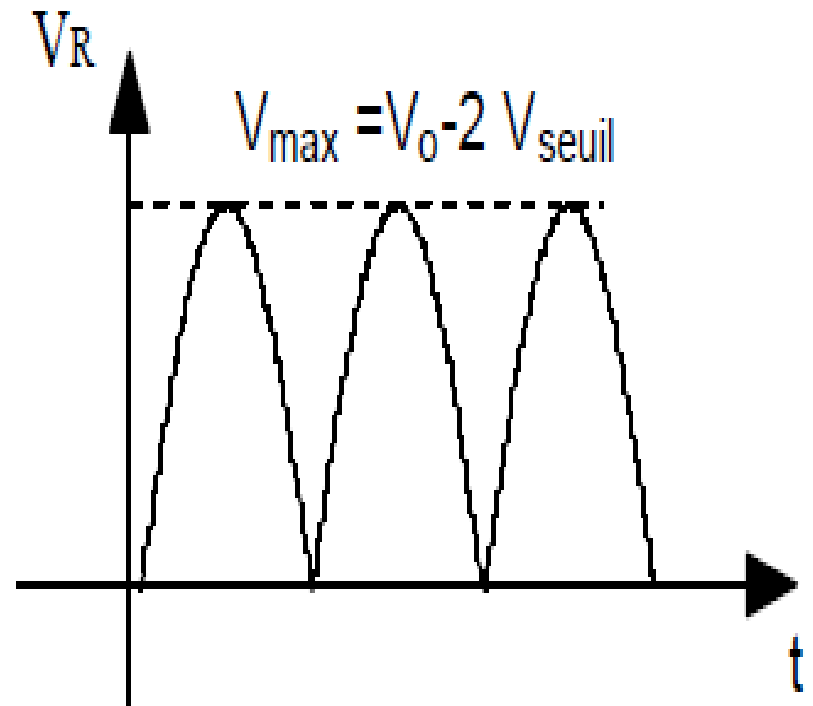


Figure 14.

Redresseur deux alternances

Le montage décrit sur la figure précédente nécessite quatre diodes et permet de profiter des deux alternances pour réaliser la fonction de redressement. Pendant la demi-période positive, le courant passe par D2 la résistance de charge RL et D4.

Pendant la demi-période négative, le courant passe par D1 la résistance de charge RL et D3. On observe que le courant circule toujours dans le même sens dans la résistance de charge RL.

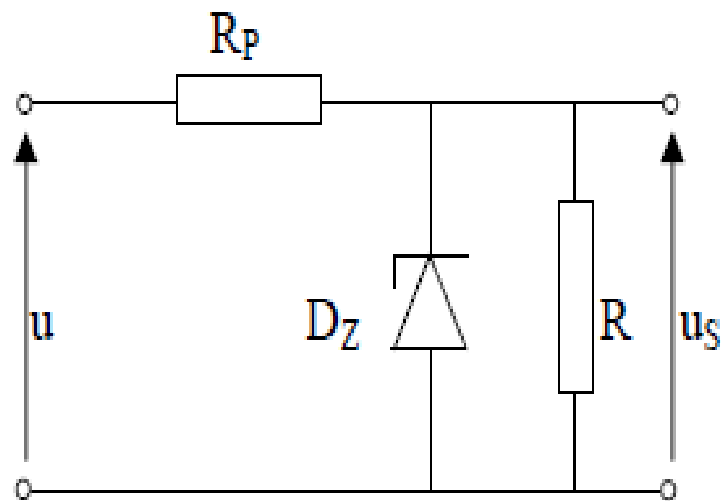
La figure 14 montre la tension aux bornes de la résistance RL qui est toujours du même signe (positive dans ce cas).

Stabilisation

Définition

La stabilisation d'une tension ondulée consiste à obtenir une tension pratiquement constante. Cette fonction peut être réalisée par une diode Zener.

Stabilisation par diode Zener



u : tension ondulée

R_P : résistance de polarisation
de la diode Zener.

Figure 9: Montage Stabilisateur de tension par diode Zener

LE TRANSISTOR BIPOLAIRE



Le transistor bipolaire

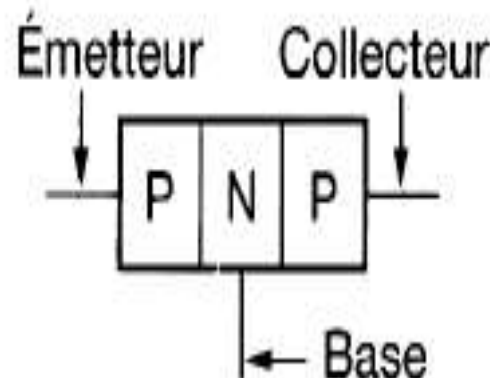
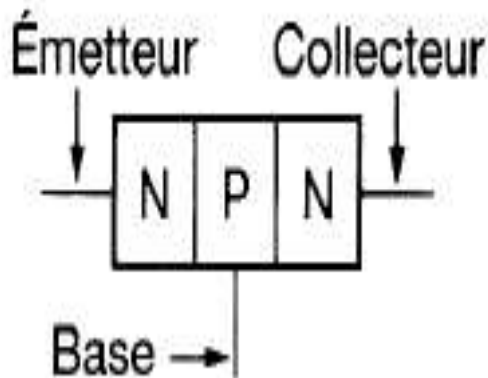
1- Présentation du transistor

Définition

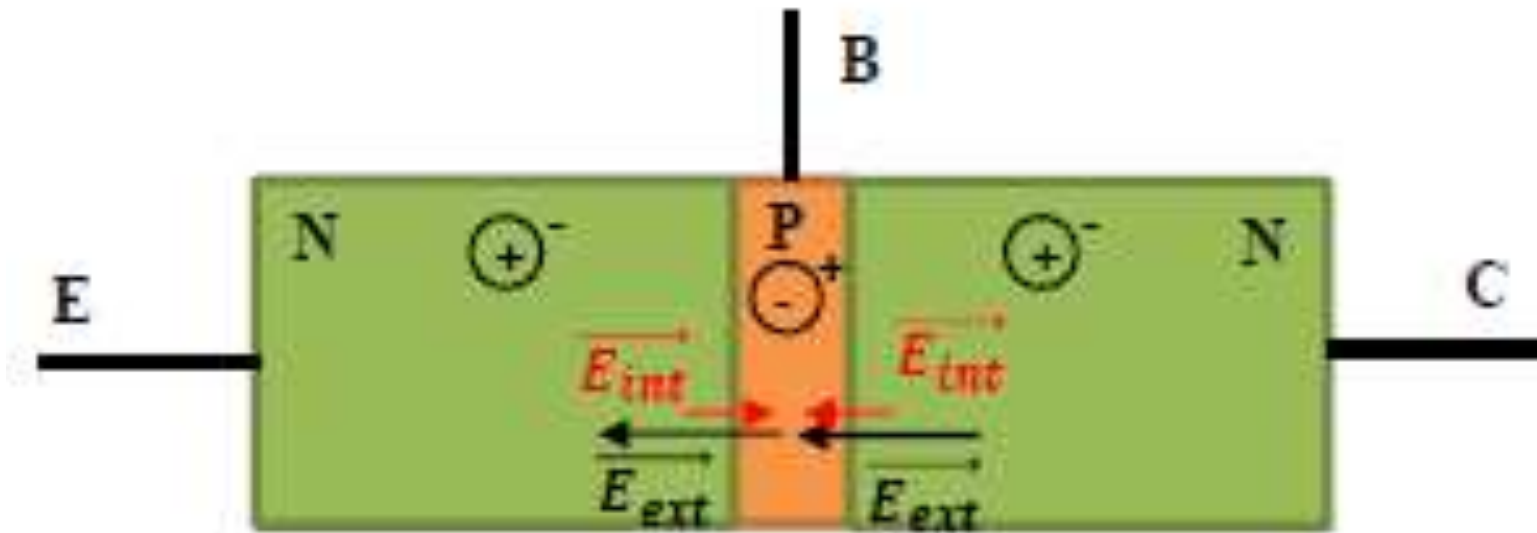
Le transistor est un composant électronique composé de 3 électrodes :
Le Collecteur (C) , l'Emetteur (E) et la Base (B).

Constitution :

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



Le transistor bipolaire



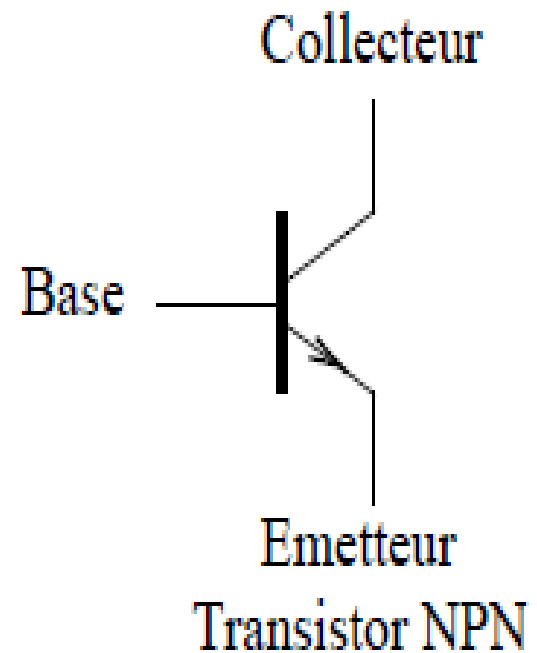
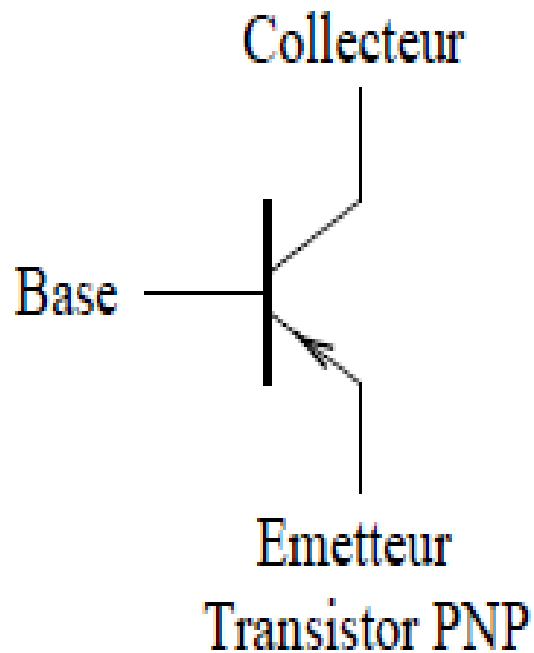
L'émetteur (E) est fortement dopé. Son rôle est d'injecter des électrons dans la base.

La base (B) est faiblement dopée et très mince. Elle transmet au collecteur la plupart des électrons venant de l'émetteur.

Le collecteur (C) recueille les électrons qui lui viennent de la base d'où son nom.

Symboles

ICS



Un transistor comporte trois connexions :
L'émetteur (E), la base (B) et le collecteur (C)

Le transistor **NPN**

La base, zone de type P est située entre deux zones de type N.

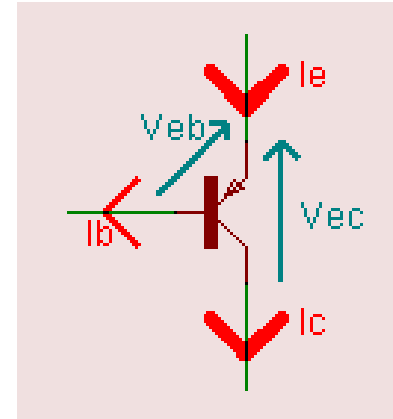
Le transistor **PNP**

La base, zone de type N, est située entre deux zones de type P.

Le transistor bipolaire

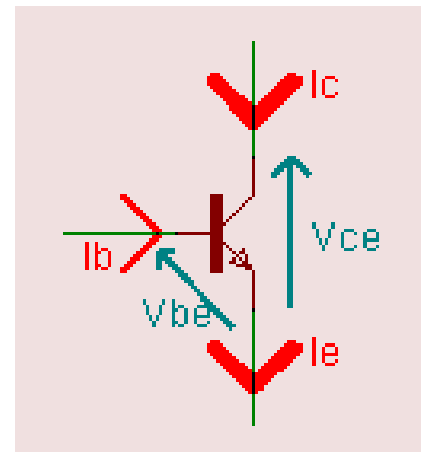
1. Pour le transistor NPN

- . Les courants collecteur i_C , emetteur i_E , et base i_B sont positifs.
- . Les tensions v_{BE} et v_{CE} sont positives.

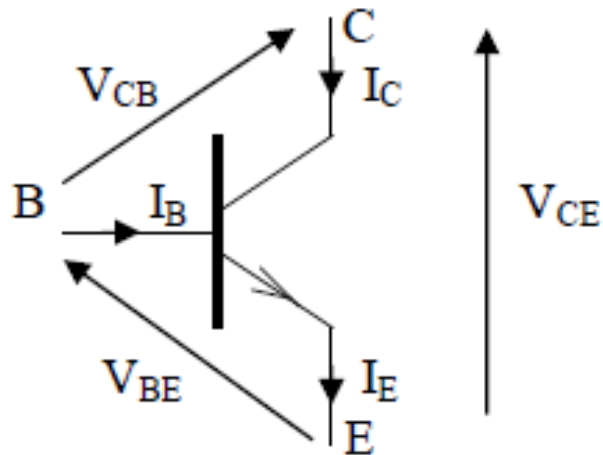


2. Pour le transistor PNP

- . Les courants collecteur i_C , emetteur i_E , et base i_B sont négatifs.
- . Les tensions v_{EB} et v_{EC} sont négatifs.

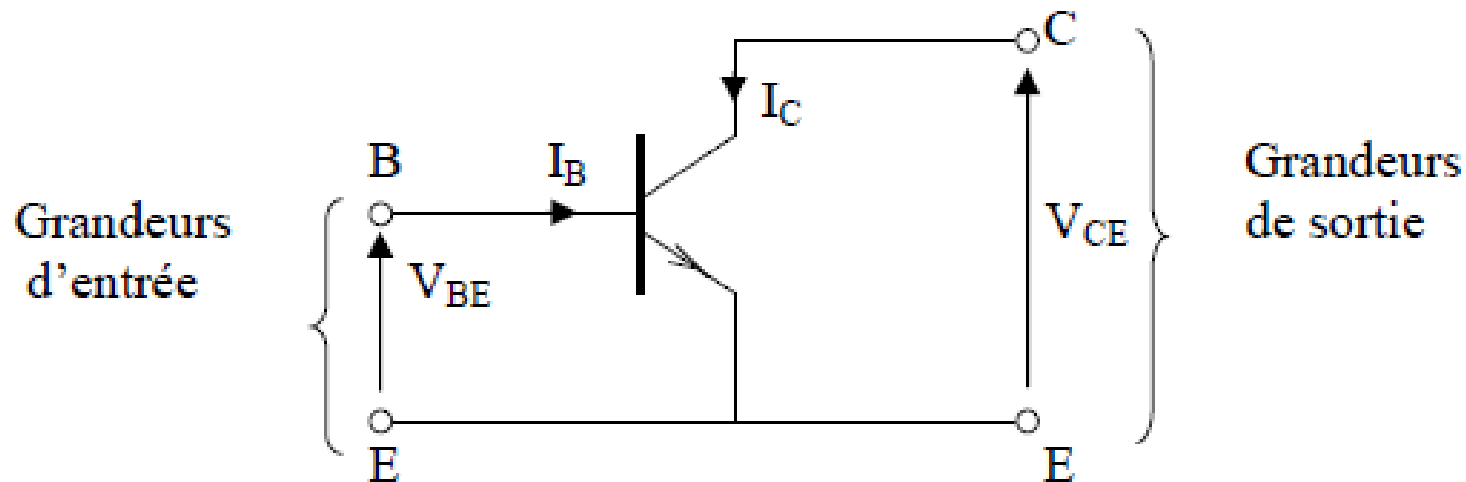


Equations



I_C : courant Collecteur,
 I_B : courant de Base,
 I_E : courant Emetteur.

$$I_E = I_C + I_B$$
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$



Effet transistor

La loi des noeuds permet d'écrire : $I_E = I_C + I_B$

C'est le fait de véhiculer un fort courant collecteur à partir d'un faible courant de base ($I_C \gg I_B$).

On définit l'amplification statique en courant :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Ce coefficient β est souvent noté **Hfe** dans les catalogues constructeurs. Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant.

