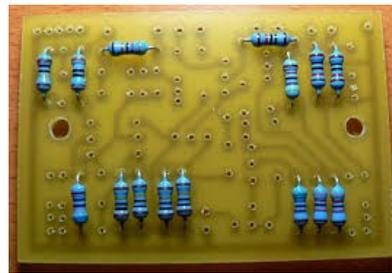


# ***Technologie des Composants Electroniques***



# ***Contenu de la matière***

- ***Première partie : Technologie des composants passifs***
- **Chapitre 1 : Les résistances**
- **Chapitre 2 : Les condensateurs**
- **Chapitre 3 : Les selfs**
- ***Deuxième partie : Technologie des composants actifs***
- **Chapitre 4 : Les Diodes**
- **Chapitre 5 : Les transistors bipolaires**
- **Chapitre 6 : Les circuits intégrés logiques**
- **Chapitre 7 : Les circuits analogiques**

# ***Références...***

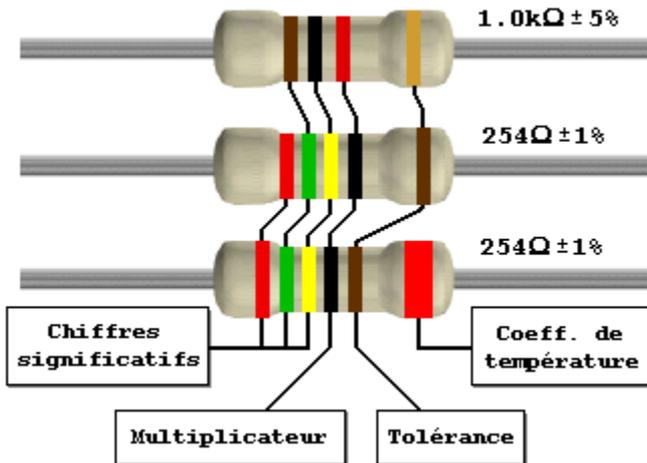
- 1- R. Besson, Electronique a transistors et a circuits integres, Technique et Vulgarisation, 1979.
- 2- R. Besson, Technologie des composants electroniques, Editions Radio
- 3- M. Archambault, Formation pratique a l'electronique, Editions Techniques et -  
Scientifiques Francaises, 2007
- 4- B. Woollard, Apprivoiser les composants, Dunod, 1997
- 5- P. Maye, Aide-memoire des composants electroniques, Dunod, 2010
- 6- P. Mayeux, Apprendre l'electronique par l'experimentation et la simulation, ETSF,  
2006
- 7- R. Mallard, L'electronique pour les debutants, Elektor, 2012

# Première partie

## Technologie des composants passifs

### Chapitre 1: Les résistances

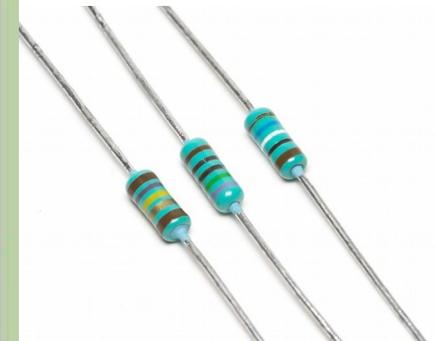
- Très visibles grâce à leurs anneaux de différentes couleurs, les résistances sont des composants que l'on remarque tout de suite sur pratiquement toutes les cartes électroniques. Malgré leur comportement extrêmement simple, les résistances restent les éléments les plus répandus de l'électronique.



$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Exemple:

$$\frac{1}{\frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{30\Omega}} = 8.57\Omega$$



• **1.1 Principe et propriétés:**

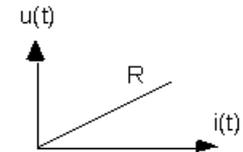
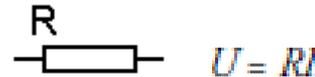
**Loi d'Ohm:** Une résistance est un dipôle (composant à deux bornes) tel que la Tension  $U$  à ses bornes est proportionnelle au courant  $I$  qui le traverse (loi d'Ohm)

ou  $u(t) = R \cdot i(t)$

$u(t)$  : tension aux bornes de la résistance(V)

$R$  : résistance (valeur) ( $\Omega$ )

$i(t)$  : courant traversant la résistance(A)



Caractéristique de transfert résistance linéaire et autonome.

Le coefficient de proportionnalité  $R$  est appelé résistance du dipôle.

Ce coefficient  $R$  chiffre la plus ou moins grande difficulté que rencontre le courant électrique pour traverser le dipôle. L'unité de résistance est l'ohm (symbole  $\Omega$ ), du nom du physicien allemand G. S. Ohm qui a étudié les lois des circuits électriques

Pour les composants électroniques, on utilise surtout le kilo-ohm et le mégohm. Le milli ohm apparaît seulement pour chiffrer des résistances parasites comme les résistances de contact

**Tableau 1.1 – Multiples et sous-multiples de l'ohm.**

Nom	Symbole	Valeur en $\Omega$
Milliohm	m $\Omega$	0,001
Kilo-ohm	k $\Omega$	1 000
Mégohm	M $\Omega$	1 000 000

## La Résistivité:

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de sa nature. Par exemple, la résistance d'un fil (*figure 1.1*) est proportionnelle à sa longueur  $l$  et inversement proportionnelle à sa section  $s$

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

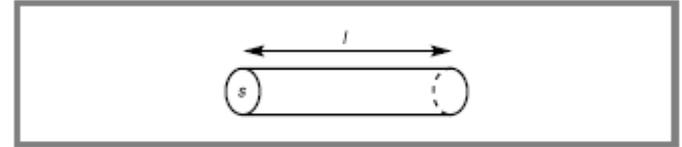


Figure 1.1 - Résistance d'un fil conducteur.

Le coefficient  $\rho$  est caractéristique d'un matériau donné et se nomme résistivité. L'unité de résistivité est l'ohm-mètre (symbole  $\Omega \cdot m$ ) puisque  $l$  s'exprime en mètres et  $s$  en mètres carrés.

Matériau	Symbole chimique	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )
Aluminium	Al	$2,78 \cdot 10^{-8}$
Argent	Ag	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Cuivre	Cu	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Etain	Sn	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Laiton	60% Cu, 40% Zn	$5 \cdot 10^{-8}$
Nickel	Ni	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Tungstène	W	$5,9 \cdot 10^{-8}$
Zinc	Zn	$6,1 \cdot 10^{-8}$

## **Effet Joule:**

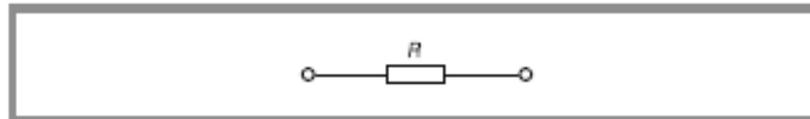
Un phénomène important dans une résistance est l'effet Joule (du nom d'un physicien anglais qui a étudié les lois de la chaleur). Une résistance parcourue par un courant consomme une énergie électrique et la transforme en chaleur. La puissance correspondante (qui correspond à un débit d'énergie) s'exprime par l'une des trois formules, équivalentes grâce à la loi d'Ohm :

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

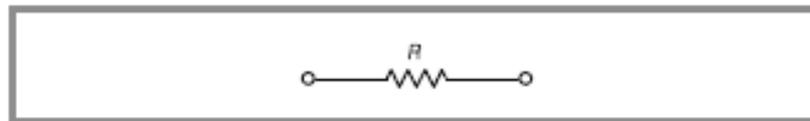
L'unité de puissance est le watt (symbole W). On emploie assez souvent en électronique son sous-multiple, le milliwatt (mW) qui vaut 0,001 W. La puissance dissipée par effet Joule dans un composant est un problème important en électronique. Tout d'abord, il s'agit d'une puissance perdue pour le circuit électrique et qui doit donc lui être fournie (en général par une source de tension continue), et ensuite, il se pose souvent un problème d'évacuation de la chaleur créée car les petites dimensions des montages rendent difficiles les échanges thermiques. Ces questions se posent essentiellement pour les montages qui traitent des courants assez élevés comme les amplificateurs de puissance ou les alimentations.

### **Symboles**

Sur les schémas, les résistances sont représentées par leur symbole normalisé (*figure 1.2*) ou souvent par un autre symbole (*figure 1.3*)



**Figure 1.2 - Symbole normalisé d'une résistance.**

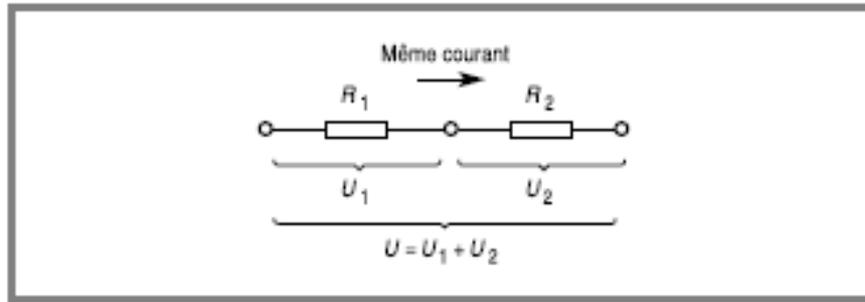


**Figure 1.3 - Symbole courant d'une résistance.**

## 1-2- Associations de résistances

### Association en série

On peut brancher deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en série



$$R = R_1 + R_2$$

Figure 1.4 - Association de deux résistances en série.

Le courant est le même dans les deux éléments, mais les tensions à leurs bornes s'ajoutent; Une double application de la loi d'Ohm montre que le dipôle résultant se comporte comme une résistance dont la valeur est :

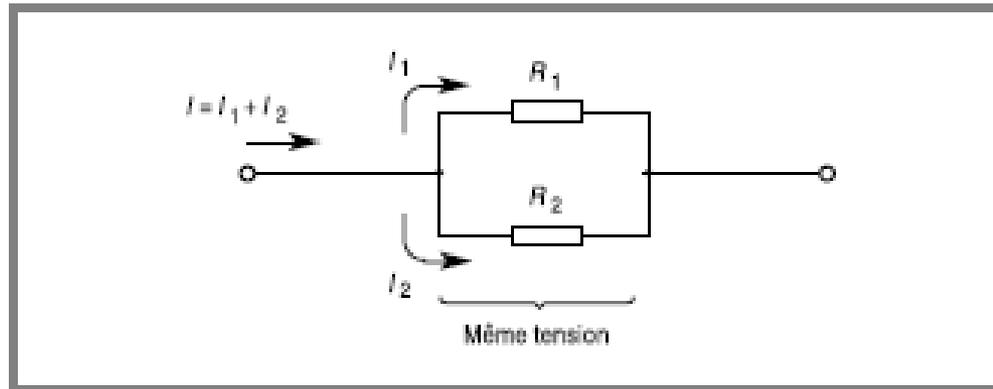
$$R = R_1 + R_2$$

Cette loi peut se généraliser à plusieurs conducteurs en série :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

## 2. Association en parallèle:

Le deuxième mode d'association de résistances est le branchement en parallèle



La tension est la même pour les deux éléments, mais les courants qui les traversent s'ajoutent. On a ici, grâce à la loi d'Ohm:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Pour plusieurs résistances, on a de même :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Dans le cas de deux résistances, on peut facilement obtenir  $R$  par la formule :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

## 2/Variétés technologiques:

### **2-1 Résistance à carbone aggloméré**



#### **Aspect:**

Elles se reconnaissent par leur forme cylindrique de couleur brune.

#### **Principe de fabrication:**

Le carbone finement broyé est compressé à chaud au centre d'un cylindre isolant. Le carbone noir se voit à l'intérieur de la résistance.

#### **Avantages:**

Elles supportent de brèves surintensités et sont robustes mécaniquement. Grande plage de valeur disponible et bon marché.

#### **Inconvénients:**

Ce sont les résistances produisant le plus de souffle, ou tension de bruit. Peu précises et peu stables.

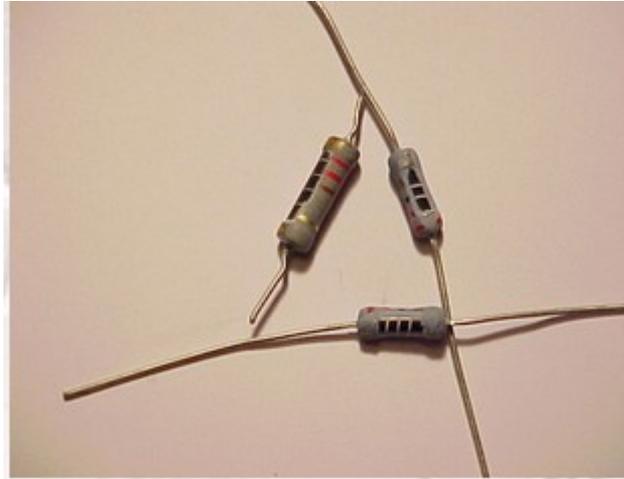
#### **Utilisations préférentielles:**

Résistance d'alimentation supportant des composants produisant des surtensions.

#### **Utilisation déconseillées:**

Dans les circuits petits signaux. Fréquences supérieures à 1MHz.

## 2-2 Les résistances à couche d'oxyde métallique



- **Aspect:**

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords. Leur laque est souvent gris mat.

- **Principe de fabrication:**

Une fine couche d'oxyde métallique est déposée à la surface d'un support isolant. Les stries visibles, en grattant la laque, permettent l'ajustement de la valeur ohmique. L'oxyde métallique apparaît alors noir et brillant.

- **Avantages:**

Meilleure stabilité et précision que les couches métalliques.

- **Inconvénients:**

Plus chères que les couches métalliques. Toutes les valeurs ne sont pas disponibles.

## *2-3 Les résistances à couche de film métallique*

### *Aspect:*

Elles se reconnaissent par leur forme plus épaisse sur les bords. Nous pouvons les rencontrer avec des laques de toutes sortes de couleurs: Vertes clairs, 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:*

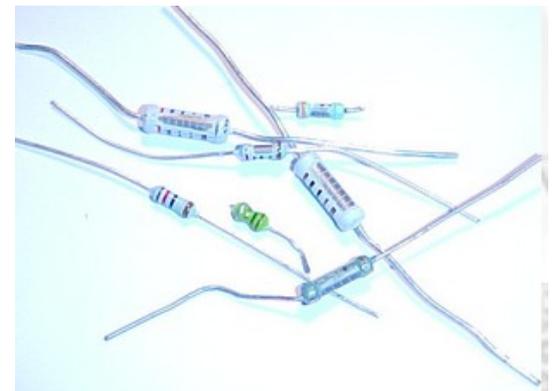
Elles produisent beaucoup moins de souffle que les résistances au carbone. Facile à obtenir avec de faibles valeurs ohmique, et avec de très petites tailles, cela en fait les résistances actuellement les plus répandues dans les circuits à composant discrets non montés en surface. Bonne stabilité en température et en temps.

### *Inconvénients:*

Ne supportent pas de brèves surintensités. Relativement fragiles.

### *Utilisations préférentielles:*

Comme résistances de polarisations (alimentation DC) et comme résistances fusibles.



## *2-4 Les résistances bobinées de précision*

### ***Aspect:***

Divers mais la valeur est souvent inscrite, particulièrement la tolérance en %.

### ***Principe de fabrication:***

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

### ***Avantages:***

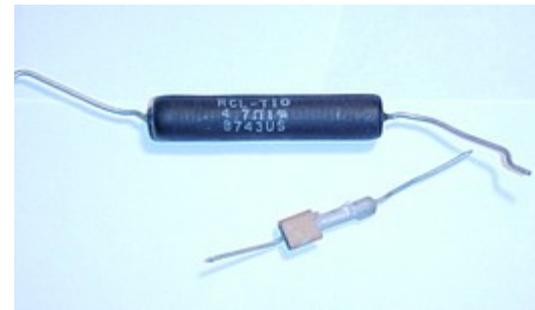
Faibles dépendances à la température avec l'usage d'alliages métalliques. Bon vieillissement

### ***Inconvénients:***

Principalement leur inductivité qui en interdit l'usage en hautes fréquences.

### ***Utilisations préférentielles:***

Jusqu'à 10 watts environ



## 2-5 Les résistances bobinées de puissance

### *Aspect:*

Divers mais reconnaissables soit à l'inscription, soit au fil enroulé souvent visible.

### *Principe de fabrication:*

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

### *Avantages:*

Hautes précisions obtenues

Bon vieillissement

Inconvénients:

Principalement leur inductivité propre qui en interdit l'usage en hautes fréquences.

### *Utilisations préférentielles:*

Jusqu'à 10 watts environ



## 2-6 Les résistances bobinées de puissance : Résistances de charge

### **Aspect:**

elles se reconnaissent au système de fixation mécanique. La valeur de R et P est généralement inscrite en toute lettre.

### **Principe de fabrication:**

c'est le même principe de fabrication de la résistance précédente). La forme du boîtier permet une fixation à un radiateur pour augmenter la dissipation de chaleur.

### **Utilisations préférentielles:**

De 5 à 20 watts environ



	<b>bobinés de puissance</b>	<b>bobinés de précision</b>	<b>à film métallique</b>	<b>enduits résistifs</b>	<b>à couche de carbone</b>	<b>à couche d'oxydes</b>
<b>Résistance (<math>\Omega</math>)</b>	0.01 à $10^5$	0.1 à $10^5$	1 à $10^5$		1 à $10^8$	1 à $10^7$
<b>Puissance max. (W)</b>	1000	8	2	0.5	6	4
<b>Température max. (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	Suivant enrobage	105	155	125	125	200
<b>Coefficient de température (<math>10^{-6} / ^{\circ}\text{C}</math>)</b>	120	15	20 à 200		- 500	$\pm 300$
<b>Tension max. (kV)</b>	20	2	5		1	0.75
<b>Coefficient de tension (<math>10^{-6} / \text{V}</math>)</b>						- 10
<b>Gamme de fréquence (MHz)</b>	Basses fréquences	30	100		100	100
<b>Niveau de bruit (<math>\mu\text{V}/\text{V}</math>)</b>	Négligeable	négligeable	0.02		0.04	négligeable
<b>Stabilité en vieillissement</b>	bonne	bonne	très bonne	excellente	bonne	excellente

### 3-Caractéristiques technologiques (résistances fixes)

#### A- Précision:

Le nombre indiqué sur le composant est la valeur nominale de la résistance. Du fait des tolérances de fabrication, la résistance réelle est un peu différente. Les constructeurs donnent une fourchette dans laquelle peut se trouver cette valeur. L'intervalle est défini par un pourcentage de la résistance nominale qui indique l'écart maximal, en plus ou en moins, qu'il peut y avoir entre la valeur réelle et la valeur nominale. Par exemple, un composant marqué  $10\text{ k}\Omega$ ,  $5\%$  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 possible de  $0,5\text{ k}\Omega$ .

Du fait de la tolérance qui existe sur les valeurs de résistances, il est inutile de disposer d'un trop grand nombre de composants différents.

En effet, avec l'exemple précédent, on voit que la valeur nominale  $10,5\text{ k}\Omega$  ne servirait à rien puisqu'une résistance réelle de ce type pourrait être identique à un élément marqué  $10\text{ k}\Omega$ .

Ainsi, on ne fabrique que des résistances de certaines valeurs, appartenant à des séries normalisées conçues de telle façon qu'il y ait tout juste recouvrement des intervalles possibles pour les valeurs réelles correspondant à des valeurs nominales consécutives

chaque tolérance correspond une série normalisée. Le *tableau 1.2* donne les différentes progressions utilisées. Les séries sont désignées par E6, E12... On indique ainsi le nombre de valeurs dans une décade (par exemple entre 10 et 100, 100 non compris). Le tableau fournit les valeurs comprises entre 10 et 100, mais il suffit d'ajouter ou de retrancher des zéros pour obtenir toutes les résistances possibles.

**Tableau 1.2 – Valeurs normalisées.**

Progressions	Tolérances	Séries normalisées
E3		10 22 47
E6	± 20 %	10 15 22 33 47 68
E12	± 10 %	10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82
E24	± 5 %	10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
E48	± 2 %	100 105 110 115 121 127 133 140 147 154 162 169 178 187 196 205 215 226 237 249 261 274 287 301 316 332 348 365 383 402 422 442 464 487 511 536 562 590 619 649 681 715 750 787 825 866 909 953
E96	± 1 %	100 102 105 107 110 113 115 118 121 124 127 130 133 137 140 143 147 150 154 158 162 165 169 174 178 182 187 191 196 200 205 210 215 221 226 232 237 243 249 255 261 267 274 280 287 294 301 309 316 324 332 340 348 357 365 374 383 392 402 412 422 432 442 453 464 475 487 499 511 523 536 549 562 576 590 604 619 634 649 665 681 698 715 732 750 768 787 806 825 845 866 887 909 931 953 976

Les composants courants ont une tolérance de 5 % et même de 10 % pour les expérimentations ordinaires. On fait parfois appel à des résistances de précision, en général à 1 % ou à 2 %.

Pour des applications spécifiques (étalonnages), on trouve des éléments très précis : 0,1 % par exemple.

### ***B- Marquage et code de couleur***

Le plus souvent, la résistance se présente avec des bagues de couleurs (anneaux) autour de celle-ci. Chaque couleur correspond à un chiffre. La correspondance entre les chiffres et les couleurs des anneaux constitue ce qu'on appelle le code des couleurs et permet de déterminer la valeur d'une résistance ainsi que sa tolérance.



### ***C- Méthode***

Il faut tout d'abord placer la résistance dans le bon sens. En général, la résistance possède un anneau doré ou argenté, qu'il faut placer à droite. Dans d'autres cas, c'est l'anneau le plus large qu'il faut placer à droite

## Astuce

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

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

ou

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

**N** : noir (0)

**M** : marron (1)

**R** : rouge (2)

**O** : orange (3)

**J** : jaune (4)

**V** : vert (5)

**B** : bleu (6)

**V** : violet (7)

**G** : gris (8)

**B** : blanc (9)

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

Il existe trois types de résistances : les résistances à 4, 5 et 6 anneaux

### **1. Résistances à 4 anneaux**

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

### **2. Résistances à 5 anneaux**

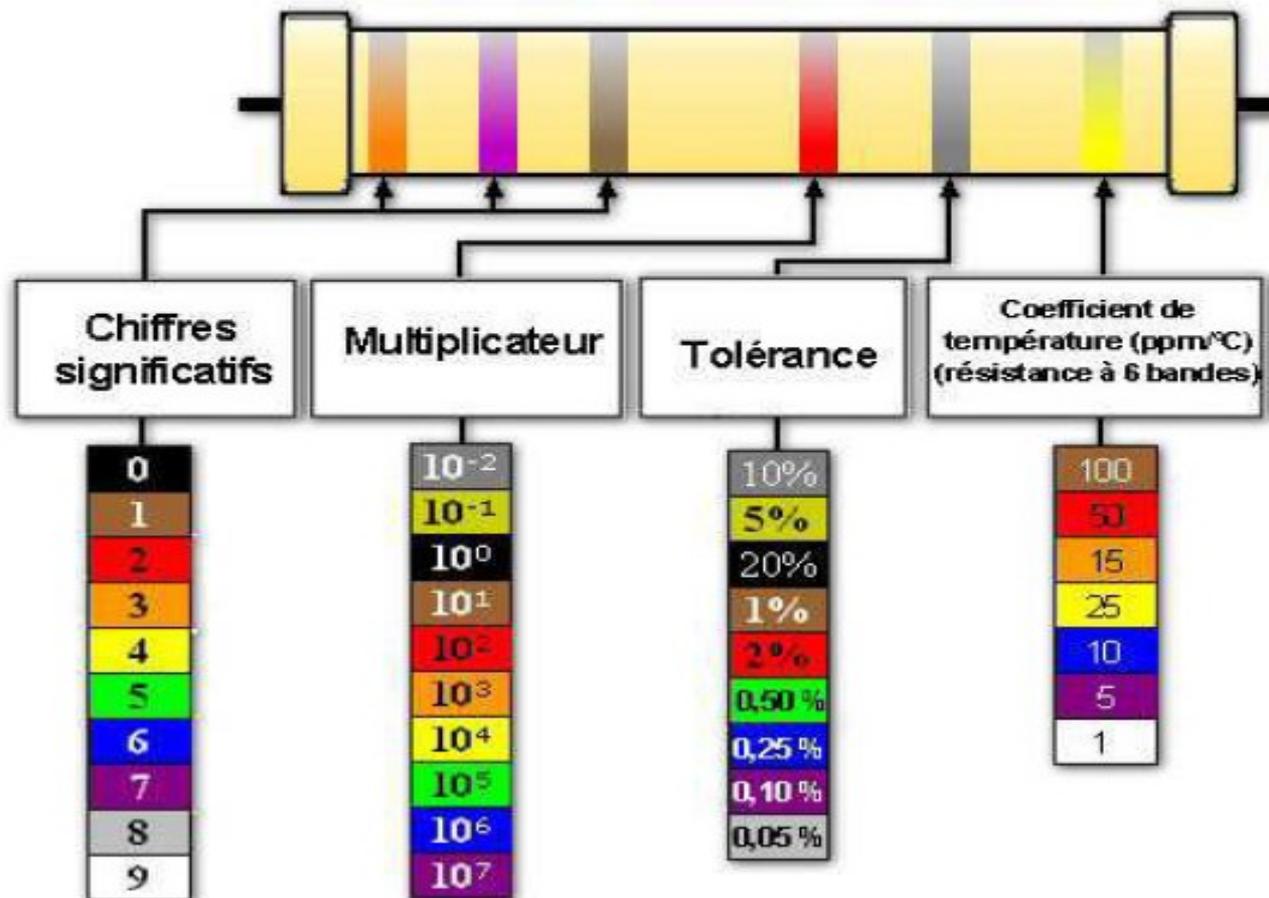
- Les trois premiers anneaux donnent les chiffres significatifs.
- Le quatrième donne le multiplicateur (la puissance de 10 qu'il faut multiplier avec les chiffres significatifs).
- Le cinquième la tolérance (les incertitudes sur la valeur réelle de la résistance donnée par le constructeur).