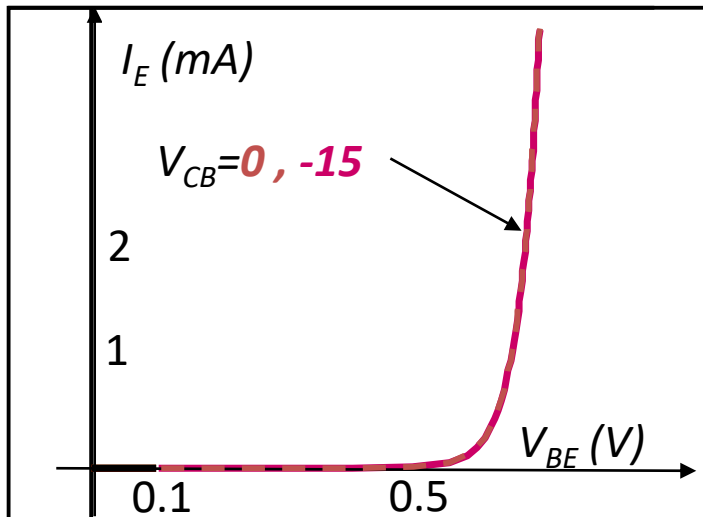
En règle générale β varie de 30 à 300 avec pour valeur courante :

- Transistors dit "Petit signaux" : $100 < \beta < 300$
- Transistors dit de "Puissance" : $30 < \beta < 100$

Caractéristiques :

$I_E(V_{BE}, V_{CB})$: « caractéristique d'entrée »

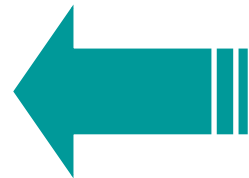
hypothèse: diode BC bloquée (mode usuel)



↓ ~ caractéristique d'une **jonction PN**

$$I_E \cong I_s \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right]$$

↓ très **peu d'influence de I_C** (resp. V_{CB})



Jonction BE bloqué

$I_E \sim 0, V_{BE} < 0.5 \text{ V}$

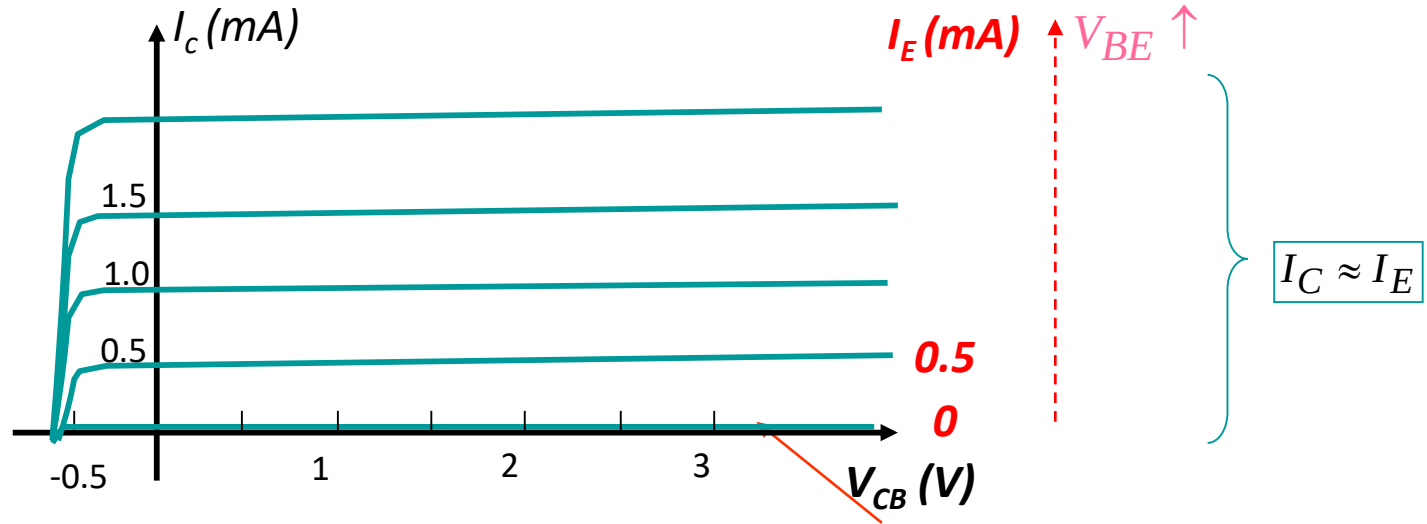


Jonction BE passante

$I_E > 0, V_{BE} \approx 0.6-0.7 \text{ V} =$
« V_o »

mode actif

$I_C(V_{CB}, I_E) :$



tension seuil de la jonction BC

$\equiv$ jonction PN polarisée en inverse

↓ pour $V_{CB} > \sim -0.5V$, on a $I_C = \alpha_F I_E$, avec α_F proche de 1.

↗ En **mode actif**,

$$I_B = I_E - I_C = I_E (1 - \alpha_F)$$

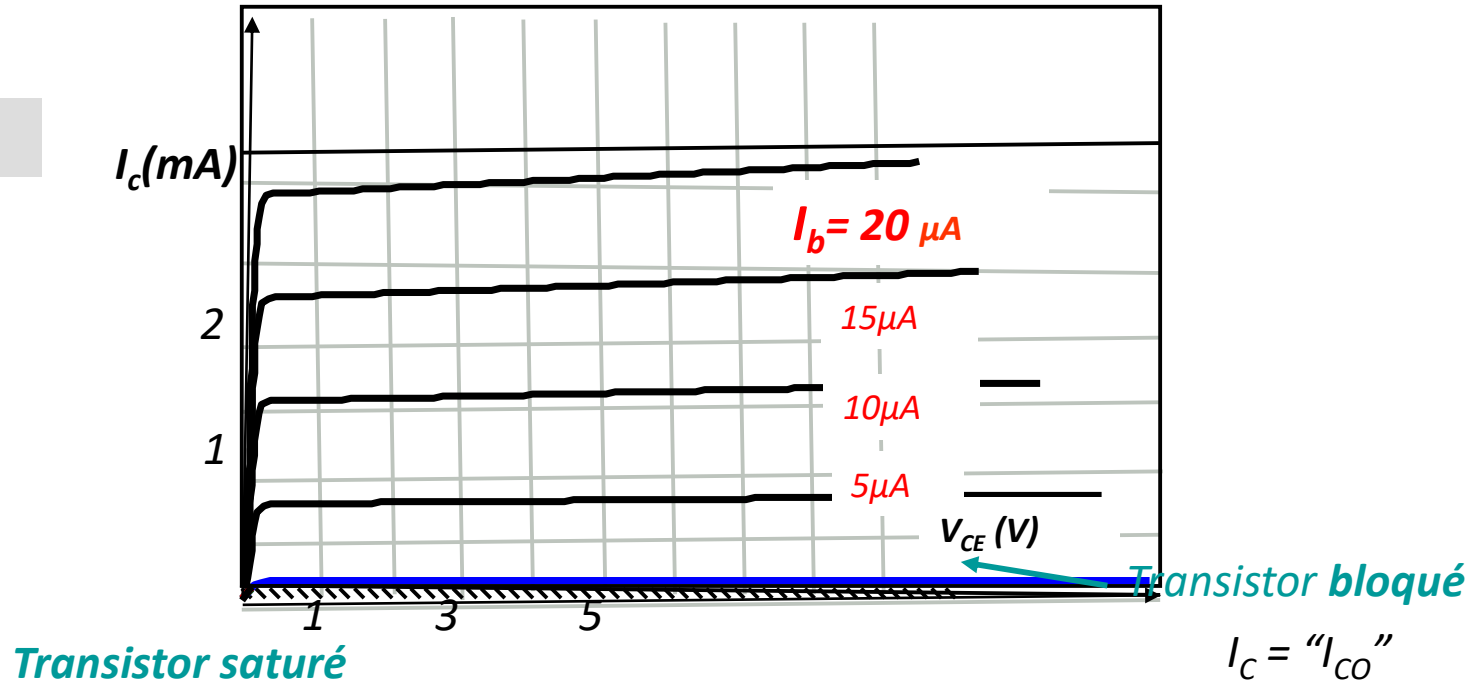
↓ pour $I_E = 0$, on a $I_C =$ **courant de saturation inverse** de la jonction BC ~ 0

↗ Transistor en “**mode bloqué**”

↓ pour $V_{CB} \approx -0.7$, la jonction BC est **passante**, I_C n'est **plus contrôlée** par I_E

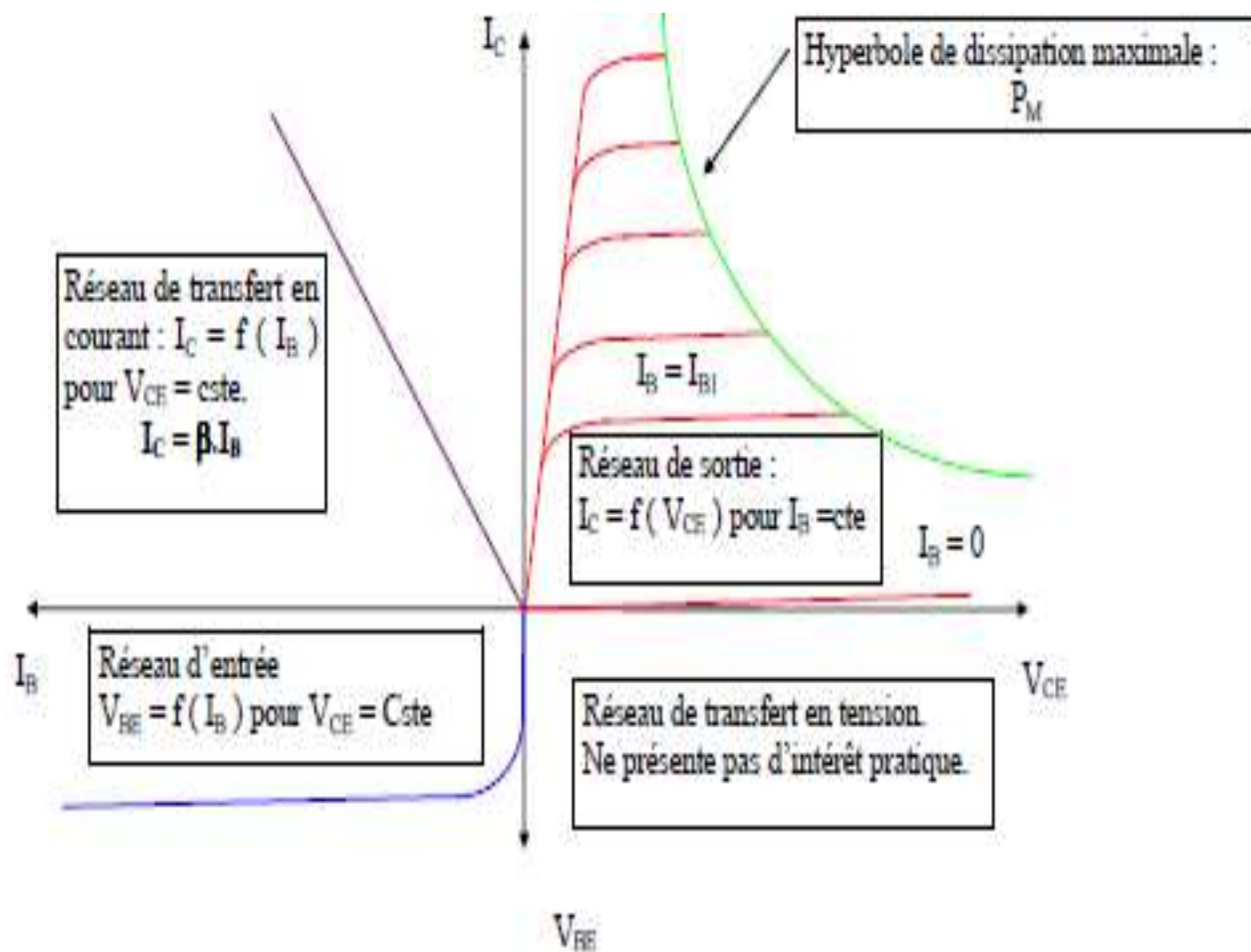
↗ Transistor en “**mode saturé**”

$I_C(V_{CE}, I_B) :$



↓ **Mode saturé** : Diode BC passante $\rightarrow I_C \sim$
indépendant de I_B

↗ gain en courant **diminue** lorsque $V_{CE} \rightarrow 0$



- **Caractéristique d'entrée : $I_B = f(V_{BE})$.**

Cette caractéristique d'entrée est identique à celle d'une diode lorsque $V_{CE} > 1\text{ V}$.

Pour la partie linéaire de la caractéristique, **$V_{BE} = V_{BE0} + r \cdot I_B$ et**

$0,6\text{ V} < V_{BE} < 1\text{ V}$

- **Caractéristique de sortie : $I_C = f(V_{CE})$.**

Pour $V_{CE} > 1\text{ V}$ et pour un courant de base I_B fixé, la caractéristique est sensiblement horizontale, le transistor se comporte comme un générateur de courant presque parfait dont l'intensité I_C est commandé par le courant de base I_B .

- **Etat bloqué :**

Lorsque I_B est nul, le courant I_C l'est aussi : **le transistor est bloqué, il se comporte comme un interrupteur ouvert** donc : **$V_{CE} = V_{CC}$**

- **Etat saturé :**

A partir d'une certaine valeur du courant de base I_B , le courant I_C reste constant (ne varie plus) même si I_B

continue à augmenter : **le transistor est saturé, il se comporte comme un interrupteur fermé** soit :

$V_{CE} \approx 0\text{ V}$

Lorsque le transistor est polarisé correctement, on peut définir plusieurs rapports de courants statiques (courants continus), notamment :

- **alpha statique**
$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_C}{I_C + I_B} \approx 1 \text{ car } I_B \ll I_C$$

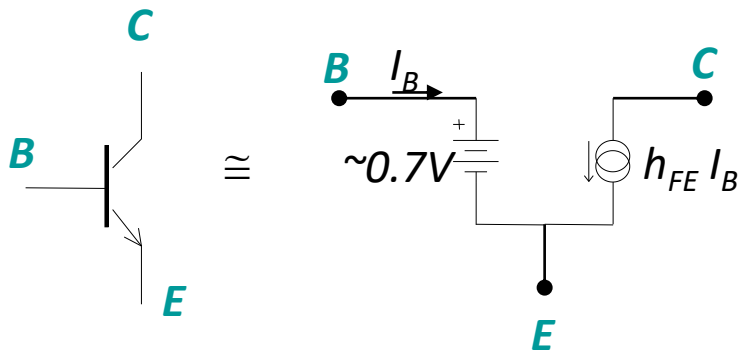
$$\alpha_{DC} > \begin{array}{l} 0,99 \text{ transistors classiques} \\ 0,95 \text{ transistors de puissance} \end{array}$$

- **bêta statique**

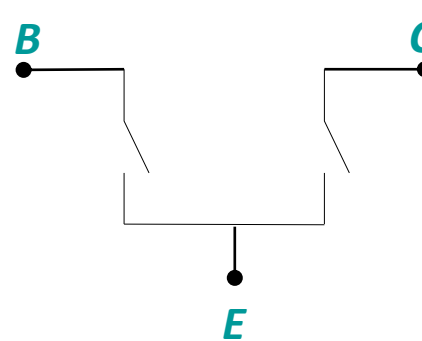
$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$$
$$100 < \beta_{DC} < 300 \text{ transistors classiques}$$
$$20 < \beta_{DC} < 100 \text{ transistors de puissance}$$

Configuration EC :

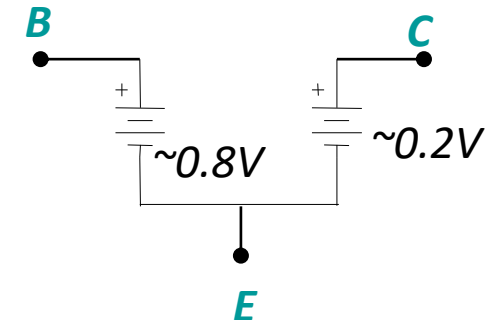
Mode actif :	$V_{BE} \approx 0.7V$	$\sim 0.3V < V_{CE} < V_{CC}$	$I_C \approx h_{FE} I_B$
Mode bloqué :	$I_B \cong 0$	$V_{CE} \cong V_{CC}$	$I_C \approx 0$
Mode saturé :	$V_{BE} \approx 0.8V$	$V_{CE} \approx 0.2V$	$I_C \neq h_{FE} I_B$