### **3. Résistances à 6 anneaux**

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

## Tableau récapitulatif

Ce tableau, que vous pouvez imprimer, vous permettra d'avoir à portée de main le code des couleurs des résistances, en complément avec [Calcul de Résistances](#).



## Exemples

### 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 :  $45 \times 10^3 \Omega$  à 5 % soit **45 k $\Omega$**  à 5 %.

### Exemple 2



Premier chiffre significatif : rouge : 2

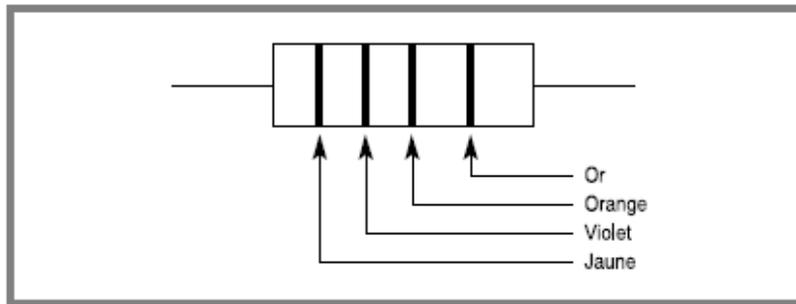
Deuxième chiffre significatif : violet : 7

Multiplicateur : marron : 1

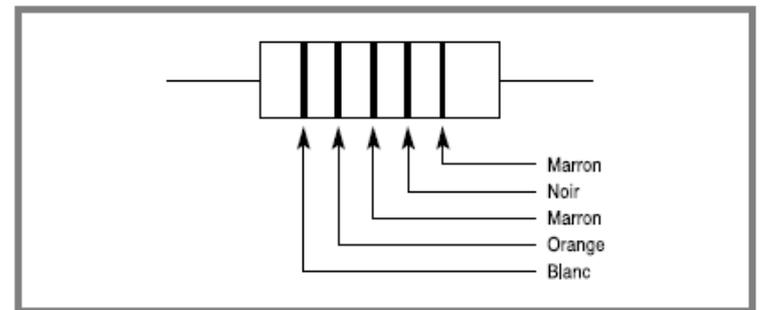
Tolérance : argent : 10 %

Donc la valeur de cette résistance est :  $27 \times 10^1 \Omega$  à 10 % soit **270  $\Omega$**  à 10 %.

### Exemples 3



**: résistance 47 k $\Omega$ , 5 %.**



**: résistance 931  $\Omega$ , 1%.**

**Puissance maximale:** 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. Les résistances ordinaires ont une puissance maximale de W. On utilise également des résistances de puissance supérieure lorsque c'est nécessaire : W, 1 W, 2 W, 5 W. Les éléments de puissance sont nettement plus encombrants sur les circuits imprimés et évidemment plus chers. Il importe donc de chiffrer correctement la puissance nécessaire afin d'utiliser ces composants à bon escient. Par exemple, on branche une résistance de 4,7 kΩ sous une tension continue de 12 V. La puissance dissipée par effet Joule est alors :

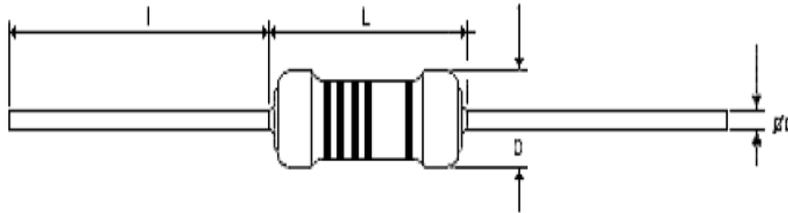
$$P = \frac{12^2}{4\,700} = 0,03 \text{ W}$$

Une résistance 1/4 W convient parfaitement. Sous la même tension de 12 V, on connecte un élément de 470 Ω. La puissance est dans ce cas :

$$P = \frac{12^2}{470} = 0,3 \text{ W}$$

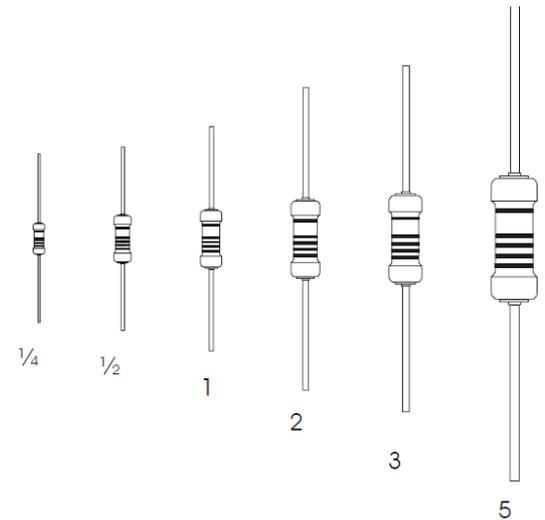
Une dissipation de  $W$  est insuffisante. Il faut au moins  $W$ . On voit que l'on a intérêt à choisir des résistances de valeurs élevées lorsque c'est possible : les puissances dissipées restent alors faibles.

### Boitiers à pattes



Dimensions en mm en fonction de la puissance

Puissance	L	D	l	d
$\frac{1}{2}$ W	9.0 +/- 1.0	3.5 +/- 0.5	28.0 +/- 1.0	0.6 +/- 0.05
1 W	11.0 +/- 1.0	4.5 +/- 0.5	28.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
2 W	15.0 +/- 1.0	5.0 +/- 0.5	35.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
3 W	17.0 +/- 1.0	6.0 +/- 0.5	35.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
5 W	24.0 +/- 1.0	8.0 +/- 0.5	32.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
7 W	24.0 +/- 1.0	8.0 +/- 0.5	32.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05
10 W	52.0 +/- 1.0	8.0 +/- 1.0	38.0 +/- 1.0	0.8 +/- 0.05



- **4- Résistances variables**

- Potentiomètres de réglage**

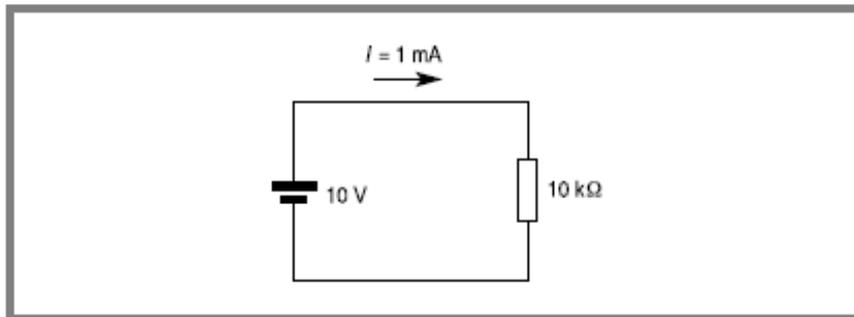
On utilise aussi parfois des potentiomètres à glissière, notamment Ces éléments sont utilisés lorsque l'on veut pouvoir régler manuellement un paramètre électrique de façon régulière. Ils sont en général constitués d'un axe relié à un curseur qui se déplace sur une piste de carbone de forme circulaire. On trouve les potentiomètres courants dans la série E3 (valeurs 1 ; 2,2 ; 4,7) avec une tolérance de 20 %. Les valeurs s'échelonnent entre 100  $\Omega$  et 4,7 M $\Omega$ . La puissance est couramment de W et peut parfois aller jusque 1 W.

Le plus souvent la loi de variation est linéaire, c'est-à-dire que la résistance comprise entre le curseur et une extrémité du potentiomètre est proportionnelle à la rotation de l'axe, mais on trouve aussi des lois non linéaires pour des applications particulières : la loi logarithmique est notamment employée en audio. Enfin, le potentiomètre peut être éventuellement muni d'un interrupteur.



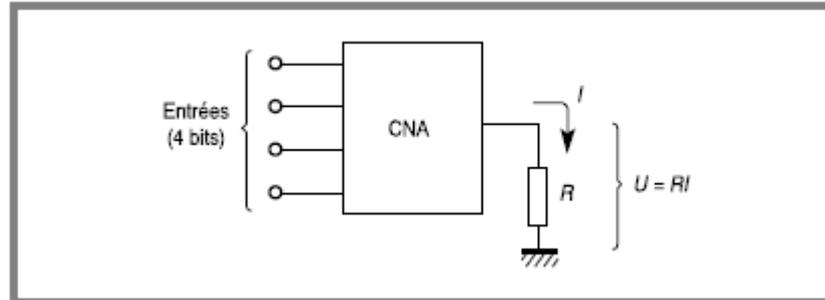
## • **5- Domaines d'utilisation**

A- Une résistance établit une relation de proportionnalité entre un courant et une tension : c'est la loi d'Ohm. Si l'on applique une tension constante aux bornes d'une résistance, on fixe le courant qui la traverse. Par exemple, on a branché une résistance de 10 kΩ aux bornes d'une source de tension continue de 10 V. Le courant qui parcourt la maille est :



$$I = \frac{10}{10\,000} = \frac{1}{1\,000} \text{ A soit } 1 \text{ mA}$$

- **B. convertisseur numérique/analogique (CNA)**



**Conversion du courant de sortie d'un CNA  
en tension.**

convertisseur numérique/analogique (CNA) : c est un circuit qui permet d obtenir un courant dépendant de l'état logique de différentes entrées .

$$I = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \right) I_0$$

- Ainsi, pour un convertisseur 4 bits pour lequel toutes les entrées sont à l'état logique 1, on a :  $I_0$  est une constante fixée dans le montage. Par exemple, avec  $I_0 = 1 \text{ mA}$ , on obtient :

$$I = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \right) \times 1 = \frac{15}{16} = 0,94 \text{ mA}$$

Si la résistance  $R$  vaut  $10 \text{ k}\Omega$ , on a une tension égale à :

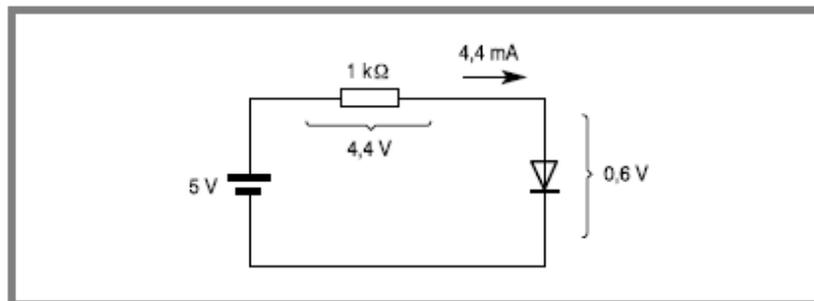
$$U = 10 \times 0,94 = 9 \text{ V}$$

## C. Résistances dans les circuits à diodes

Les résistances sont aussi associées aux composants à semi-conducteurs (diodes, transistors...) pour les polariser, c'est-à-dire pour fixer la position de leur point de repos (tension et courant). L'exemple le plus simple est celui de la diode. Cet élément, lorsqu'il est dans l'état passant, maintient une tension pratiquement constante à ses bornes (environ 0,6 V pour une diode au silicium).

Dans le circuit considéré, la diode est polarisée par un générateur de tension 5 V.

La tension aux bornes de la résistance est :



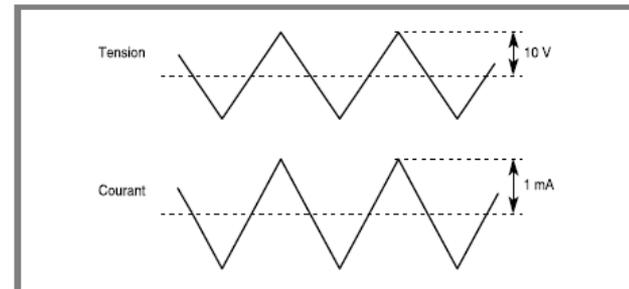
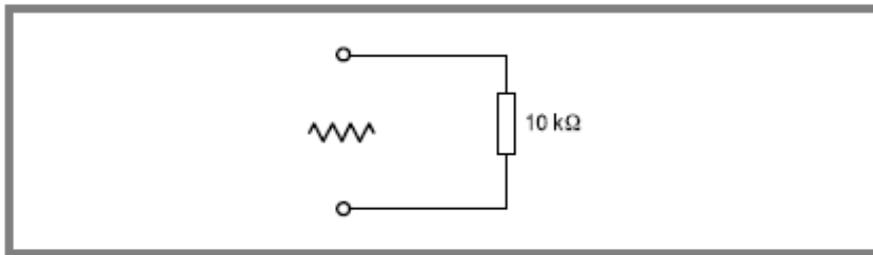
$$U = 5 - 0,6 = 4,4 \text{ V}$$

Le courant qui traverse le circuit est alors :

$$I = \frac{4,4}{1} = 4,4 \text{ mA}$$

## D. Résistances dans les circuits à tension variable

- La résistance peut aussi être employée avec des tensions et des courants variables. Dans ce cas, la loi d'Ohm s'applique à chaque instant et donc tension et courant ont même forme. Par exemple, une résistance de  $10\text{ k}\Omega$  est soumise à une tension triangulaire d'amplitude  $10\text{ V}$



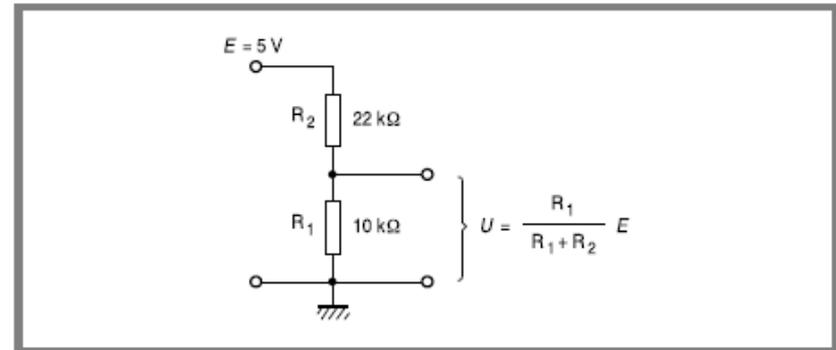
## E. Diviseur de tension:

- Ce montage permet d'obtenir une tension inférieure à la tension d'alimentation (ou à une autre tension dont on dispose déjà).
- L'application de la loi d'Ohm montre immédiatement que l'on a :

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

Avec les valeurs choisies sur le schéma ( $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$ ), on obtient :

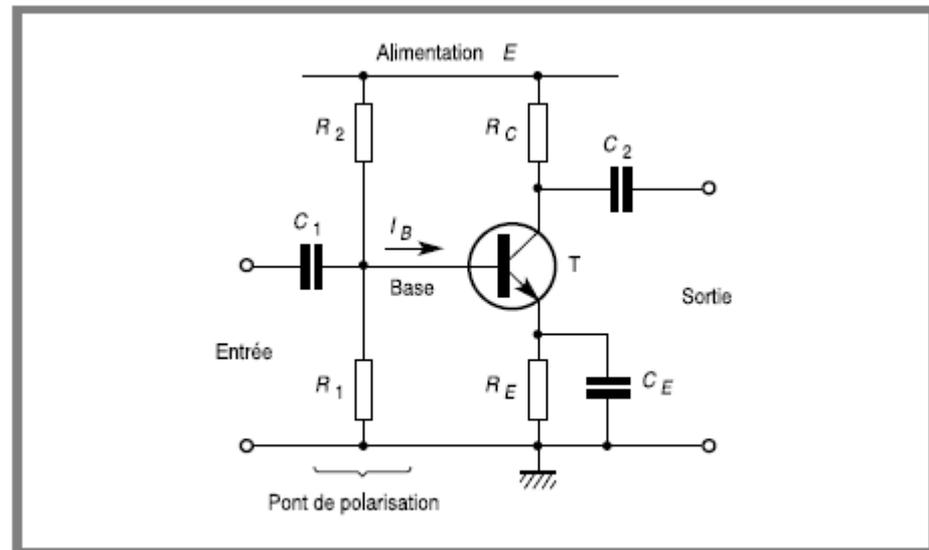
$$U = \frac{10}{10 + 22} \times 5 = 1,56 \text{ V}$$



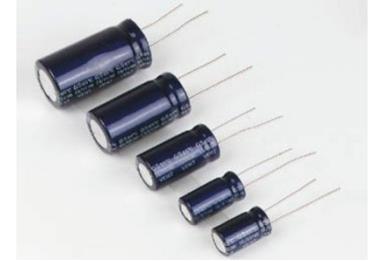
## F- Résistance pour la tension de la base du transistor

Un exemple typique d'application est le pont de polarisation de base d'un transistor bipolaire (*figure 1.17*).

On fixe la tension de base à partir de l'alimentation  $E$  à l'aide des résistances  $R_1$  et  $R_2$ . Lorsque l'on a déterminé l'ordre de grandeur du courant de base  $I_B$  à l'aide des caractéristiques du transistor, on choisit un courant de pont égal à au moins  $10I_B$ , ce qui fixe la somme  $R_1 + R_2$ . La valeur de la tension de base désirée imposant le rapport de  $R_1$  et  $R_2$ , ces deux résistances sont ainsi calculées.]

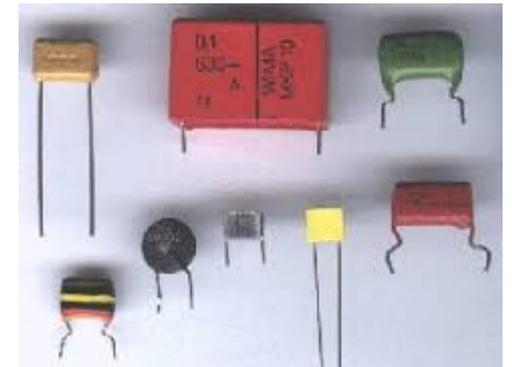
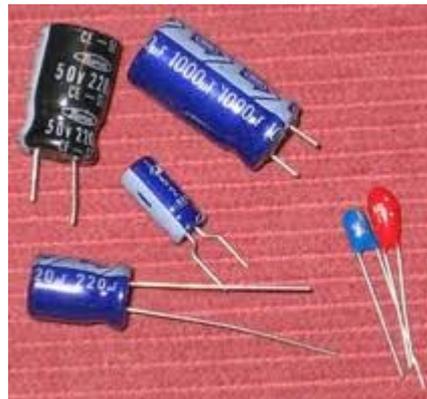
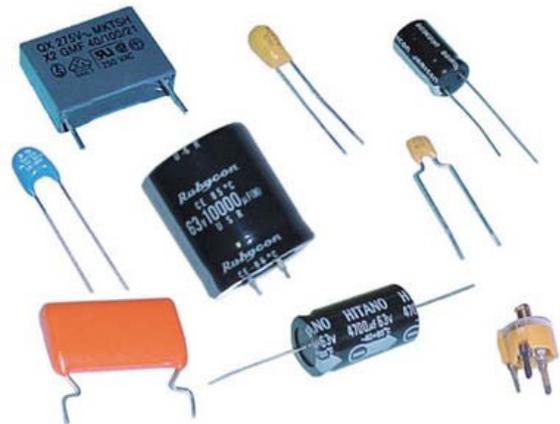


**Figure 1.17 - Polarisation d'un amplificateur à transistor.**



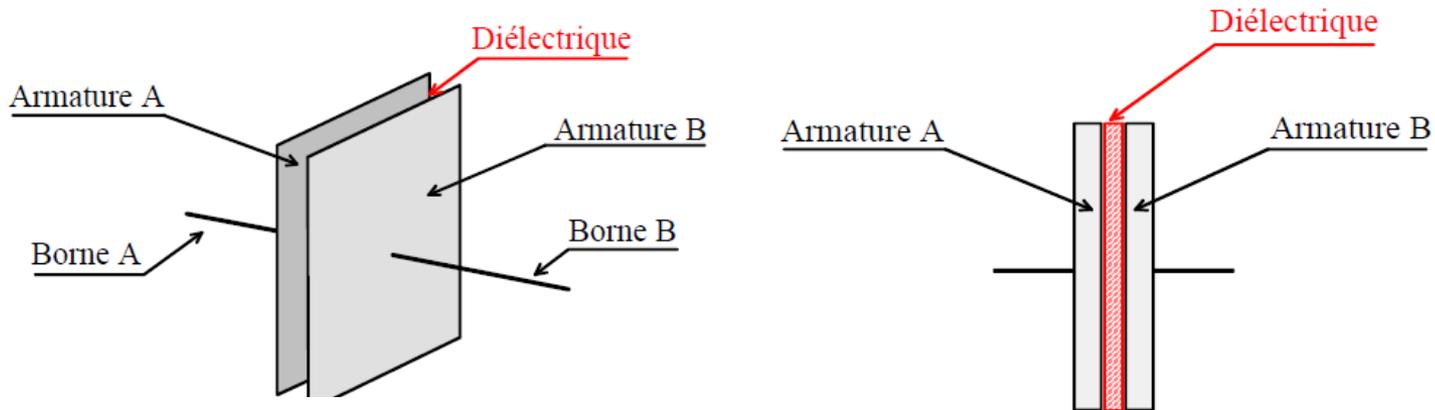
## Chapitre 2: Les Condensateurs

Pareillement aux résistances, les condensateurs sont très utilisés dans les montages et les cartes électroniques. A l'inverse des composants résistifs, qui sont presque tous identiques, les condensateurs ont des formes et des encombrements très divers. Cela s'explique par les technologies variées qui conviennent aux différentes applications de ces composants.



## Définitions :

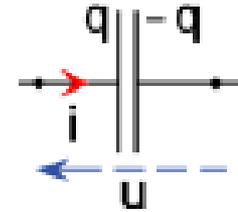
Un condensateur est formé de deux armatures métalliques séparées par un isolant, le diélectrique. Quand on applique une tension continue entre les bornes du condensateur (qui sont reliées aux armatures), des charges + et - vont s'accumuler les unes en face des autres de chaque côté de l'isolant. On dit que le condensateur s'est chargé. Si ensuite on ôte la source de tension et que l'on connecte le condensateur sur une résistance, les charges vont s'écouler jusqu'à leur annulation. Le condensateur se décharge.



Le diélectrique peut être :

- gazeux (air, etc...),
- liquide (huile, électrolyte, etc...),
- solide (papier, mica, etc...).

- Les dimensions des plaques sont grandes devant l'épaisseur de l'isolant.
- Le condensateur est un dipôle, on le symbolise par :



- La charge  $q$  est, par convention la charge portée par la plaque par laquelle on entre dans le condensateur.
- La charge qui apparaît sur l'une des plaques est l'opposée de celle qui apparaît sur l'autre plaque en effet la conservation de la charge électrique s'écrit :  **$q + q' = 0$**  d'où  **$q' = -q$** .

• Il faut bien remarquer qu'aucun courant ne traverse le condensateur (à cause de l'isolant), mais qu'un certain courant circule dans le reste du circuit pendant une durée assez brève lors des charges et des décharges. On dit qu'il s'agit d'un régime de fonctionnement transitoire.

Lorsqu'un condensateur est chargé, il conserve l'électricité accumulée jusqu'à une décharge : le condensateur a une certaine mémoire.