Mode actif



Mode bloqué



Mode saturé

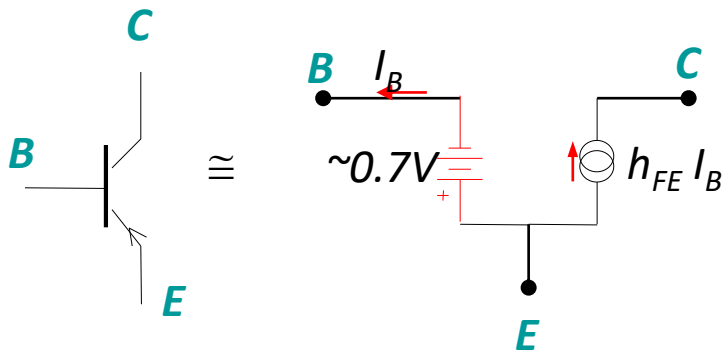
Transistor PNP

Configuration EC :

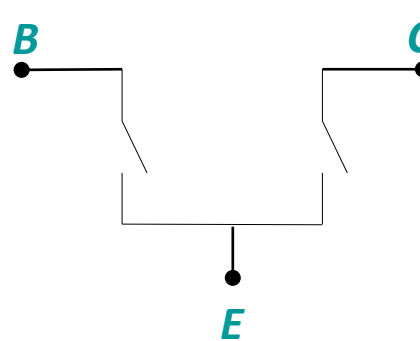
Mode actif : $V_{BE} \approx -0.7V$ $\sim -0.3V < V_{CE} < V_{CC}$ (< 0) $I_C \approx h_{FE} I_B$

Mode bloqué : $I_B \cong 0$ $V_{CE} \cong V_{CC}$ $I_C \approx 0$

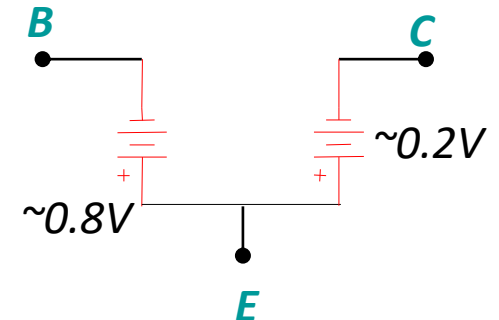
Mode saturé : $V_{BE} \approx -0.8V$ $V_{CE} \approx -0.2V$ $I_C \neq h_{FE} I_B$



Mode actif



Mode bloqué

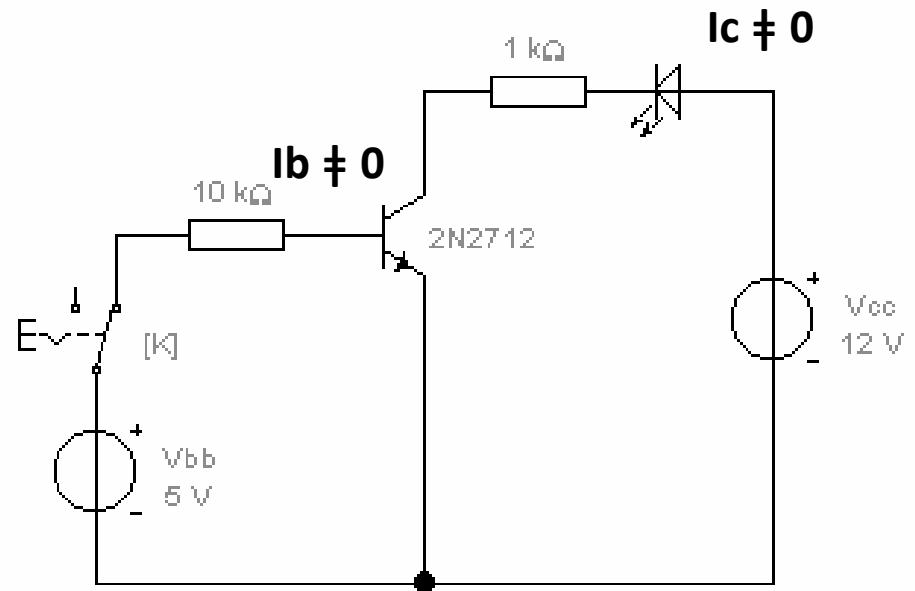
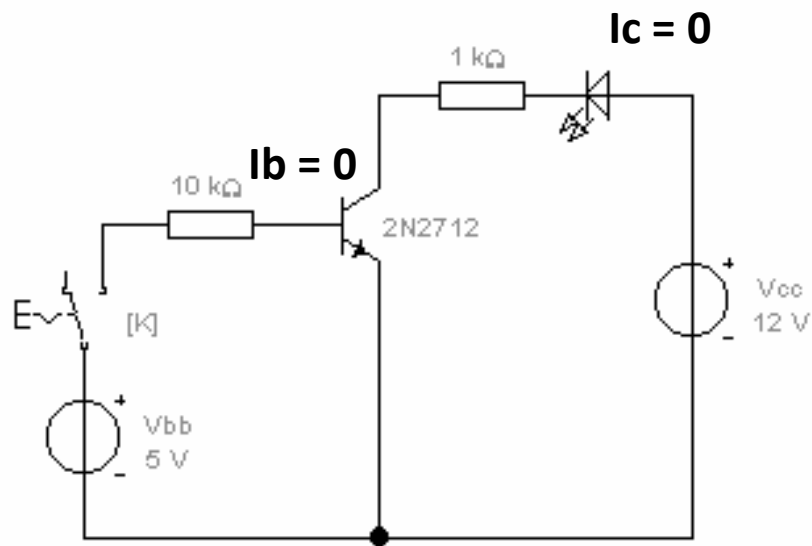


Mode saturé

Transistor bipolaire en commutation:

Introduction

- Nous allons maintenant étudier le transistor en commutation. C'est à dire qu'il ne peut prendre que deux états: bloqué ou saturé. Il faut savoir que ce mode de fonctionnement est le plus courant.
- On peut assimiler le transistor à un interrupteur commandé électriquement. La commande étant la base, et l'interrupteur étant entre le collecteur et l'émetteur.



On a alors 2 états de fonctionnement :

Si $I_b = 0$ on a $I_c = 0$

Le transistor est dit :

« BLOQUÉ »

(Donc équivalent à un interrupteur ouvert entre collecteur et émetteur)

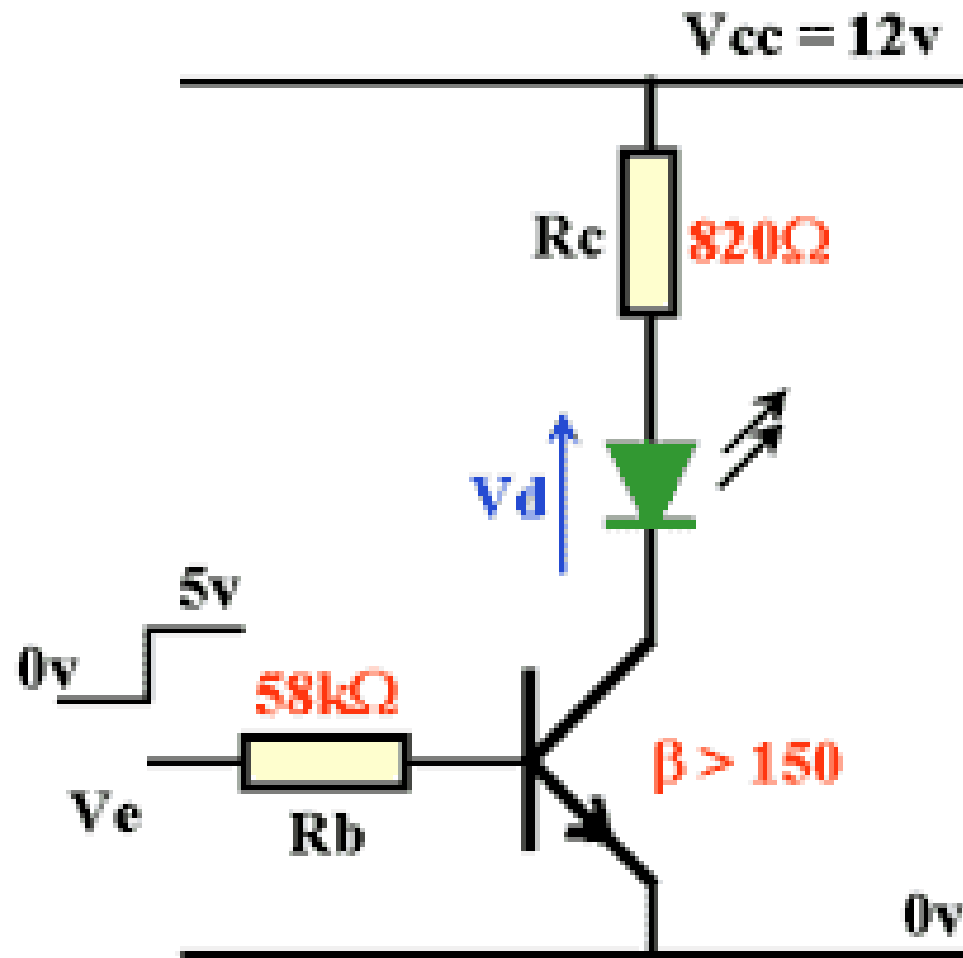
Si $I_b \neq 0$ on a $I_c \neq 0$

Le transistor est dit :

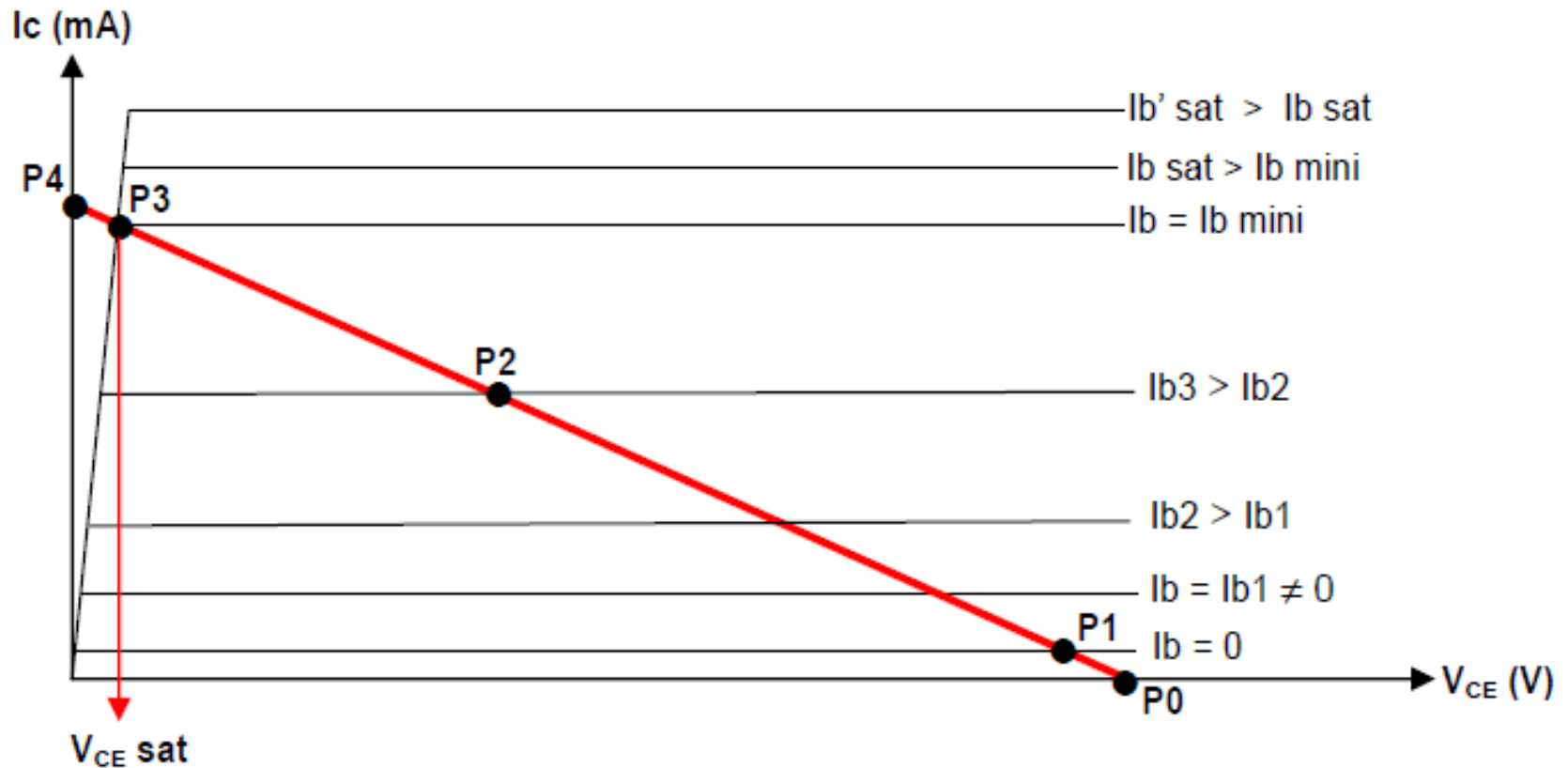
« SATURÉ (ou PASSANT) »

(Donc équivalent à un interrupteur fermé entre collecteur et émetteur)

Un exemple du transistor en commutation



Points de fonctionnement d'un transistor en commutation :



Sur le réseau de caractéristique $I_c = f(V_{CE})$ à $I_b = \text{constante}$ ci-dessous on trace la "droite de charge du transistor" :

- Lors du fonctionnement en commutation le point **P** se déplace sur la droite de charge entre **P1 (pour $I_b = 0$)** et **P3 (pour $I_b = I_{b \text{ mini}}$)**.

On peut définir les coordonnées des points P0 et P4 :

- Point **P0** : On a $I_c = 0$ donc $V_{CE} = V_{CC}$
- Point **P4** : On a $V_{CE} = 0$ donc $I_c = V_{CC} / R_C$
- En conclusion si I_b augmente :
- I_c augmente et tend vers V_{CC} / R_C
- V_{CE} diminue et tend vers 0

- On appelle $I_{b \text{ mini}}$ la valeur pour laquelle on a saturation du transistor ; pour cette valeur I_b on a :

$$I_c = V_{CC} / R_C (= I_{c \text{ sat}}) \text{ et } V_{ce \text{ sat}} = 0$$

(En réalité $V_{CE \text{ sat}}$ varie de 0,1 à 0,4 V selon la valeur de $I_{b \text{ sat}}$)

- Cette valeur de $I_{b \text{ mini}}$ correspond à la valeur de $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ qui est la **tension de seuil** de la jonction Base / Emetteur.

Montages fondamentaux

Introduction

Nous allons étudier les caractéristiques essentielles des trois principaux montages à transistor:

- Emetteur commun
- Collecteur commun
- Base commune

Il s'agit d'amplificateurs de signaux alternatifs que l'on représentera en modèle petit signal. Nous calculerons pour ces trois montages l'amplification en tension, l'impédance d'entrée, l'impédance de sortie.

LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

Emetteur Commun

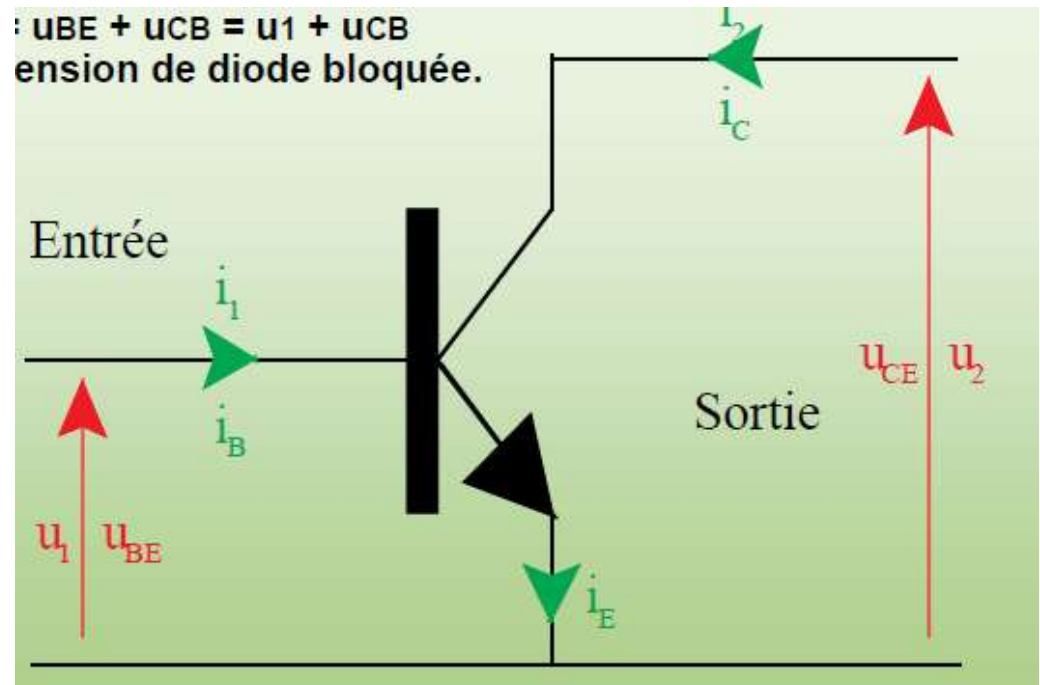
Fort gain en courant $\beta_i > 1$:

$$i_2 = i_C = i_B = i_1$$

• Fort gain en tension possible :

$$u_2 = u_{CE} = u_{BE} + u_{CB} = u_1 + u_{CB}$$

avec u_{CB} tension de diode bloquée.

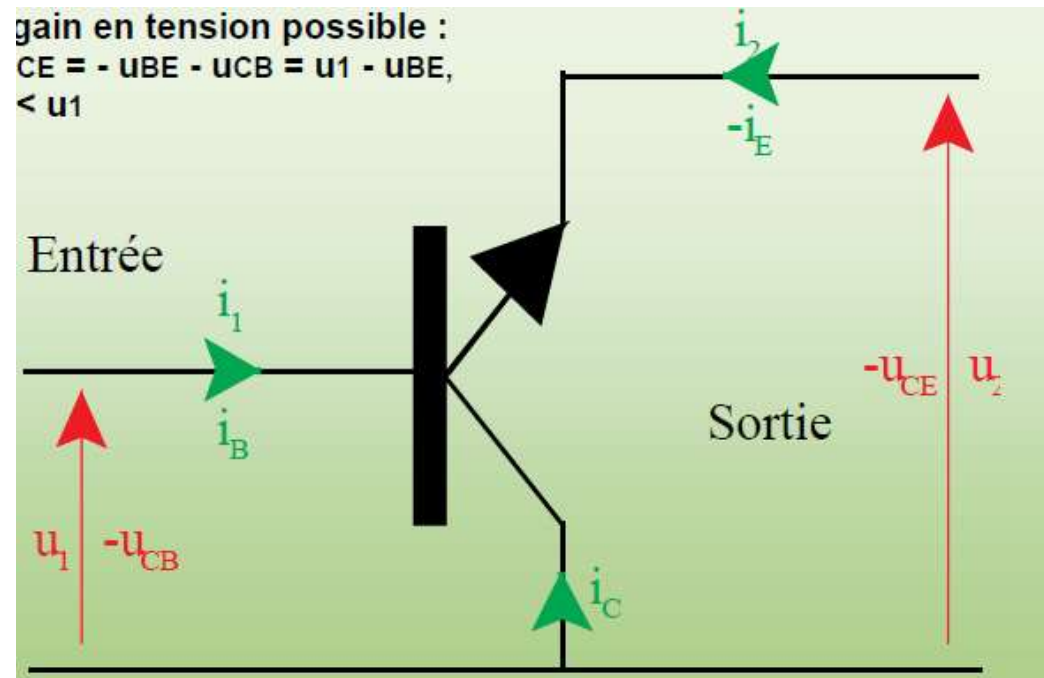


LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

Collecteur Commun

Fort gain en courant $A_i > 1$: $i_2 = i_C = (1 + \beta) i_B = (1 + \beta) i_1$

- Pas de gain en tension possible :
 $u_2 = -u_{CE} = -u_{BE} - u_{CB} = u_1 - u_{BE}$,
soit $u_2 < u_1$



LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

Base Commune

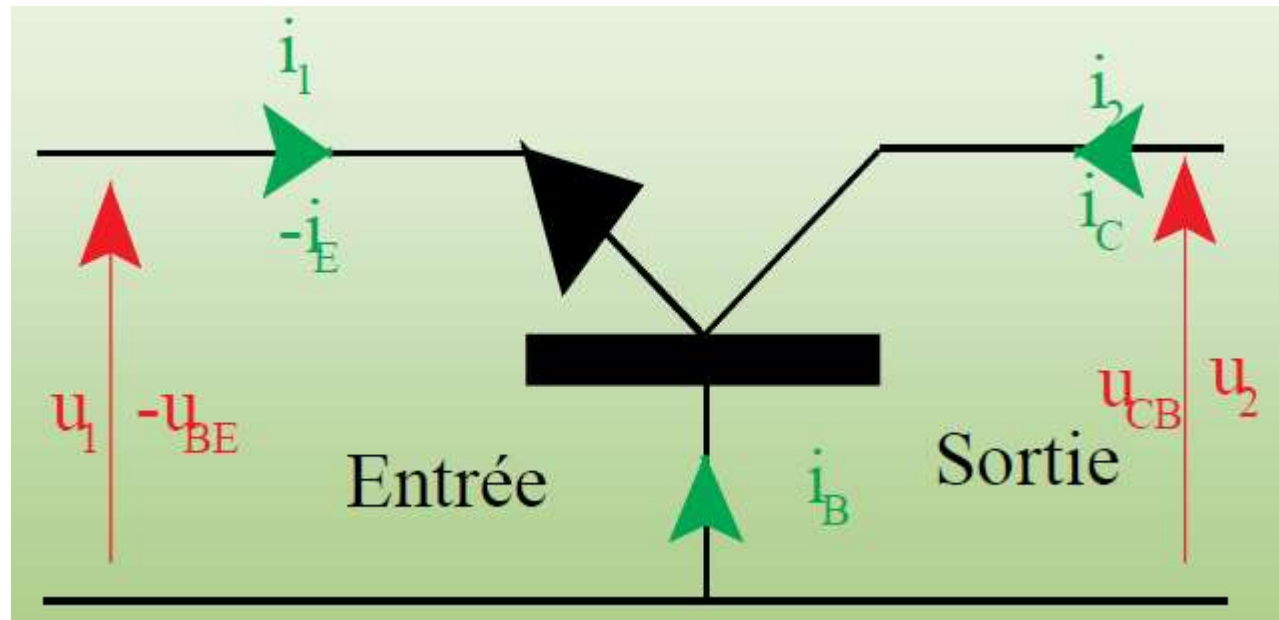
Pas de gain en
courant $A_i \sim 1 : i_2 =$
 $i_C = i_E = -\alpha i_1$

- Gain en tension
possible :

$$u_2 = u_{CB} = -u_{CE} -$$

$$u_{BE} = u_1 - u_{CE},$$

soit $u_2 < u_1$



LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

■ le Transistor = l'élément "clef" de l'électronique

il peut :

↓ **amplifier un signal**

↗ amplificateur de tension, de courant, de puissance,...

↓ être utilisé comme une **source de courant**

↓ agir comme un **interrupteur commandé (= mémoire binaire)**

↗ essentiel pour l'**électronique numérique**

il existe :...

↓ soit comme **composant discret** (composant de base)

↓ soit sous forme de **circuit intégré**, i.e. faisant partie d'un circuit plus complexe, allant de quelques unités à quelques millions de transistors par circuit (microprocesseurs)

LE TRANSISTOR BIPOLAIRE

Deux principales utilisations des transistors

- Comme un interrupteur commandé :

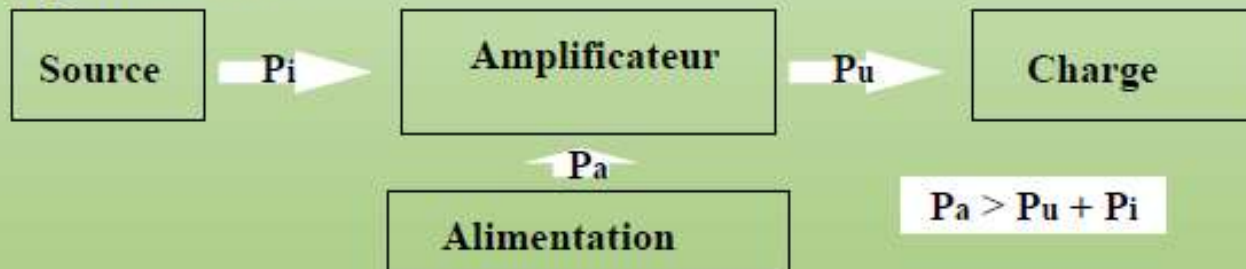
En Logique :



En électronique de puissance :



- Comme amplificateur :



L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Lorsque l'on veut amplifier un signal, nous savons utiliser les transistors pour cela. Il existe un autre moyen très performant et de mise en oeuvre simple pour amplifier un signal : l'amplificateur opérationnel. Il s'agit d'un circuit intégré ayant des caractéristiques d'amplificateur à gain élevé du continu jusqu'au domaine des MHz.

Le gain en tension et la bande passante de ce circuit sont ajustés en fonction des besoins par des résistances externes.

Il existe sur le marché plusieurs milliers de modèles d'amplificateurs opérationnels.

des circuits intégrés



Schéma interne d'un amplificateur opérationnel

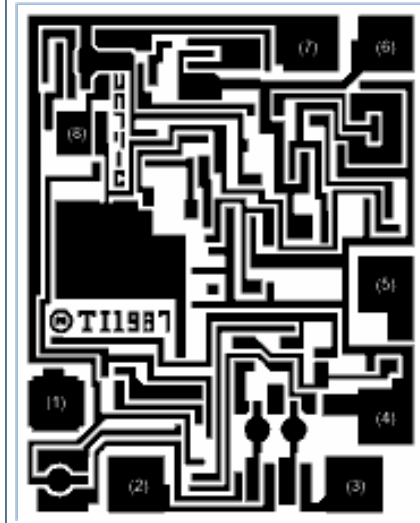
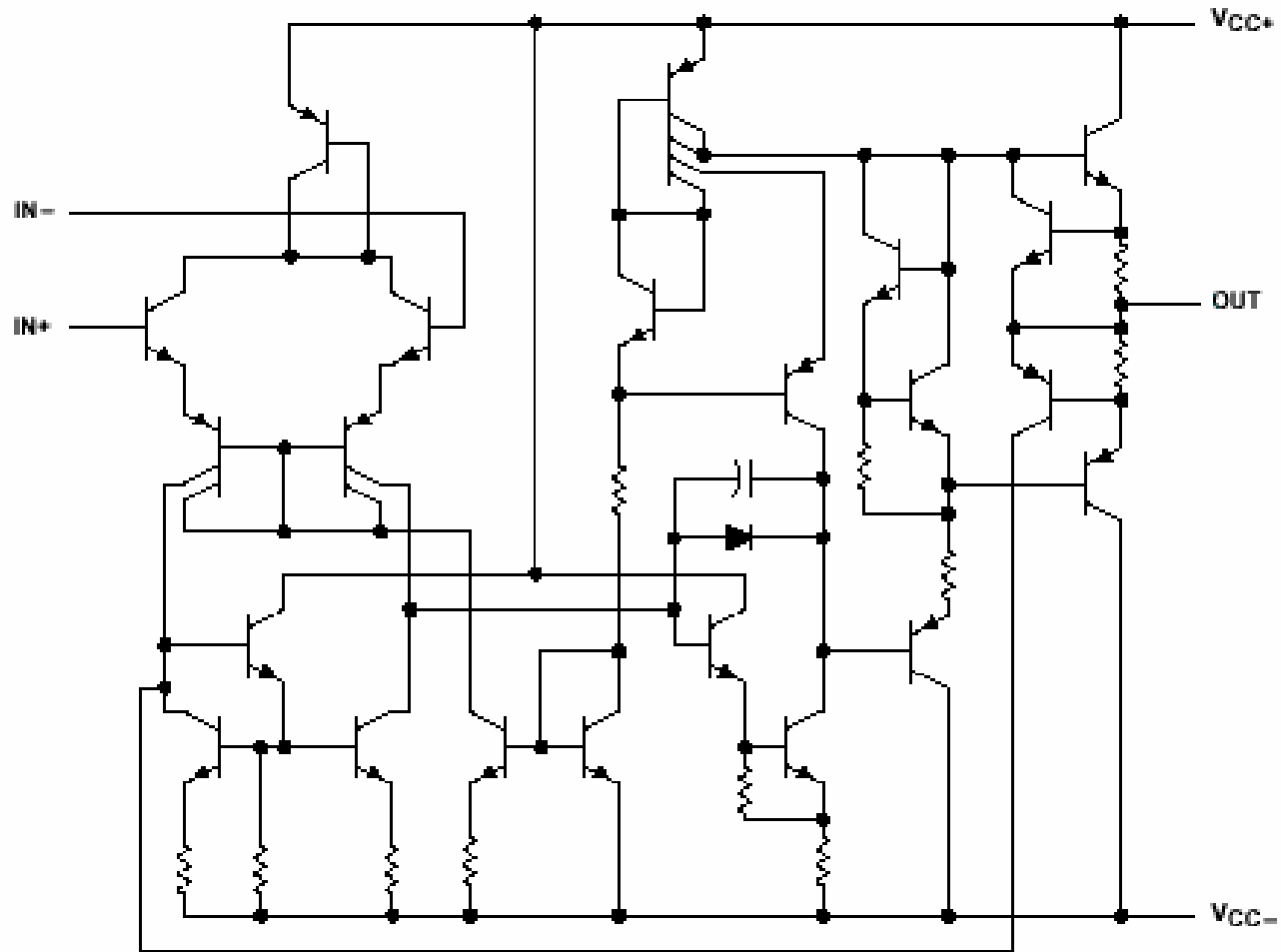
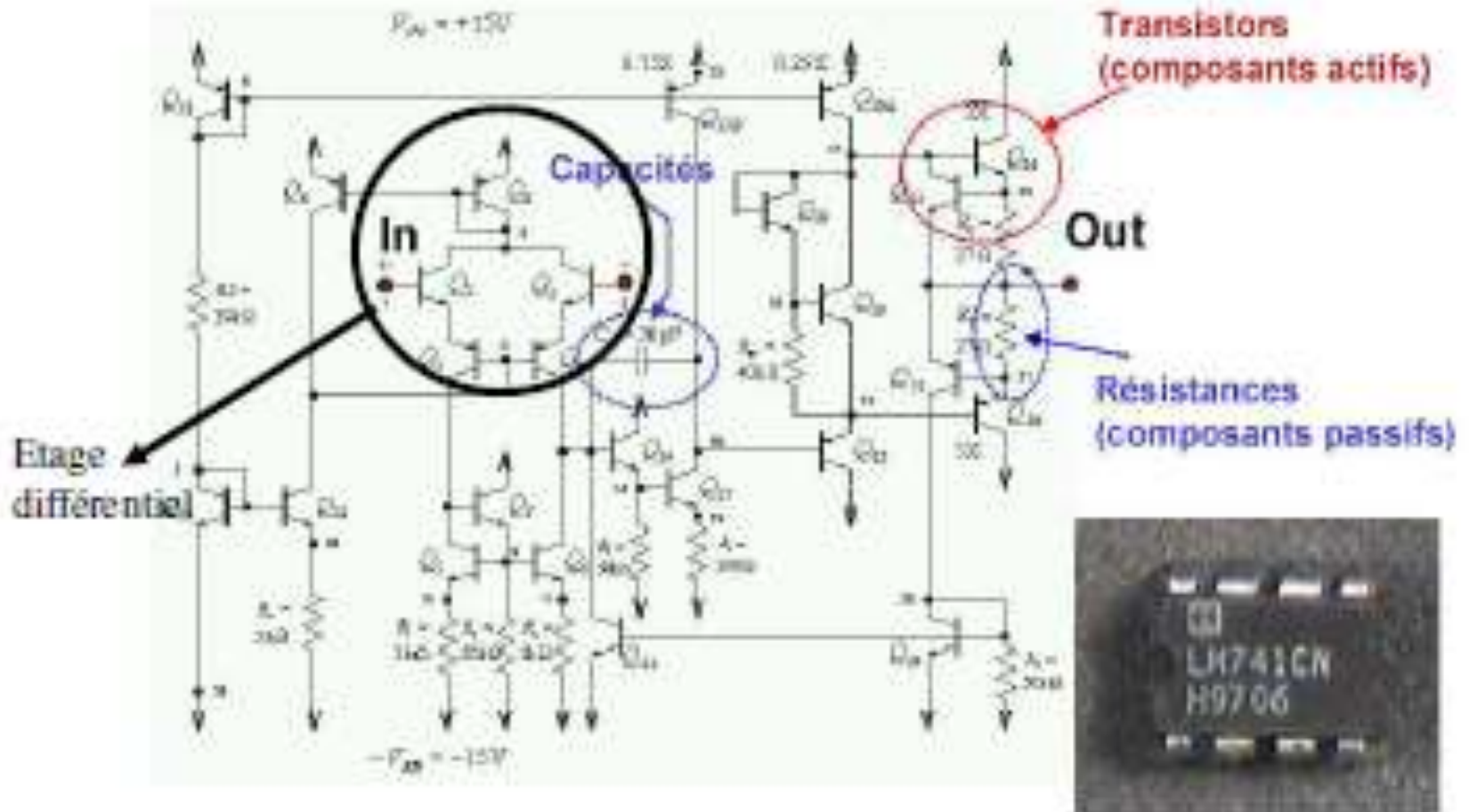