- La quantité de charge  $Q$  emmagasinée sous une tension  $U$  donnée dépend du condensateur employé. Pour un composant choisi, la quantité de charge est proportionnelle à la tension appliquée à ses bornes. On écrit :

$$Q = CU$$

$Q$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur exprimée en Coulomb (notée C),

$C$  la capacité du condensateur exprimée en Farad (notée F),

$U_C$  la tension aux bornes du condensateur exprimée en volt (notée V).

• La constante  $C$  est caractéristique du condensateur. On l'appelle capacité et on l'exprime en farads (symbole F). On emploie plutôt les sous-multiples de cette unité : le microfarad (un millionième de farad), symbole  $\mu\text{F}$ , le nanofarad (un millième de microfarad), symbole nF et le picofarad (un millième de nanofarad), symbole pF. Le nom de farad vient du physicien anglais M. Faraday.

- **Énergie emmagasinée**

Au point de vue énergétique, le comportement du condensateur est bien différent de celui de la résistance. Alors que cette dernière dissipe l'énergie électrique en la transformant en chaleur, le condensateur emmagasine l'énergie quand il se charge et la restitue lorsqu'il se décharge. Il n'y a pas de pertes d'énergie électrique (sauf de petits défauts dont l'importance est secondaire). Le condensateur chargé forme donc une réserve d'énergie. Ce phénomène est utilisé dans certaines applications

- **Symbole:**
- Sur les schémas, le condensateur est représenté par son symbole normalisé (figure 2.1).



Figure 2.1 - Symbole normalisé d'un condensateur.

- Certains condensateurs sont polarisés du fait de leur technologie : l'armature notée + doit alors absolument être reliée au pôle positif de la tension. On les identifie par leur symbole normalisé (figure 2.2) par d'autres représentations (figure 2.3)



Figure 2.2 Symbole normalisé d'un condensateur polarisé.

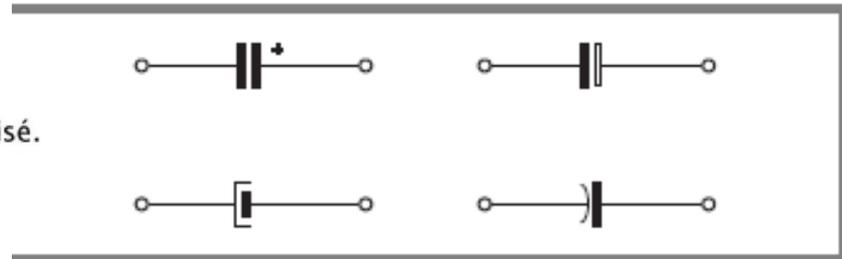
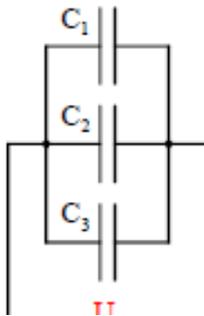


Figure 2.3 - Divers symboles employés pour représenter les condensateurs polarisés (l'armature + est celle de droite sur tous ces schémas).

- **Associations de condensateurs:** On peut grouper les condensateurs en série ou en parallèle. L'association se comporte comme un nouveau condensateur
- **1. Association parallèle**



Soit

$Q_1$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_1$ ,

$Q_2$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_2$ ,

$Q_3$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_3$ .

On a  $Q_1 = C_1 U$

$Q_2 = C_2 U$

$Q_3 = C_3 U$

La quantité d'électricité totale  $Q$  emmagasinée par le groupement vaut :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= C_1 U + C_2 U + C_3 U \\ &= (C_1 + C_2 + C_3) U \end{aligned}$$

En appelant  $C_{EQ}$  la capacité équivalente du groupement, on a :

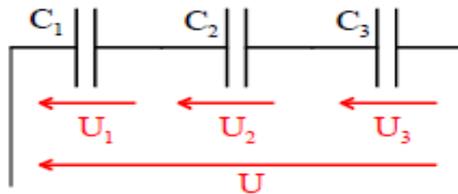
$$\begin{aligned} Q &= C_{EQ} U \\ \text{Or } Q &= (C_1 + C_2 + C_3) U \quad \Rightarrow \quad C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 \end{aligned}$$

Conclusion :

Si on branche  $n$  condensateurs en parallèle, la capacité équivalente  $C_{EQ}$  du groupement vaut :

$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$$

## 1. Association série



Soit

$Q_1$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_1$ ,

$Q_2$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_2$ ,

$Q_3$  la quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur  $C_3$ .

En admettant que la quantité d'électricité  $Q$  emmagasinée par le groupement est la même que celle emmagasinée dans chaque condensateurs, on a :

$$\begin{aligned} \text{On a } Q &= C_1 U_1 \Rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_1} \\ Q &= C_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{Q}{C_2} \\ Q &= C_3 U_3 \Rightarrow U_3 = \frac{Q}{C_3} \end{aligned}$$

---

### REMARQUE

Les résultats sont différents de ceux qui ont été obtenus pour les résistances : pour des éléments en série, les résistances s'ajoutent tandis que ce sont les inverses des capacités qu'il faut considérer ; pour des éléments en parallèle, c'est le contraire.

---

En appelant  $C_{EQ}$  la capacité équivalente du groupement, on a :

$$\begin{aligned} Q &= C_{EQ} U \\ &= C_{EQ} (U_1 + U_2 + U_3) \\ &= C_{EQ} \left( \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \right) \end{aligned}$$

☞ Si on branche  $n$  condensateurs en série, la capacité équivalente  $C_{EQ}$  du groupement se calcule à partir de la relation :

$$\frac{1}{C_{EQ}} = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)$$

# Fonction d'un condensateur

- Réservoir d'énergie
- Filtrage
- Liaison
- Découplage
- Accord

Les caractéristiques essentielles d'un condensateur dépendent de sa technologie.

Le choix d'un type de condensateur se fait en fonction de son utilisation

# Caractéristiques d'un condensateur

- Capacité (en pF, nF ou  $\mu\text{F}$ )
- Tension de service (en V)
- Tolérance (en %)
- Coefficient de température (en ppm/ $^{\circ}\text{C}$ )
- Polarité éventuelle (condensateurs polarisés)
- Type de diélectrique -pertes - ESR

# • ***Technologies des condensateurs***

La grande variété des matériaux diélectriques employés conduit à de nombreux types de condensateurs de propriétés diverses. L'usage de telle ou telle technologie dépend de la gamme de capacités et des performances attendues. En particulier, les différents types de condensateurs ont un domaine de fréquence qui leur est propre. On ne fera ici que citer les principales caractéristiques des familles technologiques les plus répandues.

## **1. Condensateurs à film plastique:**

- Les condensateurs les plus utilisés sont à film plastique. De nombreuses variétés de plastiques peuvent être employées : polyester, polystyrène, polycarbonate, polypropylène... Les condensateurs à film plastique ont de bonnes performances. Les pertes sont réduites. La tension maximale est en général de plusieurs centaines de volts (parfois quelques dizaines de volts, plus rarement quelques milliers de volts)

## Polyester MKT

- Capacité [F]: 1n --> 10m
- Tolérance [%]: +/- 10 %
- Tension de service [V]: 50V --> 400V

Caractéristiques générales: Résiste à l'humidité, auto-cicatrisant

Utilisation préférentielles:

- Audio- vidéo, liaison, découplage

## Polyester MKS2

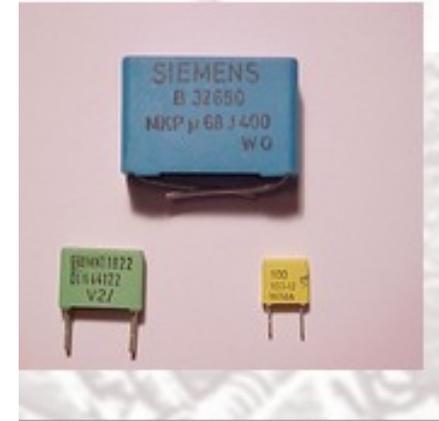
- Capacité [F]: 1N --> 2 $\mu$
- Tolérance [%]: +/- 20 %
- Tension de service [V]: 63V --> 250V

Caractéristiques générales: Charge impulsionnelle élevée, courants forts

Utilisations préférentielles:

- Audio- vidéo, liaison, découplage, circuits de découpages

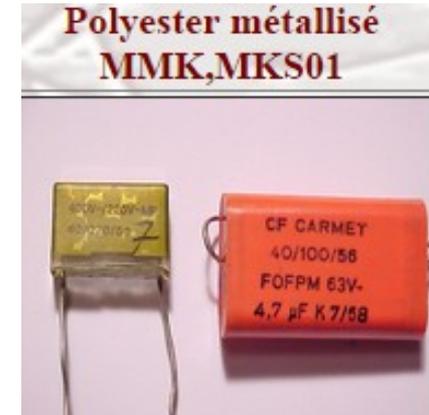
## Polyester MKT



## Polyester MKS2, MKS4, FKS, MKT (X2)



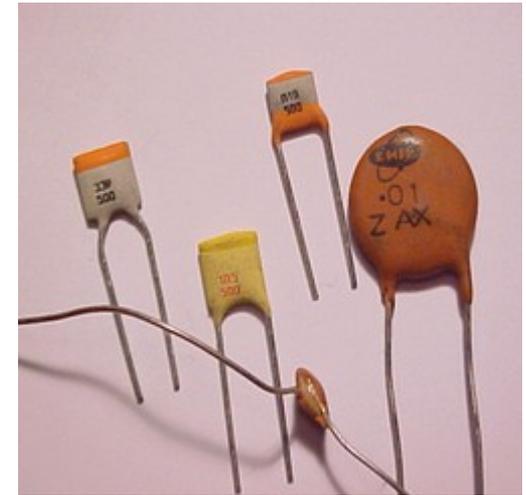
- **Capacité [F]:**0.01 $\mu$  --> 10 $\mu$
- **Tolérance [%]:**+/- 10 %
- **Tension de service [V]:**
- **63V --> 630V**
- **Caractéristiques générales:**
- **Bon vieillissement, utilisable en HF (10-50kHz)**
- **Utilisation préférentielles:**
- **Couplage, blocage, filtrage**



**2. Les condensateurs céramique:** La deuxième grande catégorie est formée par les condensateurs céramique. De nombreuses variantes existent, mais on peut cependant donner des caractéristiques communes à tous ces condensateurs. Tout d'abord, les condensateurs céramique sont surtout destinés à une utilisation en hautes fréquences. Les pertes peuvent être importantes en particulier aux fréquences basses. Les valeurs s'échelonnent entre 1 pF et 100 nF environ. La précision est en général médiocre : 20 % est une valeur courante. Il existe cependant des séries plus précises. Les condensateurs céramique seront surtout utilisés dans des applications où la valeur exacte de la capacité n'a pas d'importance.

## ***Les condensateurs céramiques plaquettes***

- Capacité [F]:
- 1p --> 22n
- Tolérance [%]: +/- 2%
- Tension de service [V]: 50V --> 100V
- Caractéristiques générales: Grande plage de valeurs, bonne précision, bonne tenue en température et humidité, très petit volume
- Utilisations préférentielles:
- Filtres, circuits oscillants, HF, compensation en température



## ***Les condensateurs céramiques multicouches***

- Capacité [F]: 100p --> 1m
- Tolérance [%]: +/- 10% --> +/- 20%
- Tension de service [V]: 50V --> 200V
- Caractéristiques générales:
- Grande plage de valeurs, bonne tenue en température et humidité, très petit volume y compris SMD
- Utilisations préférentielles: Filtres, circuits oscillants, HF



**3. Condensateurs électrolytiques** Pour les fortes valeurs de capacité, on fait appel aux condensateurs électrolytiques à l'aluminium, plus simplement appelés condensateurs chimiques. On trouve ces composants pour des capacités comprises entre  $1 \mu\text{F}$  et quelques millifarads, voire parfois quelques dizaines de millifarads. Les condensateurs chimiques ne peuvent être utilisés qu'aux basses fréquences. Ils sont polarisés : un mauvais sens de branchement peut amener l'explosion du composant.

### **Les condensateurs électrolytiques aluminium**

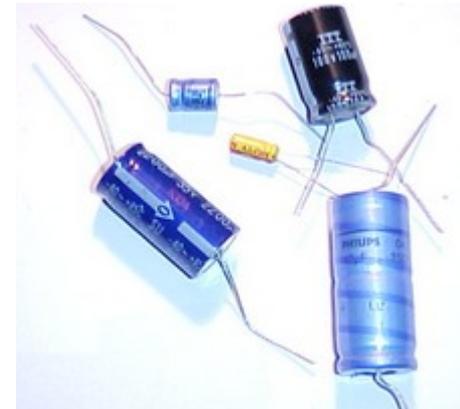
- **Capacité [F]:**  $47\mu$  -->  $47\text{m}$
- **Tolérance [%]:**  $\pm 20\%$  -->  $\pm 30\%$
- **Tension de service [V]:**  $6\text{V3}$  -->  $350\text{V}$
- **Caractéristiques générales:**
- **Grandes valeurs pour un faible volume, bon marché mais vieillit mal**
- **Utilisation préférentielles:**
- **Filtrage, liaison, découplage**

### **Les condensateurs électrolytiques au tantale:**

le diélectrique est de l'oxyde de tantale ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ).