Schéma interne des circuits intégrés

Schéma interne d'un AO : LM 741

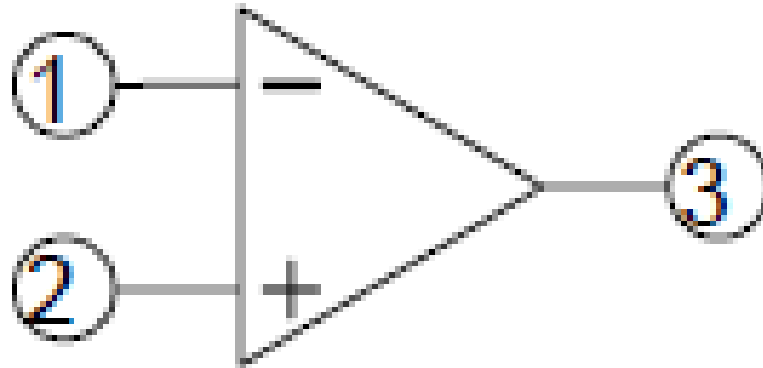


Présentation d'un amplificateur opérationnel

Les symboles

Ancien symbole (encore très utilisé)

- 1 Entrée inverseuse : le signal de sortie amplifié sera en opposition de phase par rapport au signal d'entrée 1
- 2 Entrée non inverseuse : le signal de sortie amplifié sera en phase par rapport au signal d'entrée 2
- 3 Signal de sortie amplifié



Présentation d'un amplificateur opérationnel

Symbole CEI (actuellement en vigueur)

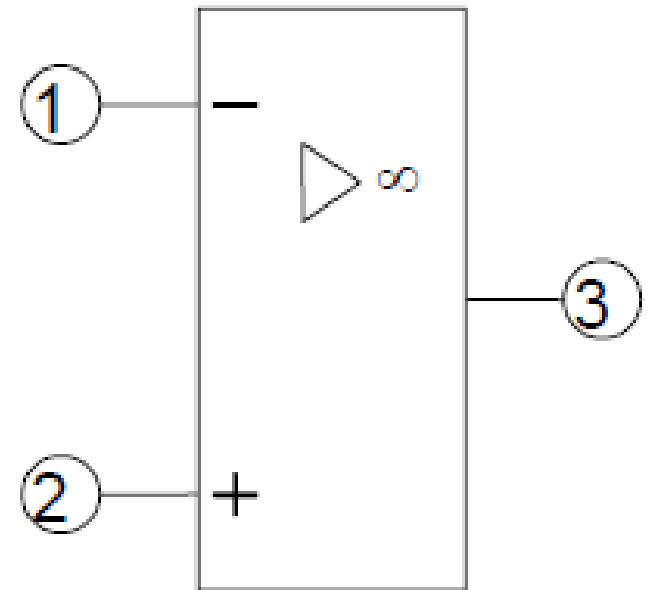
Comme précédemment, on retrouve

1 Entrée inverseuse

2 Entrée non inverseuse

3 Sortie amplifiée

Avec la même remarque que pour l'ancien symbole en ce qui concerne la position des entrées 1 et 2.



Présentation d'un amplificateur opérationnel

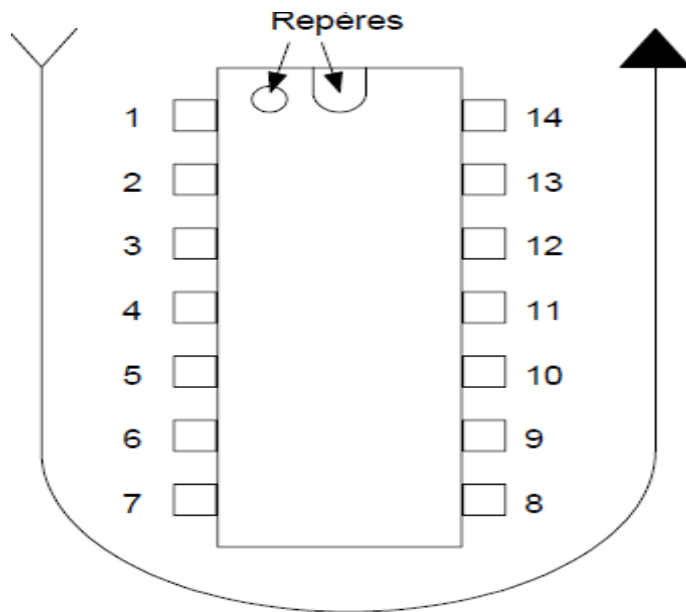
L' amplificateur opérationnel comprend trois étages :

- un étage d'entrée différentiel chargé d'amplifier une différence de potentiel entre deux signaux ($V+$ et $V-$) : **$A. (V+ - V-)$** ,
- un étage présentant un très fort gain, idéalement proche de l'infini,
- un étage de sortie permettant de délivrer le signal de sortie avec une faible résistance

Brochage d'un amplificateur opérationnel

L'amplificateur opérationnel constitue notre première rencontre avec les circuits intégrés. Il est donc utile de préciser comment identifier le brochage de ces circuits.

Les boîtiers DIL (Dual in Line)



A partir du repère placé en haut, on lit les bornes à partir de la première toujours prise en haut à gauche puis en suivant jusqu'à la dernière en haut à droite. Il peut y avoir 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 pattes selon les circuits

Brochage d'un amplificateur opérationnel

Composant à 8 broches :

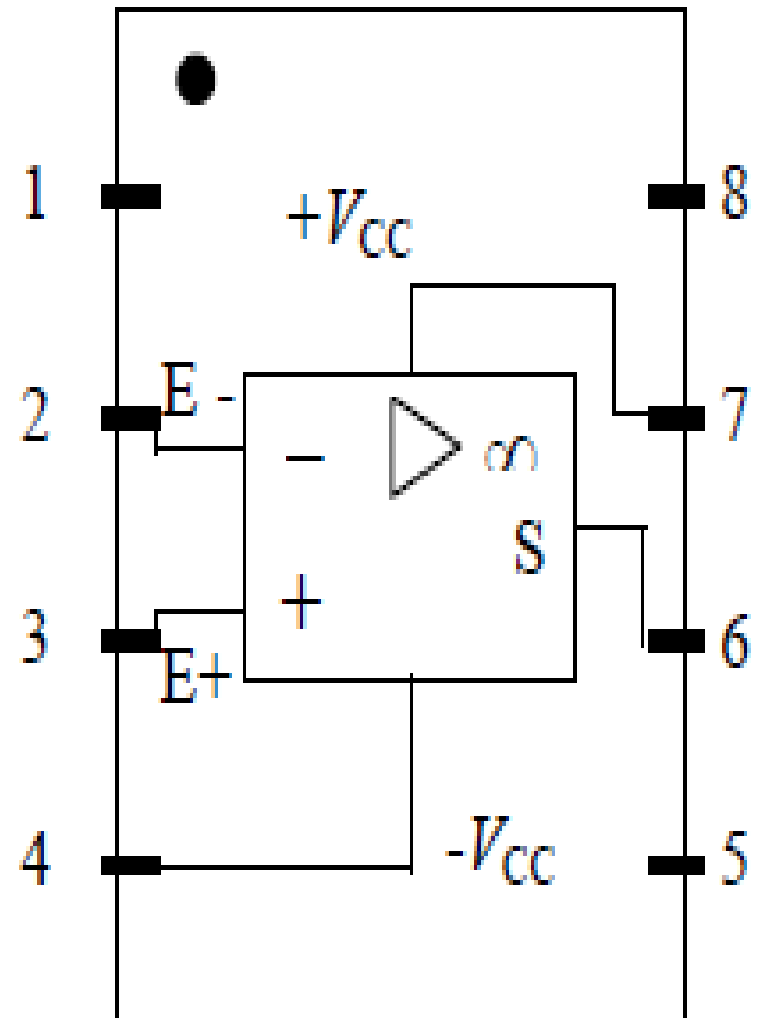
- Les broches 4 et 7 servent à l'alimentation,
- Les broches 2 et 3 sont les entrées
- La broche 6 correspond à la sortie.
- Les broches 1 et 5 sont parfois utilisables pour la correction d'offset

La broche 8 est non utilisée.

La distance entre les broches d'un même côté vaut 1/10

de pouce, celle entre les broches de chaque côté vaut

3/10 de pouces (1 pouce = 25,4 mm).



Principe de fonctionnement *d'un amplificateur opérationnel*

Ce dispositif a 2 entrées. C'est la différence de tension entre les 2 entrées qui est amplifiée . L'amplificateur opérationnel est prévu pour être alimenté par deux tensions de même valeur mais de signes opposés, par exemple +12V et -12V.

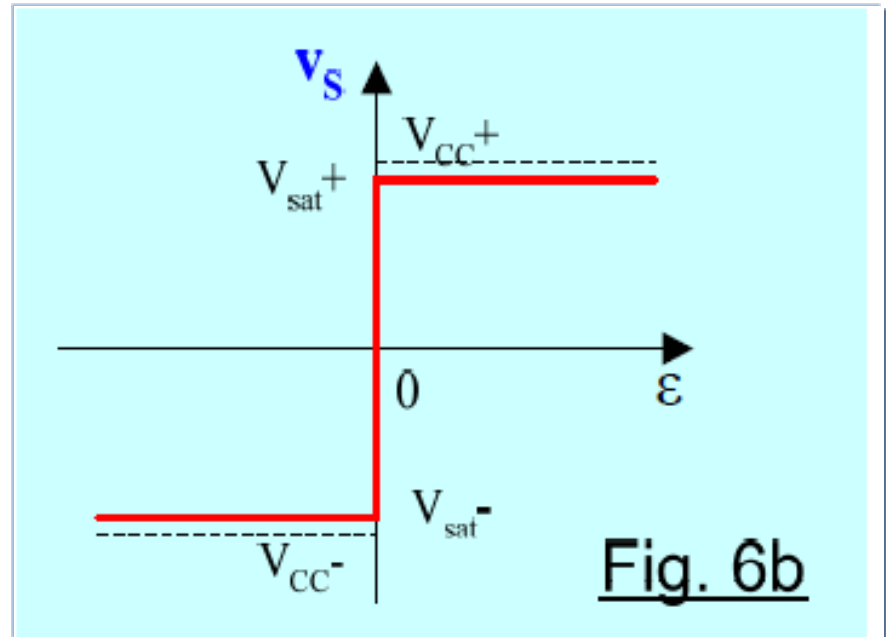
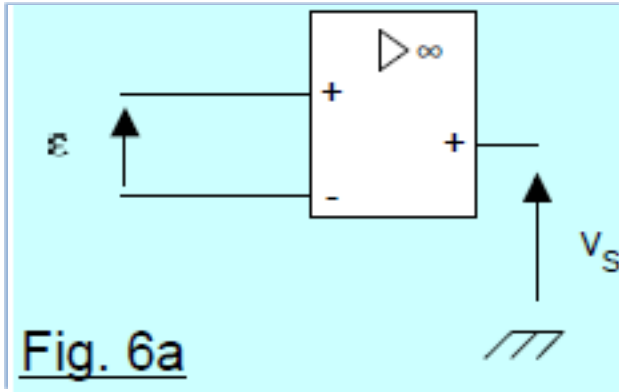
Ceci permet au signal amplifié d'être positif ou négatif par rapport à la masse, dans l'exemple ci-dessus, le signal de sortie pourrait varier entre environ + et - 12V. Il existe des versions à alimentation simple positive (par exemple +12 V en masse).

Le signal de sortie ne peut pas dépasser le niveau des tensions d'alimentation, s'il devait par exemple atteindre +16V, il serait limité à environ 12V en sortie. On dit qu'il y a saturation ou écrêtage du signal de sortie.

Si une entrée est mise à la masse, c'est la tension présente sur l'autre entrée par rapport à la masse qui est amplifiée.

Caractéristique de transfert

La tension de sortie dépend directement de la tension différentielle d'entrée :



On distingue trois zones :

- zone de linéarité : $\varepsilon = 0 \text{ V}$; $-V_{sat} < v_S < +V_{sat}$
- zone de saturation haute : $\varepsilon > 0 \text{ V}$; $v_S = +V_{sat}$
- Zone de saturation basse : $\varepsilon < 0 \text{ V}$; $v_S = -V_{sat}$

Caractéristiques principales

Tension d'alimentation

+Vcc est la tension d'alimentation positive par rapport à la masse.

-Vcc ou -VEE est la tension d'alimentation négative par rapport à la masse. Dans la plupart des cas, la tension d'alimentation à ne pas dépasser est de $\pm 18\text{V}$.

Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée des amplificateurs opérationnels est toujours très élevée (dans les $\text{M}\Omega$) Nous prendrons pour nos exemples l'IC de type **LM358** son impédance d'entrée vaut **125 $\text{M}\Omega$** . (**$10^{12} \Omega$** pour le **LF411**) Cette grande impédance est un avantage car l'amplificateur opérationnel prélève ainsi peu d'énergie sur la source du signal à amplifier.

Caractéristiques principales

Gain en tension

Ce gain est toujours très élevé, par exemple pour le **LM358**, il est de **1 000 000**. (**200 000** pour le **LF411**)

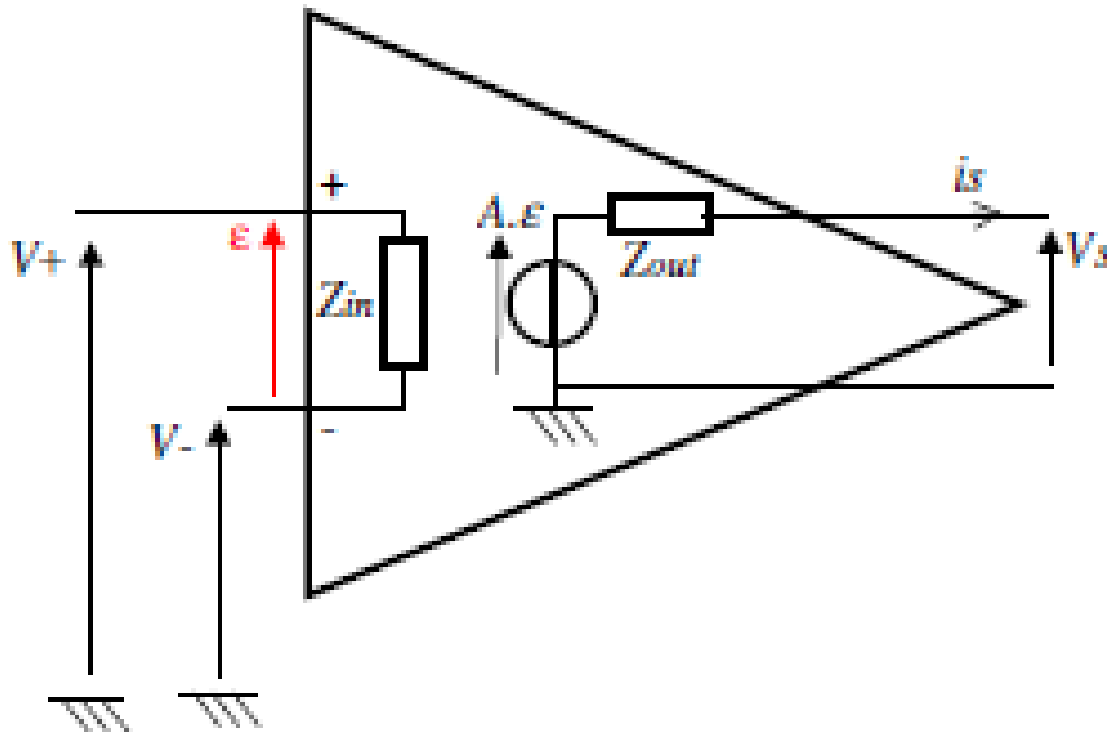
Ce gain s'appelle gain en boucle ouverte, il est la plupart du temps trop important et devra être adapté aux besoins de l'application ; il s'appellera alors gain en boucle fermée

Impédance de sortie

L'impédance de sortie d'un amplificateur opérationnel est toujours faible. Par exemple, pour le **LM358**, elle est de **100 Ω** . (**10 Ω** pour le **LF 411**) Ceci permet d'alimenter des charges de faible impédance.

V_- , la tension entre l'entrée inverseuse et le potentiel de référence

V_+ , la tension entre l'entrée positive et le potentiel de référence
 ϵ , la tension d'entrée différentielle ($V_+ - V_-$)

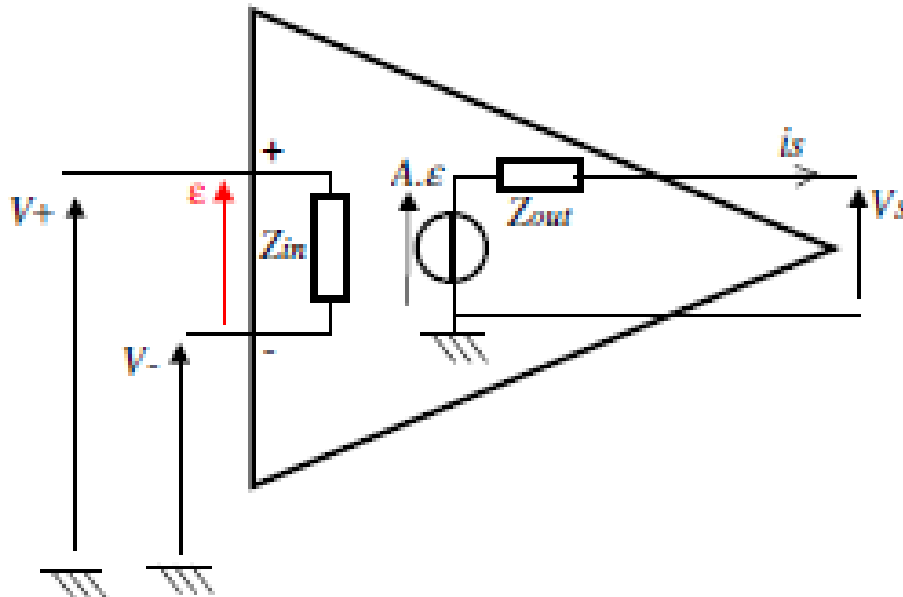


1) Son **amplification aux fréquences basses est considérable** (par exemple de 103 à 109), cela est dû aux nombreux étages amplificateurs qu'il comporte :

$$A = V_s$$

2) Bien sur, quelque soit le gain, la **tension de sortie ne peut jamais dépasser la tension d'alimentation**,

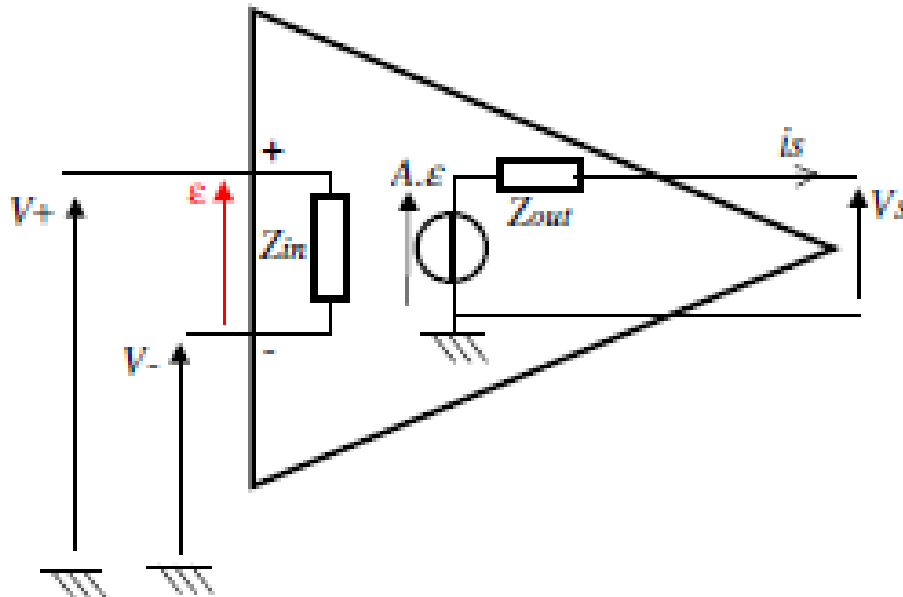
3) Le module de **l'amplification décroît lorsque la fréquence augmente** (par suite des «capacités parasites» des transistors) mais sa bande passante est souvent considérable (par exemple plusieurs dizaines de mégahertz)



4) Son **impédance d'entrée** est très élevée (de 1 M Ω) :

$$Z_{in} = (V_+ - V_-)$$

5) Son **impédance de sortie (Z_{out})** est très faible (au maximum quelques kilohms).



Différents types de montages d'amplificateurs

L'amplificateur non-inverseur

Fonction

Amplifier un signal d'un facteur

$$G = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} \quad (G \text{ tjr} > 1)$$

étude du circuit :

$$V_+ = V_- = V_{in} \hookrightarrow \text{R\`egle 1} \quad (1)$$

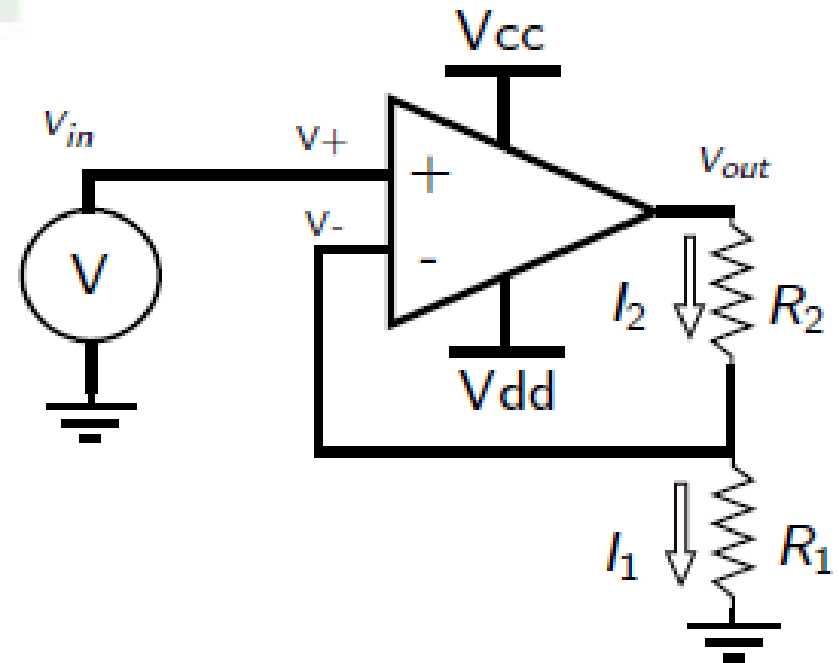
$$I_- = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 \hookrightarrow \text{R\`egle 2} \quad (2)$$

Or :

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \text{ \& } I_2 = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2} \quad (3)$$

$$(2\&3) \Rightarrow V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1} + V_{in} \quad (4)$$

Schéma



Relation entrée/sortie

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_{in} = G \cdot V_{in}$$

Impédance d'entrée :

Maximale (voir datasheet de l'AOP)

Note :

Pour ce montage, le gain est toujours > 1 !

Différents types de montages d'amplificateurs

L'amplificateur inverseur

Fonction

Amplifier un signal d'un facteur

$$G = -\frac{R_2}{R_1}$$

étude du circuit :

$$V_+ = V_- = 0 \hookrightarrow \text{R\`egle 1} \quad (5)$$

$$I_- = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 \hookrightarrow \text{R\`egle 2} \quad (6)$$

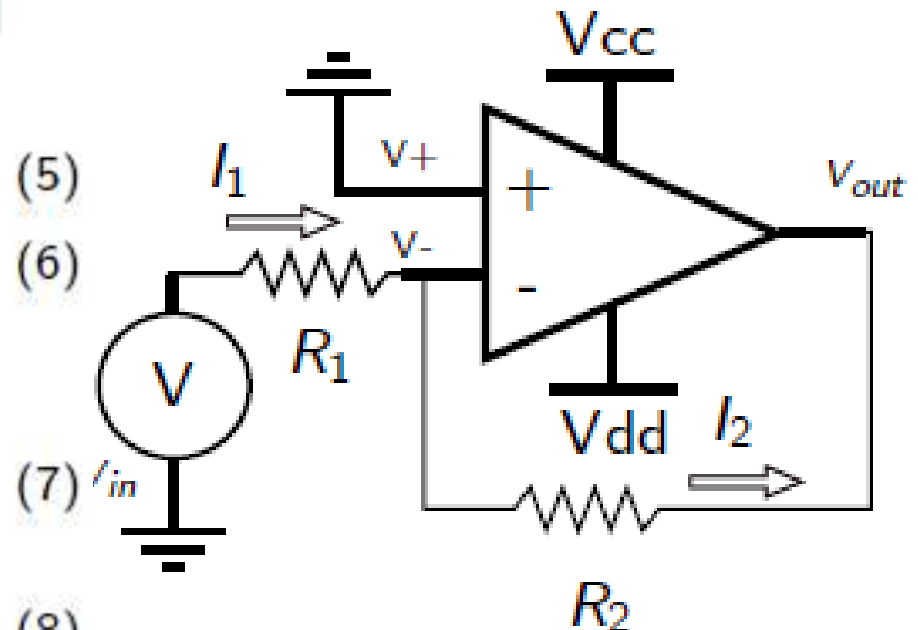
Or :

$$I_1 = \frac{V_{in} - V_1}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_- - V_{out}}{R_2}$$

$$(6 \& 7 \& 8) \Rightarrow V_{out} = -V_{in} \frac{R_2}{R_1} \quad (9)$$

Schéma



L'amplificateur inverseur

Relation entrée/sortie

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{in} = G \cdot V_{in}$$

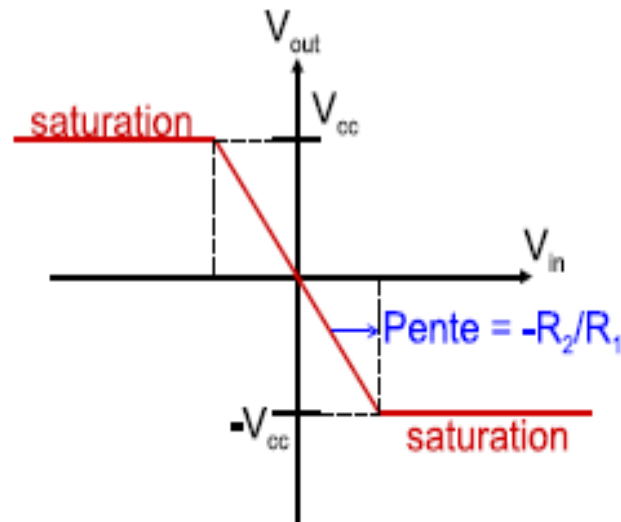
Impédance d'entrée :

R_1 ! Attention aux valeurs de résistance trop petite.

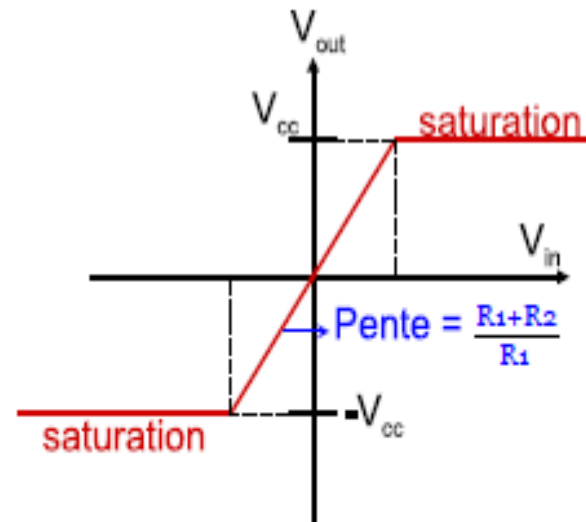
Note :

- ▶ Atténuation si $R_2 < R_1$
- ▶ Si $V_{in} > 0 \Rightarrow V_{out} < 0$

Fonctions de transferts



(a) Montage inverseur



(b) Montage non-inverseur

FIGURE: Fonction de transfert des montages inverseur et non-inverseur

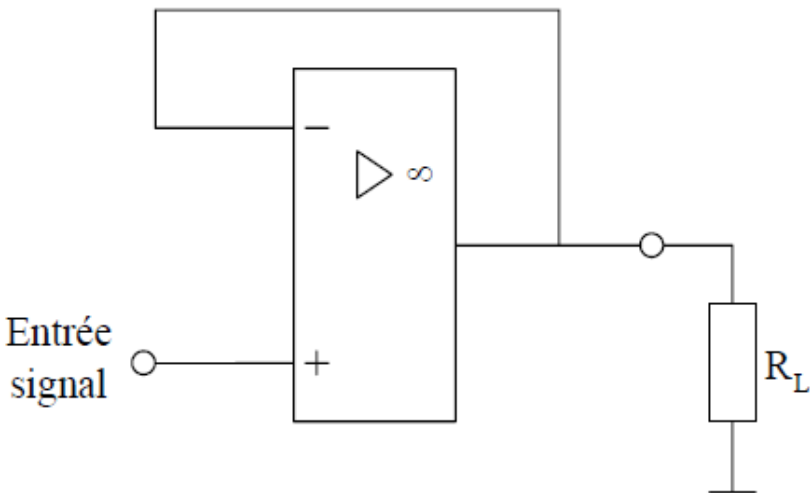
- ▶ Atténuateur ou amplificateur
- ▶ Impédance d'entrée varie avec R_1
- ▶ V_{out} est de signe contraire à V_{in}

- ▶ Amplificateur seulement
- ▶ Grande impédance d'entrée
- ▶ V_{out} est de même signe que V_{in}

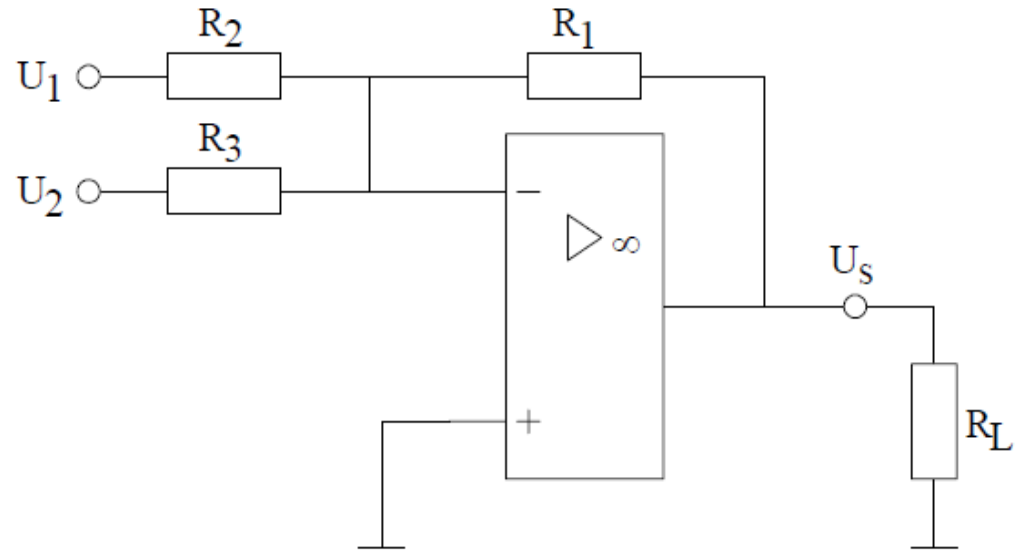
Différents types de montages d'amplificateurs

L'amplificateur suiveur

Schéma



L'additionneur ou sommateur



Utilités d'un amplificateur-opérationnel

- Contrôler l'amplitude d'un signal
- Atténuer ou booster certaines fréquences
- Adaptateur d'impédance (buffer)
- Rectifier double alternance de précision
- Mélangeur de signaux (MIX,...)