Ces condensateurs sont plus stables que ceux avec des électrodes en aluminium et leur encombrement moins grand.

Le volume est encore réduit lorsque l'anode est frittée.

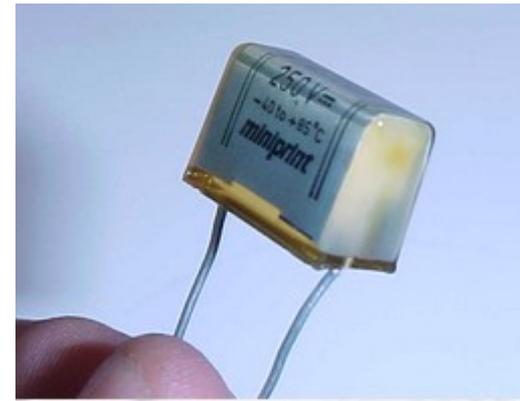


#### **4. Les condensateurs à film papier métallisé**

- Capacité [F]: m01 --> m1 Tolérance [%]:
- +/- 10% --> +/- 20% Tension de service [V]:
- 250V --> 1000V Caractéristiques générales:
- Résiste à l'humidité et à la température

#### **Utilisation préférentielles:**

- Déparasitage, découplage



- **Caractéristiques technologiques**

- **Valeurs et précision**

De la même façon que pour les résistances, les capacités des condensateurs disponibles appartiennent aux séries normalisées, *le problème est un peu moins simple* pour les condensateurs. Du fait des technologies différentes employées, on ne dispose pas d'éléments de précision identique dans toute la gamme des valeurs possibles. Pour les capacités les plus courantes entre 1 nF et 1  $\mu$ F, on trouve souvent des progressions E12, avec des précisions de 10 % ou 5 %. Pour les valeurs plus faibles (1 pF à 1 nF) et plus élevées (1  $\mu$ F à 47 mF environ), on se contente en général de séries E6 ou même E3 car les précisions sont médiocres :  $\pm 20\%$  et même  $- 20 \%$ ,  $+ 50 \%$  pour les fortes valeurs.

- **Tension maximale**

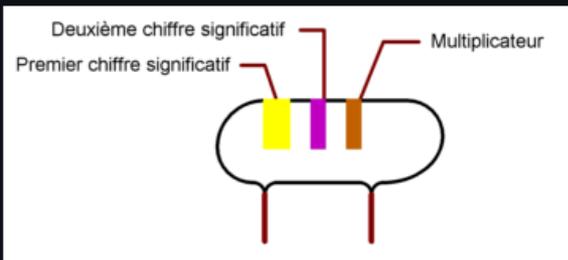
Si une tension trop importante est appliquée aux bornes du condensateur, le diélectrique se perce et le composant est détruit :c'est le claquage du condensateur. Il existe donc une tension limite précisée par les constructeurs pour chaque modèle. Suivant la technologie et la capacité du condensateur, les tensions maximales sont assez variables : quelques volts à plusieurs milliers de volts.

## • **Marquage**

Beaucoup de condensateurs sont marqués en clair : la capacité et la tension limite sont indiquées en chiffres sur le corps du composant, avec ou sans indication d'unité. Par exemple, un condensateur poly carbonate marqué 47n 250 a une capacité de 47 nF et une tension maximale de 250 V. Un condensateur tantale marqué 10/25 a une capacité de 10  $\mu$ F et une tension de 25 V. Certains éléments peuvent être marqués par le code des couleurs. Plusieurs dispositions se rencontrent pour les différentes bandes colorées.

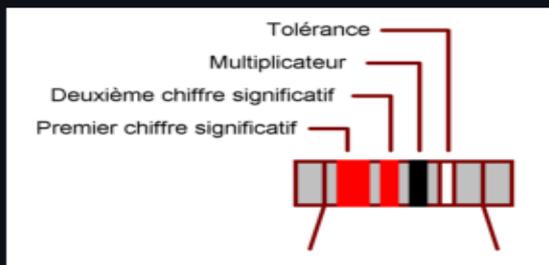
• Réalisé avec des anneaux, points ou bandes de couleur. Les premiers indicateurs colorés représentent les chiffres significatifs, un autre indique le facteur de multiplication et des couleurs additionnelles peuvent être présentes pour indiquer la tolérance et la tension de service

### Condensateur "allongé et un peu arrondi" avec 3 bandes de couleur



Condensateur de 470 pF

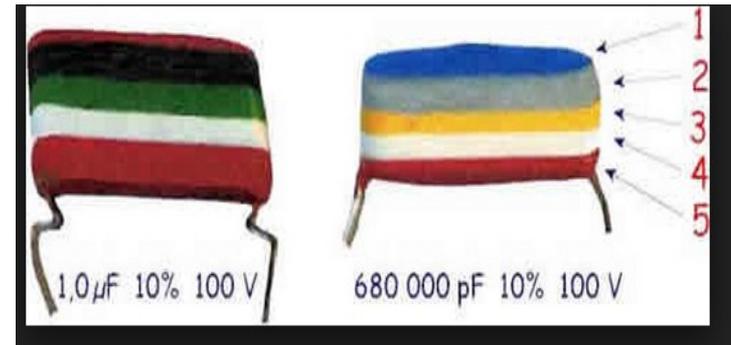
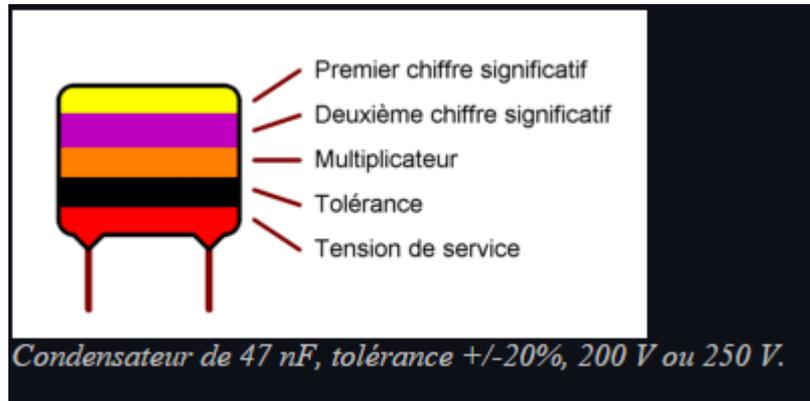
### Condensateur tubulaire avec 4 anneaux de couleur



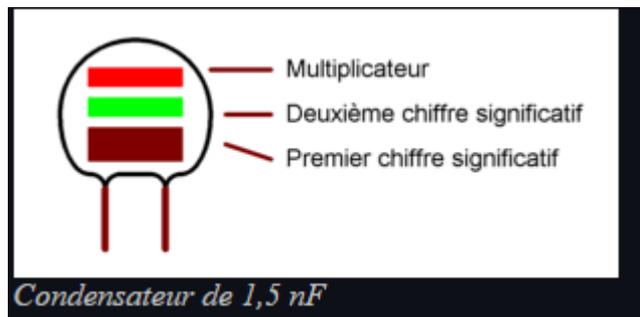
Condensateur de 22 pF, tolérance 10 %

Couleur	1er anneau	2ème anneau	Multiplicateur	Tolérance	Isolation
Noir	0	0	1 pF	20%	
Marron	1	1	10 pF	1%	100 V
Rouge	2	2	100 pF	2%	250 V
Orange	3	3	1 nF		
Jaune	4	4	10 nF		400 V
Vert	5	5	100 nF		
Bleu	6	6	1 $\mu$ F		630 V
Violet	7	7			
Gris	8	8	0,01 pF		
Blanc	9	9	0,1 pF		
Argent			0,01 pF	10%	
Or			0,1 pF	5%	

- **Condensateur rectangulaire avec coins arrondis et 5 bandes de couleur**
- Les couleurs se lisent de haut en bas.

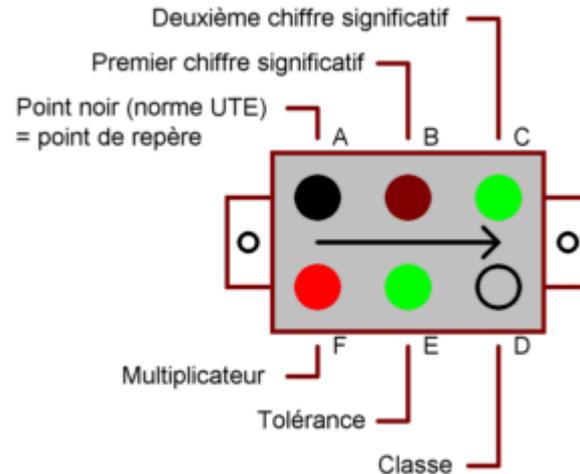


- **Condensateur disque avec 3 bandes de couleur**
- Les couleurs se lisent de bas en haut.



Attention, certains condensateurs ont une grande ressemblance physique avec celui-ci mais ont une patte prise plus haut que l'autre dans le composant. Pour ces derniers, la lecture se fait de haut en bas. En cas de doute, lire dans les deux sens, bien souvent une seule valeur normalisée ressort.

- **condensateurs avec 6 points ou anneaux de couleur**

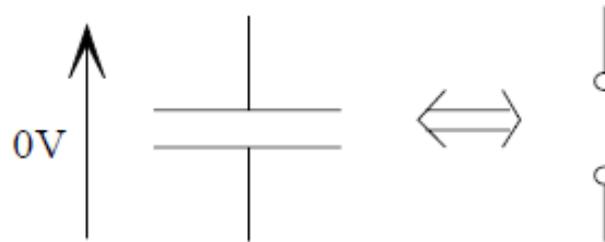


- *Condensateur mica de 1500 pF, tolérance 5 %*
- **Remarque** : le "point noir norme UTE" (point A) n'est pas toujours noir, il peut aussi être employé pour indiquer la catégorie climatique (ou coefficient de température) du composant, selon codage suivant :  
 Rouge = Catégorie 454 - Froid -55 °C, Chaleur sèche 85 °C, Chaleur humide 21 jours
- Jaune = Catégorie 434 - Froid -55 °C, Chaleur sèche 125 °C, Chaleur humide 56 jours
- Vert = Catégorie 435 - Froid -55 °C, Chaleur sèche 125 °C, Chaleur humide 21 jours

## 6°) Modèles électriques simples d'un condensateur :

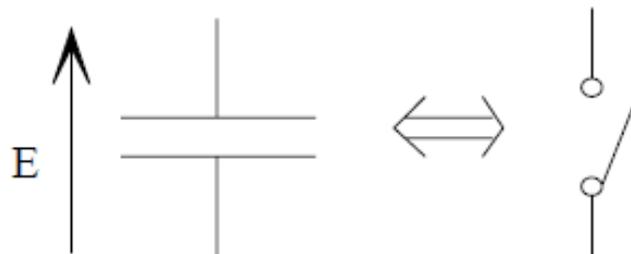
### a) Condensateur totalement déchargé :

Lorsqu'un condensateur est totalement déchargé, la tension entre ses bornes est nulle. Il se comporte comme un interrupteur fermé (ou un circuit fermé).



### b) Condensateur totalement chargé :

Lorsque le condensateur est totalement chargé (la tension à ses bornes est égale à celle du générateur qui l'alimente), il ne permet plus la circulation de courant. Le condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert (ou un circuit ouvert).



# • Charge du condensateur

## a) Etablissement de l'équation différentielle :

Le condensateur étant déchargé, on bascule l'interrupteur en position 1 (générateur).

A chaque instant  $t > 0$ , on a :  $V_A - V_B = u_R(t) + u_C(t) = R \cdot i(t) + u_C(t) = E$

On a  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$  et  $q(t) = C \cdot u_C(t)$  donc  $i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$  soit  $R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E$

D'où l'équation : 
$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot u_C(t) = \frac{E}{R \cdot C}$$

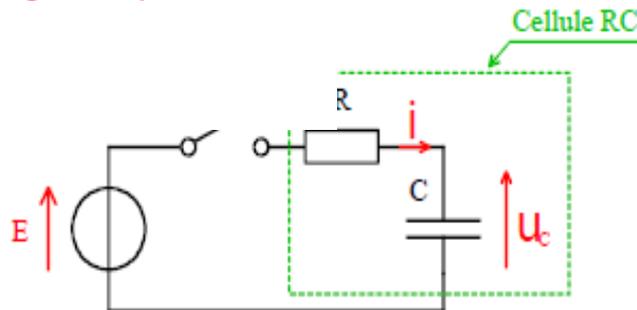
On dit que  $u_C(t)$  satisfait à une équation différentielle non homogène du premier ordre.

Avec  $q(t) = C \cdot u_C(t)$ , on a 
$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot q(t) = \frac{E}{R}$$

A la mise sous tension du dispositif, le condensateur est totalement déchargé, la tension à ses bornes vaut  $u_C = 0V$ .

On dit que  $u_C(t)$  satisfait à une équation différentielle non homogène du premier ordre.

Avec  $q(t) = C \cdot u_C(t)$ , on a 
$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot q(t) = \frac{E}{R}$$



La solution générale de l'équation différentielle s'écrit :  $u_C(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + E$   
 A est une constante qui dépend des conditions initiales.

Ici, à  $t = 0$ , le condensateur est déchargé, donc :  $u_C(0) = 0 = A \cdot e^{-0} + E$  d'où  $A = -E$   
 Compte tenu des conditions initiales imposées par l'expérience, la solution est :

$$u_C(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

On retrouve l'allure prévue. En particulier, au bout d'un temps long :  $u_C(\infty) = E$

### c) Charge et intensité du courant :

En appliquant les relations :  $q(t) = C \cdot u_C(t)$  et  $i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$

On a :  $q(t) = C \cdot E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$  et  $i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

Au bout d'un temps long :  $q(\infty) = C \cdot E = Q_0$  le condensateur est chargé  
 et  $i(\infty) = 0$  il n'y a plus de courant

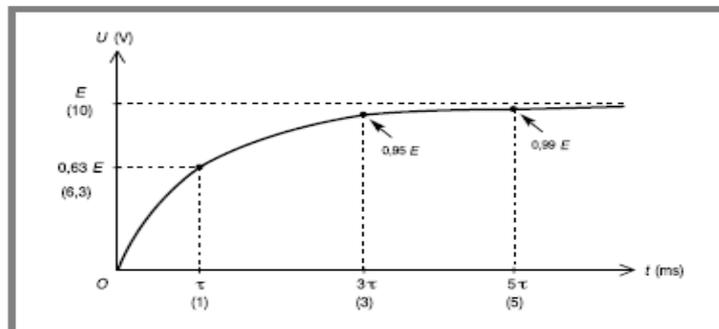


Figure 2.10 - Évolution de la tension aux bornes d'un condensateur chargé par un générateur de tension et une résistance.

Tableau 2.1 - Valeurs remarquables pour la courbe de charge du condensateur.

$t$	$U$
$\tau$	$0,63E$
$3\tau$	$0,95E$
$5\tau$	$0,99E$

- Si on dispose de l'oscillogramme  $u_C(t) = E.(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ . On trace la tangente à la courbe à l'origine : elle coupe l'asymptote  $y = E$  au point d'abscisse  $t = \tau$ . En effet, la tangente à la courbe représentative de  $u_C(t)$ , à l'origine des dates, a pour équation :

$$y = \frac{d[u_C(t)]}{dt} \Big|_{t=0} . t = - E.(-\frac{1}{R.C}).t = \frac{E}{R.C} . t$$

Elle coupe l'asymptote  $y = E$  en un point d'abscisse  $t : E/(R.C).t = E$  soit  $t = R.C = \tau$

- Si on dispose de l'oscillogramme  $u_C(t)$ , on se place à la date  $t = \tau$  :

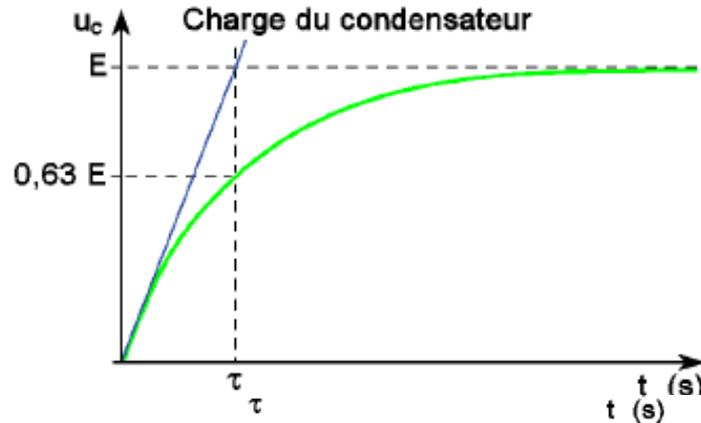
\* Lors de la charge :

$$u_C(t) = E.(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

On détermine :

$$u_C(\tau) = E.(1 - e^{-1}) \approx 0,63.E.$$

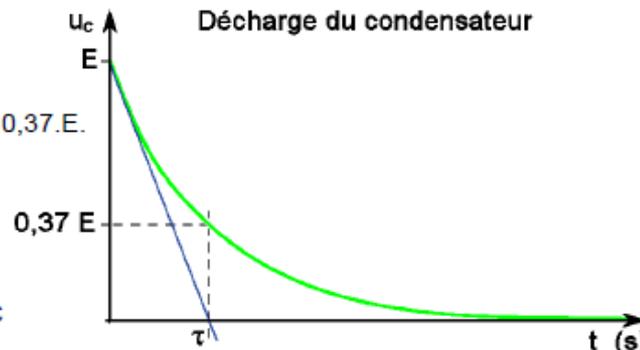
Par lecture graphique de l'abscisse du point de la courbe dont l'ordonnée est égale à  $0,63.E$ , on obtient la valeur de  $\tau$ .



\* Lors de la décharge :

$$u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{RC}}, \text{ on a } u_C(\tau) = E.e^{-1} \approx 0,37.E.$$

Par lecture graphique de l'abscisse du point de la courbe dont l'ordonnée est égale à  $0,37.E$  : on obtient la valeur de  $\tau$ .



- Si on connaît  $R$  et  $C$ , on a :  $\tau = R.C$

Pendant une durée  $\Delta t$  de quelques  $\tau$  (de l'ordre  $5.\tau$ ) le condensateur se charge ou se décharge : **c'est le régime transitoire du phénomène.**

Au bout de quelques  $\tau$  (de l'ordre  $5.\tau$ ), le condensateur est chargé ou déchargé et l'intensité du courant est nulle : **c'est le régime permanent du phénomène.**

### 5) Capacité du condensateur plan :

Si l'isolant est le vide (ou l'air) on a :  $C_0 = \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$

$\varepsilon_0$  est la permittivité diélectrique du vide, avec  $\varepsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9}$  S.I. =  $8,84 \cdot 10^{-12}$  S.I.

Si l'isolant est un matériau :  $C = \varepsilon \cdot S/d$  où  $\varepsilon$  est la permittivité diélectrique du matériau.

On pose  $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$  où  $\varepsilon_r$  est la permittivité relative du matériau par rapport au vide (ou à l'air).

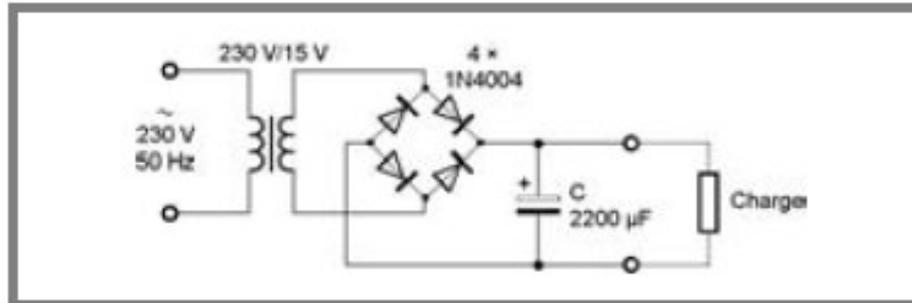
- pour obtenir des condensateurs de grande capacité, il est indispensable de disposer d'une grande surface commune aux deux électrodes avec une faible distance entre elles et d'un diélectrique à haute permittivité relative.
- Ce qui pose de contraintes de résistance à l'isolation (rigidité diélectrique) et d'encombrement.
- De plus, le diélectrique doit posséder des performances en stabilité vis-à-vis de la température, du vieillissement ou de la fiabilité (variation de capacité en %).

## • **Domaines d'utilisation**

• Les condensateurs ont de multiples usages. Selon les cas, on exploite le fait qu'ils accumulent une certaine énergie, dans d'autres cas, c'est la variation de leur impédance avec la fréquence qui est utile. L'exemple le plus frappant de l'accumulation d'énergie est le flash d'un appareil photo. Les piles chargent un condensateur pendant un certain temps, puis le condensateur se décharge brusquement dans le tube du flash. La quantité d'énergie fournie pendant cette brève durée permet l'obtention de l'éclair.

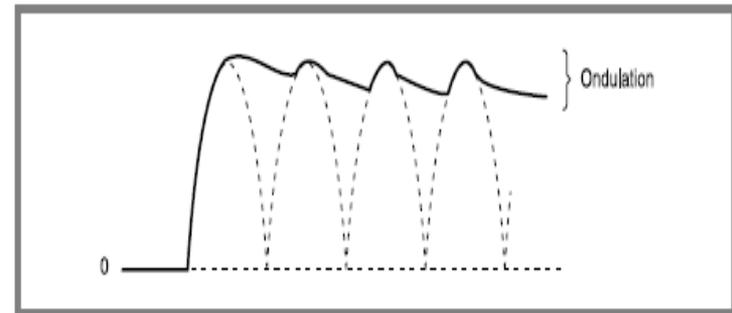
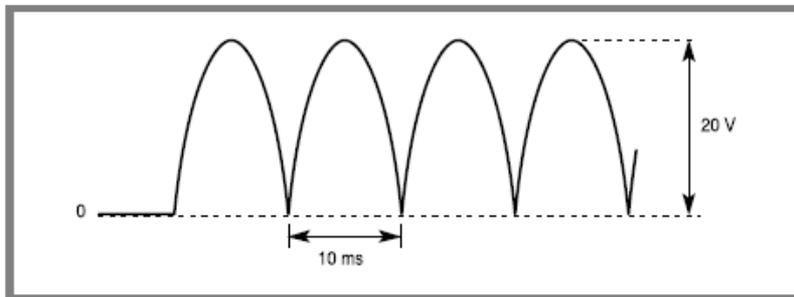
### • 1. **Condensateur de filtrage**

• Dans les alimentations continues à partir du secteur, on utilise un gros condensateur pour le filtrage (*figure 2.17*).



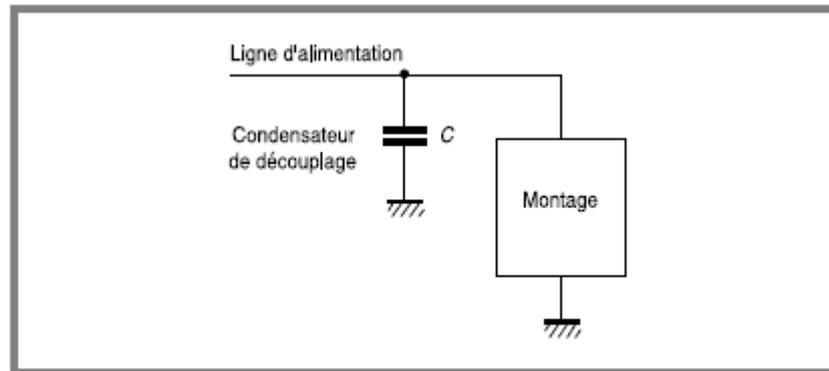
**Figure 2.17 - Alimentation continue avec condensateur de filtrage.**

- Le pont de diodes redresse le signal alternatif obtenu au secondaire du transformateur. En l'absence de condensateur, on observe la tension éloignée du continu (*figure 2.18*).
- Lorsque l'alimentation débite, le condensateur se décharge légèrement puis se recharge périodiquement (*figure 2.19*). Si la capacité est assez élevée, la tension est sensiblement continue. On utilise habituellement de gros -condensateurs chimiques (centaines ou milliers de microfarads)



- **Condensateur de découplage**
- On trouve les condensateurs de découplage connectés sur les lignes d'alimentation d'un montage (*figure 2.21*). La tension d'alimentation est normalement continue et le condensateur se charge lors de la mise sous tension du montage et conserve cette charge. En réalité, la tension continue d'alimentation n'est pas rigoureusement constante à cause des parasites et des chutes de

tension créées par les courants consommés par les circuits. En branchant un condensateur entre la ligne d'alimentation et la masse, on élimine ces variations de tension qui pourraient perturber le fonctionnement du montage. En effet, le condensateur, grâce à son énergie accumulée, apporte une certaine inertie à la tension. En cas de brève variation de l'alimentation, le condensateur n'a pas le temps de modifier sa charge et maintient la tension constante. Pour remplir correctement son rôle, le condensateur doit être connecté au plus près du circuit afin qu'il ne puisse pas y avoir de chute de tension entre le découplage et le montage lui-même.