Électronique Numérique

Electronique numérique est l'ensemble de définitions mathématiques (plus particulièrement des règles logiques), d'outils de calculs, de concepts permettant d'analyser (comprendre) et de synthétiser (construire) des *systèmes numériques.*

Un monde numerique ?



Un monde numerique ?

Informatique :

Micro-Processeur

Processeur Graphique

Processeur Audio

Internet

Jeux

Bureautique

Calcul Scientifique

...



Un monde numerique ?



Automobile :
Plusieurs MicroProcesseurs
Sécurité Active et Passive
Rendement du Moteur
Confort
MultiMédia

...

Un monde numerique ?



Télécommunications :

MicroContrôleur Basse Consommation

Son

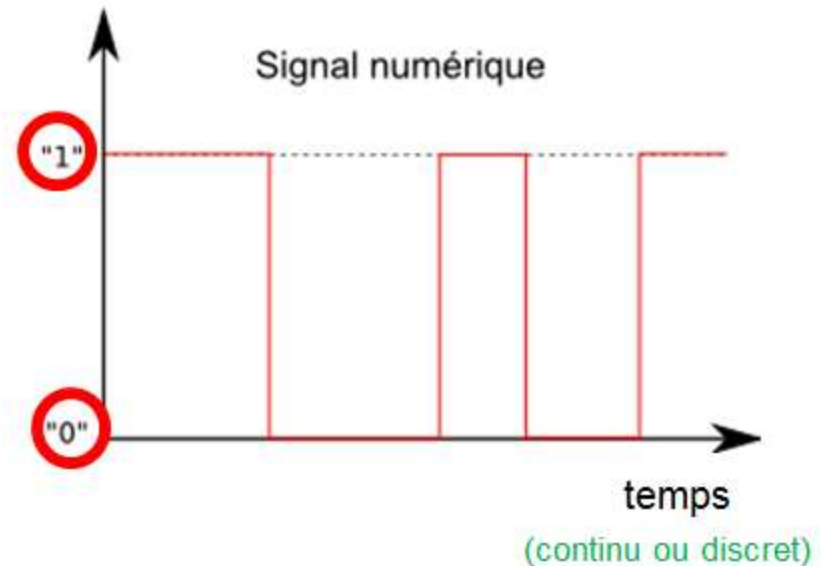
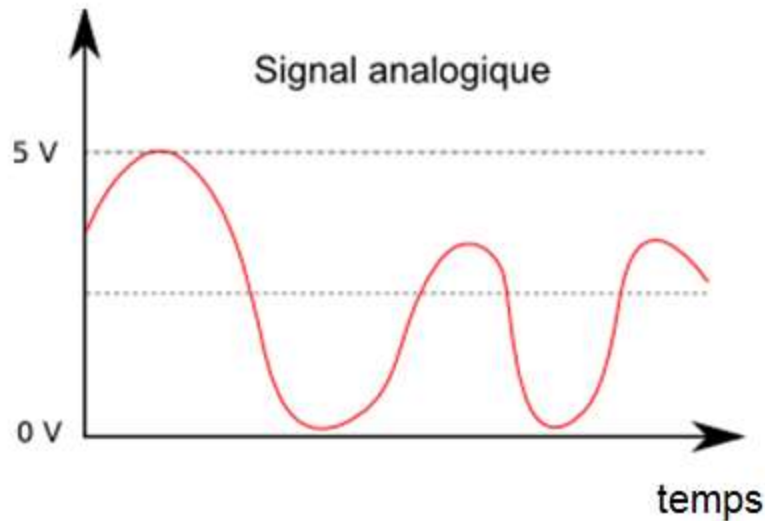
Transmission d'image

Internet

UMTS => Transmission Vidéo

Radio Logicielle

Continu/Numerique



Le monde réel est un monde continu

Le monde numérique est un monde discrétisé

Comparaison Analogique / Numérique :

Avantages des systèmes numériques

Très bonne immunité au bruit

- **Les circuits numériques n'utilisent pas la valeur exacte des tensions des signaux traités**

La conception des circuits est plus simple qu'en analogique

- **Les circuits numériques traitent des données binaires**

Les modèles de simulation sont très fiables

- **Modèles plus simples qu'en analogique**

Bonne reproductibilité des circuits et pas de dégradation des performances des circuits liée au vieillissement

- **Conditions favorables à une fabrication industrielle à grande échelle**

Comparaison Analogique / Numérique :

Avantages des systèmes numériques

Grande capacité d'intégration

- **Plusieurs dizaines de millions de transistors pour les processeurs les plus récents (Intel P4, 0.13 μ : 55MTrans – Intel P4 Prescott, 0.09 μ : 125 Mtrans)**

Possibilité de stocker des grandes quantités d'information

Maîtrise de la précision des traitements

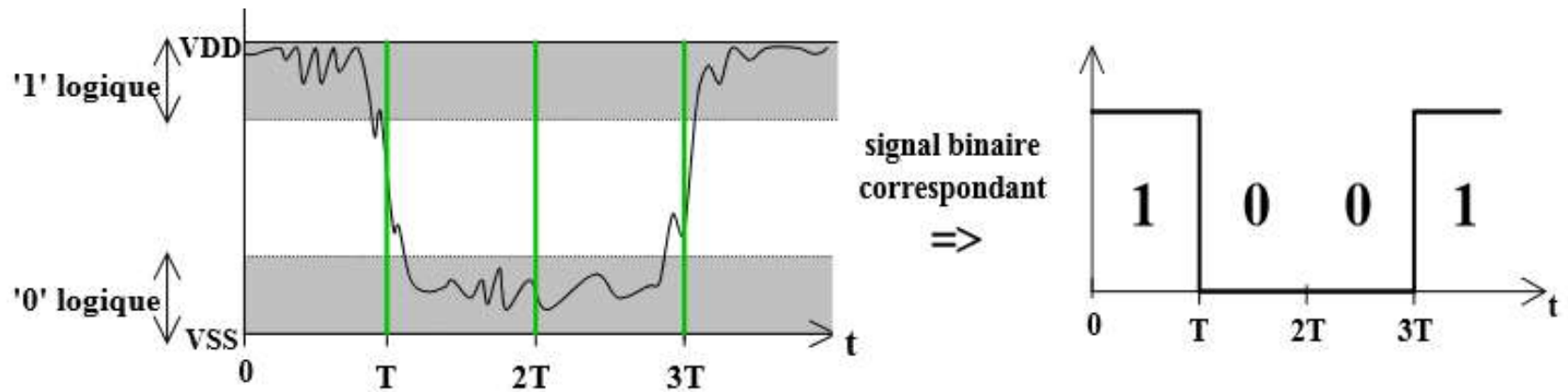
- **Choix du codage de l'information à traiter (nombre de bits)**

Possibilité de transporter des données de natures différentes sur un même réseau et de les traiter avec les mêmes machines

Pourquoi l'electronique numérique ?

- La numérisation d'un signal permet de se prémunir du bruit
- Excellente conservation de l'integrite de l'information
- Possibilité de mise en œuvre d'une arithmétique logique
- Possibilité de construction de machines programmables de traitement de l'information
- Possibilité de détection et de correction d'erreurs
- Nécessite d'une conversion analogique numérique avant le traitement par le circuit numérique (echantillonnage)
- Après le traitement, reconstruction du signal par une conversion numérique/analogique (ltrage passe-bas)

Exemple de signal - Conversion binaire



-En électronique numérique, le codage des informations utilise deux niveaux de tension :

le potentiel de référence du circuit $VSS = 0V$

un potentiel positif VDD

-On associe une valeur binaire à chaque niveau de tension :

$VSS \longrightarrow 0$

$VDD \longrightarrow 1$

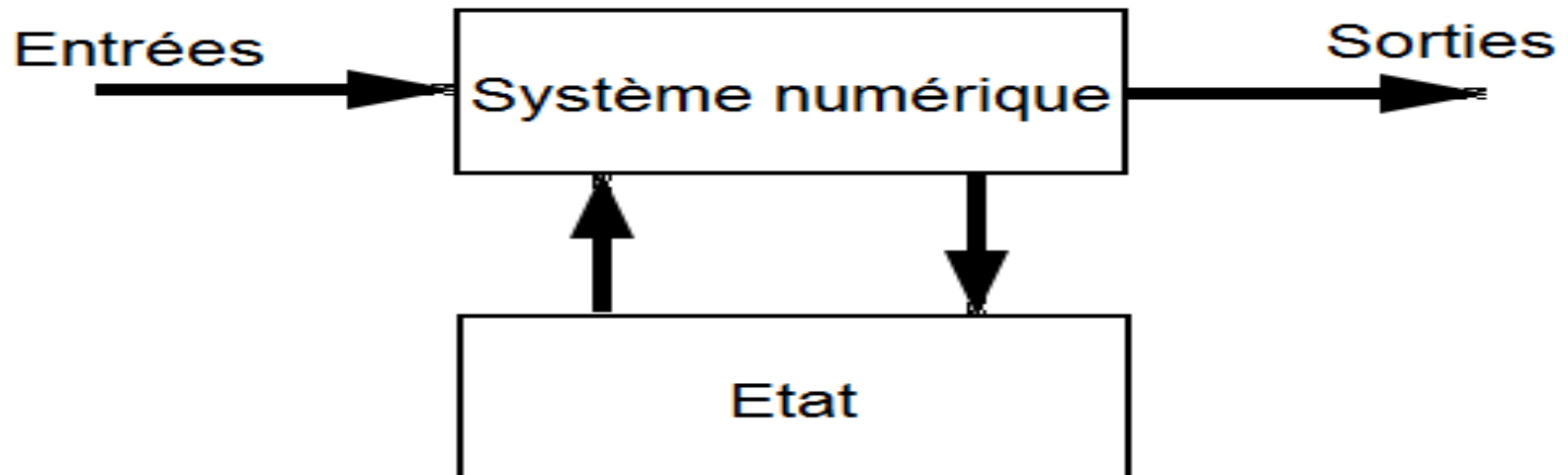
-Pour se prémunir du bruit, aux deux niveaux logiques correspondent deux plages de tension disjointes

-Le signal est interprété comme une suite de symboles logiques

Systèmes numériques

Un système numérique transforme

- une séquence de données = entrées numériques
- étant donne des informations numériques internes = état
- en une séquence de données numériques = sorties



Systèmes numériques

Le système numérique est un ensemble de dispositifs ne comportant que quelques états stables. Par exemple, Microprocesseur, Calculatrice, Montre numérique,.....

Les dispositifs composant les systèmes numériques peuvent fonctionner selon soit une logique combinatoire soit sous une logique séquentielle.

En **logique combinatoire**, la ou les sorties du système ne dépendent que de la **combinaison** des entrées, Figure 1.1. La même cause (même combinaison de valeurs des entrées) produit toujours le même effet (même valeurs des sorties), et l'effet disparaît lorsque la cause disparaît.

En **Logique séquentiel**, la ou les sorties du système dépendent de la **combinaison des entrées**

et de l'état précédent des sorties, Figure 1.2. Une même cause (même combinaison de valeurs des entrées) peut produire des effets différents à la sortie. Dans cette logique, le temps peut être une cause déclenchante, et l'effet peut persister si la cause disparaît.

Systèmes numériques

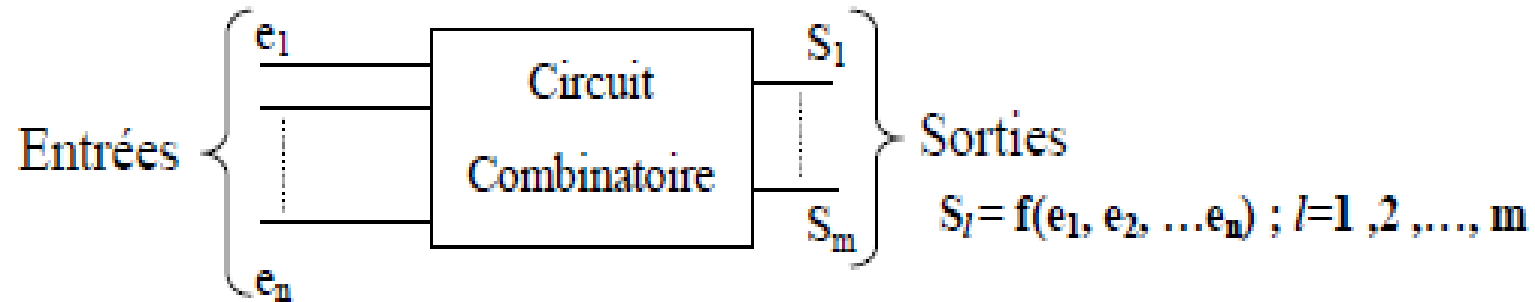


Figure 1.1. La configuration d'un circuit combinatoire

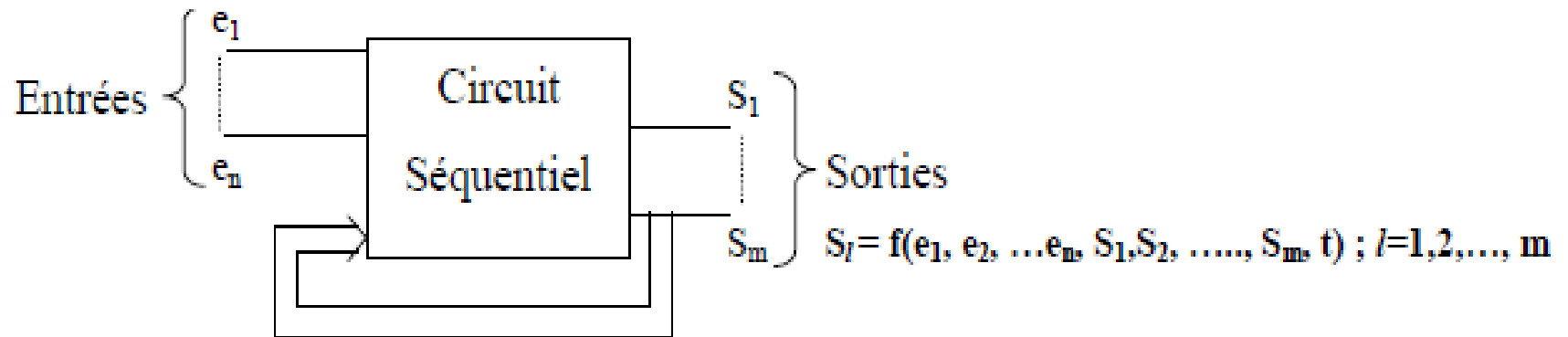


Figure 1.2 La configuration d'un circuit séquentiel.

Types de systèmes numériques

1-Systèmes combinatoires = circuits combinatoires

pas d'état interne

$\text{sortie} = f(\text{entree})$

pas de \memoire"

2-Systèmes séquentiels = circuits séquentiels

-l'état du système est mis à jour

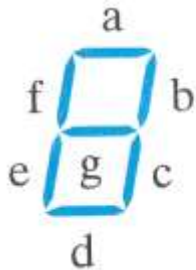
a des instants précis, connus (horloge ou clock) : Systèmes synchrones
a des instants non précises : systèmes asynchrones

- $\text{sortie}(t) = f(\text{entree}(t), \text{etat}(t))$

- $\text{etat}(t+1) = g(\text{etat}(t), \text{entree}(t))$

Exemples

Système combinatoire : Afficheur LED 7-segments d'un chiffre compris entre 0 et 9



Entrée : le chiffre à afficher, code sous forme binaire, par exemple, représentation binaire non signée

Il faut donc 4 bits = 4 variables logiques d'entrée, A, B, C, D

Sortie : l'état allumé/éteint, 0/1 de chacun des 7 segments

7 bits de sortie = 7 variables logiques de sortie, a, b, c, d, e, f, g

Afficher le chiffre 4 :

ABCD = 0100

abcdefg = 0110011

Système séquentiel : Contrôleur d'un distributeur de boisson

Entrée : -valeur de la pièce introduite.

Des capteurs (poids, taille) permettent d'identifier la pièce de monnaie introduite, l'information analogique (continue) est convertie en information numérique (conversion analogique/numérique, quantification) et codée sous forme de variables binaires
-choix de la boisson

Etat : somme déjà introduite

Sortie : ordre de délivrer la boisson



logique combinatoire(l'électronique combinatoire)

La logique combinatoire utilise les lois de l'algèbre de Boole développée au XIXème siècle par Georges Boole; philosophe et mathématicien Anglais (1815 - 1864). L'algèbre de Boole permet d'établir des règles pour l'étude des circuits logiques ou des circuits d'automatisme.

Définitions de base

Etats logiques

La logique positive

La logique négative

Variable logique

Opérations logiques de base

La porte logique

Etats logiques

Etats logiques

Les états logiques sont 1 et 0 qui correspondent à Vrai et Faux (c'est pourquoi on l'appelle

l'algèbre binaire). Il y a deux conventions pour associer ces deux états logiques aux signaux

électriques manipulés dans les systèmes numériques: **la logique positive et la logique négative, Figure 1.3.**

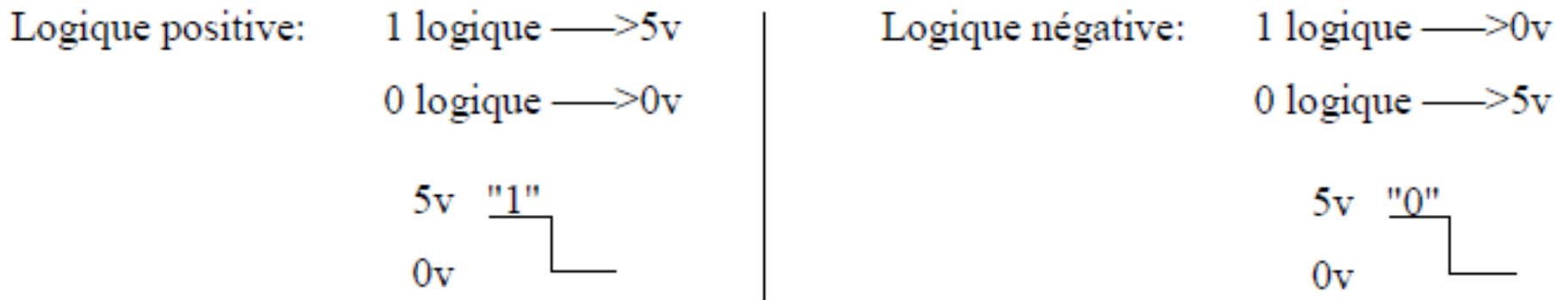


Figure 1.3. La logique positive contre la logique négative

La logique positive

La logique positive est celle dans laquelle le "1 logique" correspond au potentiel Haut (tension d'alimentation, eg. 5v); et le "0 logique" correspond au potentiel Bas (la masse 0v).

La logique négative

La logique négative est l'inverse de la logique positive.

Variable logique

La variable logique est une variable pouvant prendre comme valeur des états logiques. Elle est notée par des identificateurs (A,b,c, Out ...). Elle correspond à une proposition, situation ou évènement pouvant être vrai ou fausse. Des exemples sont donnés dans le Tableau suivant.

Etat VRAIS	Etat FAUX
Le moteur tourne : $M=1$	Le moteur ne tourne pas : $M=0$
L'interrupteur est enclenché : $i=1$	L'interrupteur n'est pas enclenché : $i=0$
La température est supérieure à 20 °C : $t_{20}=1$	La température n'est pas supérieure à 20 °C : $t_{20}=0$
Il y a quelqu'un devant la porte : $a=1$	Il n'y a personne devant la porte : $a=0$
La porte est fermée : $P=1$	La porte n'est pas fermée : $P=0$

Opérations logiques de base

Comme opérations de base il y a deux lois de composition interne :

-Somme logique (**OU, OR, Réunion**) $s = a + b = a \vee b$

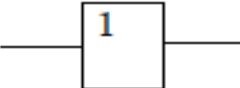
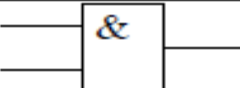
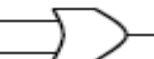
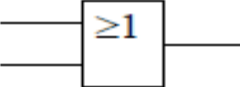
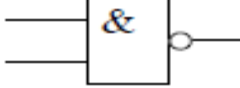
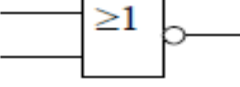
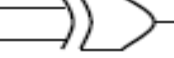
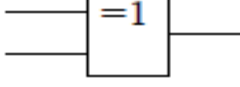
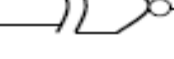
-Produit logique (**ET, AND, intersection**) $s = a . b = ab = a \wedge b$

Et une application unaire :

Not (complémentation, inversion) $s = a = \text{not}(a)$

La porte logique

Les circuits électroniques qui réalisent les opérations logiques élémentaires sont appelés des portes logiques. Elles constituent les blocs élémentaires des circuits numériques.

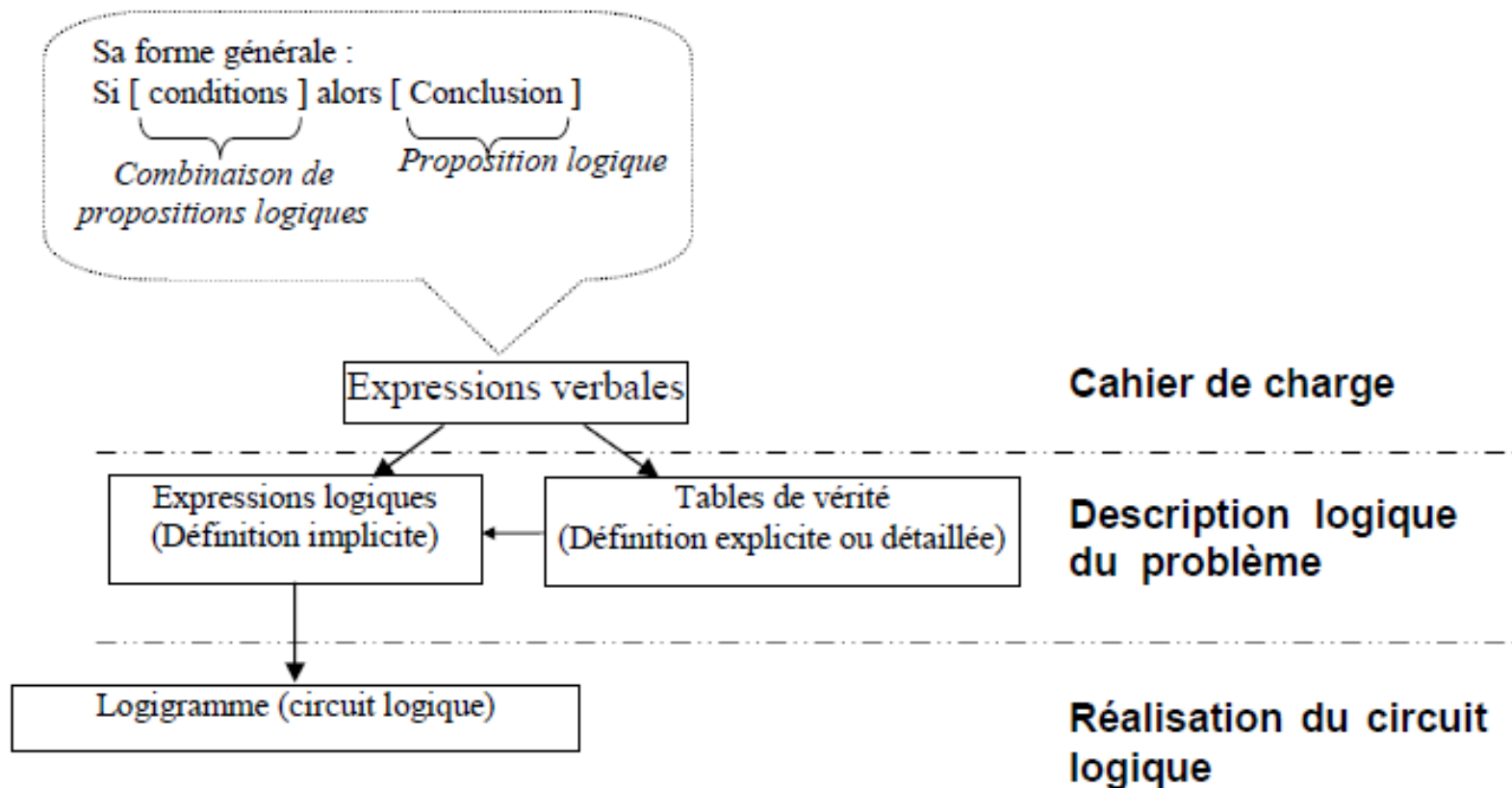
La fonction logique élémentaire	La table de vérité			Description	Symbole	
	Entrée		Sortie		Norme NFC 03 108	Norme MIL STD 083
	A	B	S			
Inversion	0 1		1 0	L'état de la sortie est l'inverse de l'état de l'entrée		
AND (ET)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 0 1	La sortie est à 1 si les deux entrées sont à 1		
OR (OU)	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1	La sortie est à 1 si au moins une entrée est à 1		
NAND (NON-ET)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 1 1 0	La sortie est à 1 si au moins une entrée est à 0		
NOR (NON-OU)	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 0	La sortie est à 1 si les deux entrées sont à 0		
XOR	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 0	La sortie est à 1 si les deux entrées sont opposées		
XNOR	0 0 1 1	0 1 0 1	1 0 0 1	La sortie est à 1 si les deux entrées sont identiques		

Fonctions logiques
de base

Dérivées des Fonctions Logiques
de base

Synthèse et analyse des Systèmes Combinatoires

La réalisation d'un système combinatoire nécessite un cahier de charge qui n'est rien d'autre qu'un ensemble d'expressions verbales décrivant le fonctionnement de ce système. Pour pouvoir concevoir un circuit numérique on a besoin d'analyser son fonctionnement et tirer une définition logique de sa/ses sorties.



Description logique du problème

La procédure d'obtention de la définition logique (La fonction logique) de la sortie du circuit numérique à concevoir à partir d'expressions verbales est décrite comme suit :

- I. Extraire les expressions verbales qui décrivent le fonctionnement du circuit ;
- II. déterminer les variables logiques (entrées du circuit à concevoir) et les fonctions logiques (sorties du circuit à concevoir) en lisant attentivement ces expressions.
- III. Transformer les expressions en forme *Si (conditions) Alors (conclusion)*.
Les conditions et la conclusion doit contenir les états des variables et des fonctions qu'on a déterminé dans l'étape précédente reliés par des opérateurs logiques.
- IV. Traduire l'expression verbale à son équivalent logique.

Exemple : l'exemple d'une porte automatisée de magasin

Etape I :

*si [(quelqu'un est devant la porte **ou** quelqu'un est derrière la porte) et la porte **n'est pas ouverte**] alors ouvrir la porte*

Etape II : Proposition de variables logiques

quelqu'un est devant la porte : a

quelqu'un est derrière le porte : b

la porte est ouverte : c

ouvrir la porte : P

Etape III :

Expression verbale ———> Expression logique:

De l'implication (*étape 1*) on peut écrire :

Si [(a ou b) et c] Alors P donc $P=(a+b).c$

(Si x alors y se traduit par $y=x$)

Expression verbale ———> Table de vérité:

De l'implication (*étape 1*) on peut écrire autrement :

Si [(a est vrai ou b est vrai) et c fausse] alors P est vrai

En utilisant les états logiques (1 et 0) on obtient :

Si [(a=1 ou b=1) et c=0] alors P=1

Et la table de vérité se remplit facilement et directement comme suit

On prend l'exemple précédant où l'expression de la fonction logique obtenu est : $P = (a + b).c$

Cette fonction ne peut pas être simplifiée de plus donc on peut passer directement au dessin du logigramme, Figure 2.2, bien sure en prenant en compte les portes logiques disponibles.

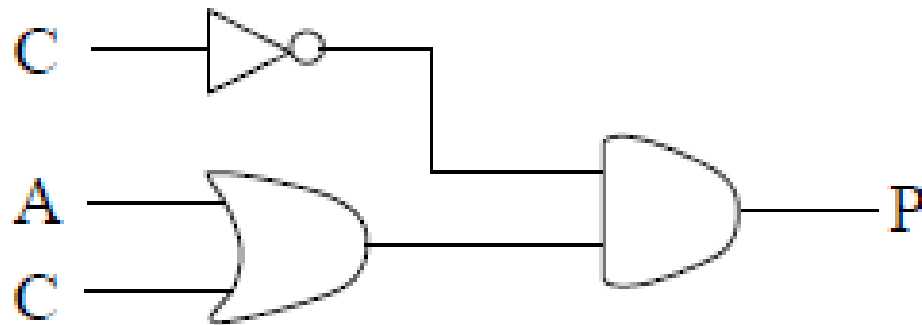


Figure 2.2 Le logigramme de la fonction P

Analyse des systèmes combinatoires

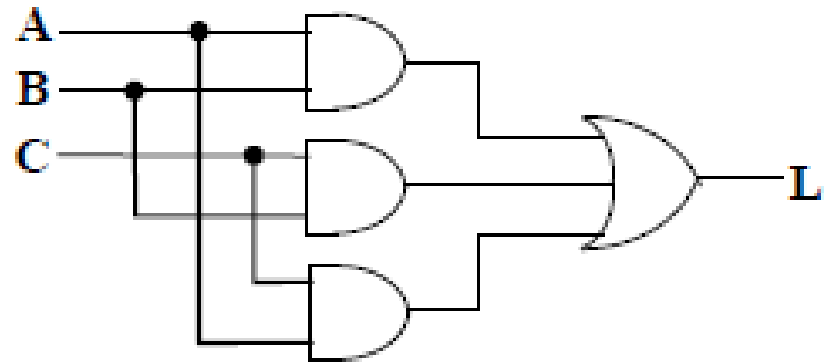
L'analyse d'un circuit combinatoire consiste à étudier le logigramme dans le but d'en déterminer son rôle.

De manière générale, la démarche à suivre pour effectuer l'analyse d'un circuit combinatoire est la suivante:

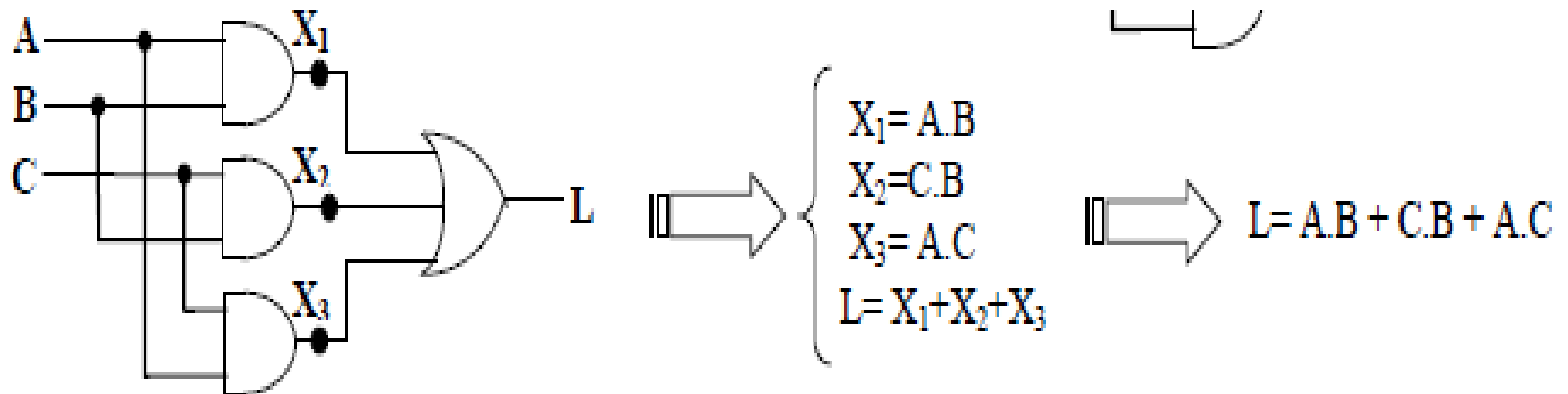
- 1)** Déterminer les expressions logiques des sorties. Pour cela, on associe à chaque sortie d'une porte une variable et on détermine l'expression correspondante en commençant par les portes directement connectées aux variables d'entrées. A la fin de cette étape, on doit avoir les expressions des variables de sortie en fonction des variables d'entrée uniquement.
- 2)** Dresser la table de vérité du circuit et la traduire par un énoncé décrivant le rôle du circuit.

Exemple :

Analysez le circuit logique ci contre :



Solution :



D'où la table de vérité suivante :

A	B	C	L
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