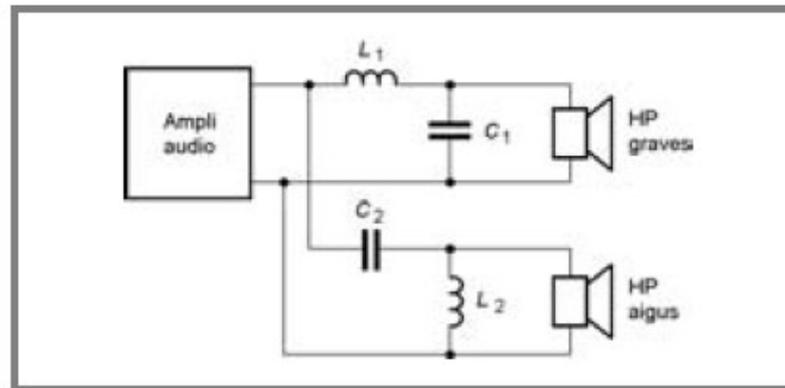


**Figure 2.21 - Condensateur de découplage sur une ligne d'alimentation.**

Suivant la nature des signaux à éliminer, on utilisera la technologie appropriée pour le condensateur. Les variations étant souvent rapides (parasites de commutation par exemple), on fait souvent appel à des condensateurs céramique. Si des variations lentes sont à craindre (résidu d'ondulation secteur par exemple), il faut disposer d'une capacité plus élevée et on emploie alors des éléments chimiques.

- **3. condensateur utilisé comme filtre**

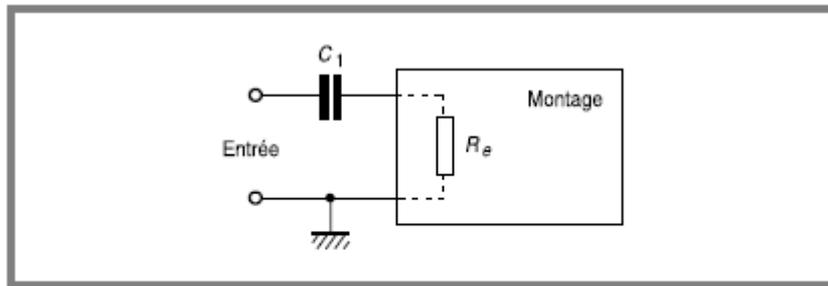
La variation de l'impédance d'un condensateur avec la fréquence est exploitée dans les filtres. Ces circuits permettent d'éliminer certaines composantes d'un signal et d'en conserver d'autres (celles qui appartiennent à la bande passante du filtre). Le condensateur laisse facilement passer les composantes de hautes fréquences (son impédance est alors faible) mais s'oppose au passage des composantes de basses fréquences (son impédance est alors élevée). Ainsi, suivant le branchement du ou des condensateurs, on peut favoriser les fréquences basses, moyennes ou hautes et réaliser un filtre passe-bas, passe-bande ou passe-haut. Par exemple, on sépare les aigus (fréquences élevées) et les graves (fréquences basses) à la sortie d'un amplificateur audio (*figure 2.22*). *Les bobines viennent renforcer l'effet des condensateurs.*



**Figure 2.22 - Séparation des graves et des aigus par un filtre passe-haut et un filtre passe-bas.**

## • **Condensateur de liaison**

Un autre emploi très fréquent pour le condensateur est le circuit de liaison. Toutefois, pour que la liaison soit correcte, il faut que le condensateur laisse passer le signal utile. Pour que l'on puisse considérer que le résultat est correct, il suffit que l'impédance du condensateur soit faible devant la résistance d'entrée de l'amplificateur, c'est-à-dire la résistance qui est vue par le signal variable entre les bornes d'entrée après le condensateur. En effet, le circuit se ramène à un diviseur d'impédances (*figure 2.23*).



**Figure 2.23 - Condensateur de liaison à l'entrée d'un circuit.**

La chute de tension dans  $C_1$  est négligeable si :

$$\frac{1}{2\pi f C_1} \ll R_e$$

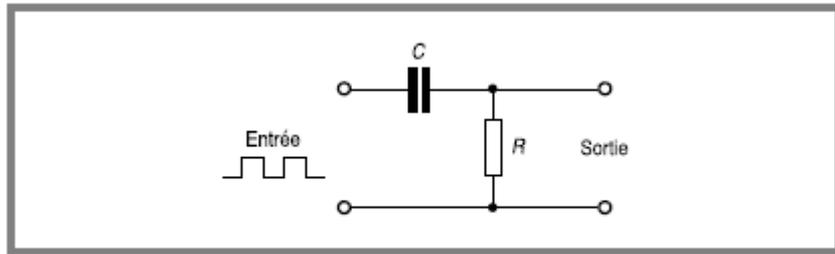
On en déduit une valeur minimale pour  $C_1$ . On choisit souvent un coefficient de 10 en prenant :

$$\frac{1}{2\pi f C_{1min}} = \frac{R_e}{10}$$

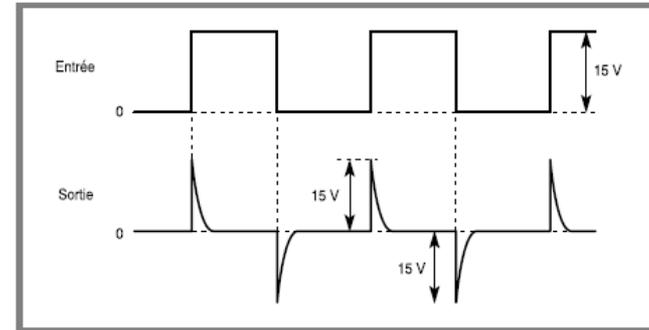
et donc :

$$C_{1min} = \frac{10}{2\pi f R_e}$$

- Condensateur dans 1
- On utilise aussi des condensateurs pour créer des impulsions à partir d'une tension carrée : c'est le montage dérivateur



**Figure 2.24 - Montage dérivateur permettant de générer des impulsions à partir d'un signal carré.**

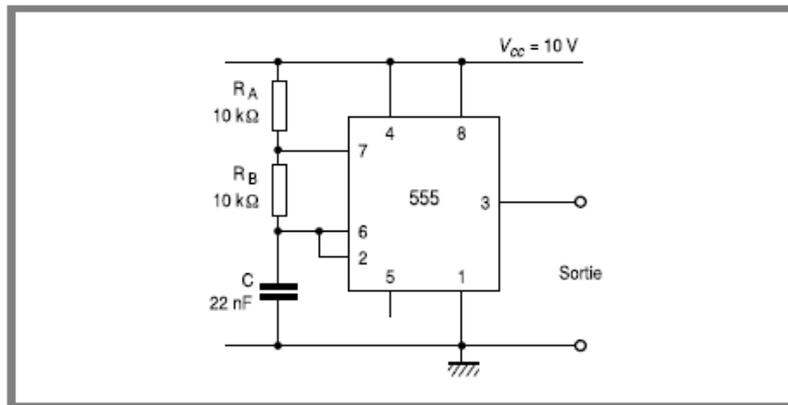


**Figure 2.25 - Impulsions en sortie du dérivateur.**

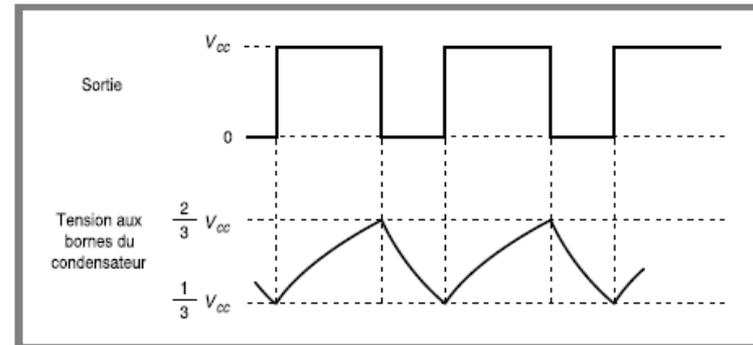
- Lors d'un front montant appliqué à l'entrée, le condensateur transmet la discontinuité à la sortie car il ne peut pas se charger instantanément. Ensuite, la résistance étant soumise à une différence de potentiel, il circule un courant qui charge le condensateur. Si la constante de temps  $RC$  est faible, la phase de charge est brève et on peut considérer que le signal apparu en sortie est une impulsion. Le fonctionnement est similaire aux fronts descendants (figure 2.25)

- un condensateur et une ou plusieurs résistances. Un montage très classique est le générateur de signaux carrés (ou circuit astable) réalisé avec un temporisateur intégré 555 (figure 2.26).
- Le condensateur se charge et se décharge périodiquement. Les charges se font à travers  $R_A$  et  $R_B$  tandis que les décharges se font à travers  $R_B$  et le circuit intégré. Ce dernier effectue des commutations lorsque la tension aux bornes du condensateur atteint  $V_{CC} / 3$  ou  $2V_{CC} / 3$  (figure 2.27).
- La fréquence des signaux correspond à la formule :

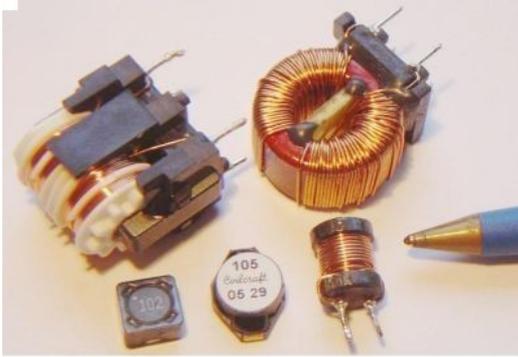
$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C}$$



**Figure 2.26 - Générateur de signaux carrés à circuit intégré 555 (les numéros correspondent au boîtier DIL 8 broches).**

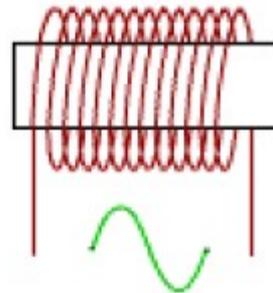


**Figure 2.27 - Évolution des tensions dans le générateur de signaux carrés**



astuces-pratiques.fr ©

# Chapitre 3: *Les Selfs- Inductances*



## • **Présentation d'une Bobine d'inductance**

La bobine d'inductance est un composant de base de l'électronique et de l'électrotechnique, elle est constituée d'un enroulement, d'un fil conducteur, formant plusieurs spires. Elle peut entourer un circuit magnétique, dans ce cas les propriétés magnétiques sont multipliées.

Une bobine traversée par un courant produit un champ magnétique, elle se comporte, avec son circuit magnétique éventuel, alors comme un aimant.

L'étude de la bobine trouvera ses applications dans les domaines  
**de l'électrotechnique :**

- Le filtrage pour la réalisation de convertisseurs
- Le relais et le contacteur
- Le moteur pas à pas
- Le transformateur d'alimentation
- Le principe du hacheur

**De l'électronique**

- Le transformateur d'impulsion
- Le filtrage par exemple pour les haut-parleurs
- Les circuits oscillants



Les composants inductifs sont souvent mal connus et peu appréciés par les électroniciens. En effet, en basse fréquence, les bobinages sont lourds et encombrants et on ne les utilise que lorsque c'est vraiment nécessaire. Par contre, en haute fréquence, les bobines sont de petite taille et leur emploi est plus intéressant.

## 1. Principe et propriétés

### • Inductance

- Une bobine est formée d'un fil enroulé soit dans l'air, soit sur un noyau

L'inductance est causé par le champ magnétique généré par le courant électrique

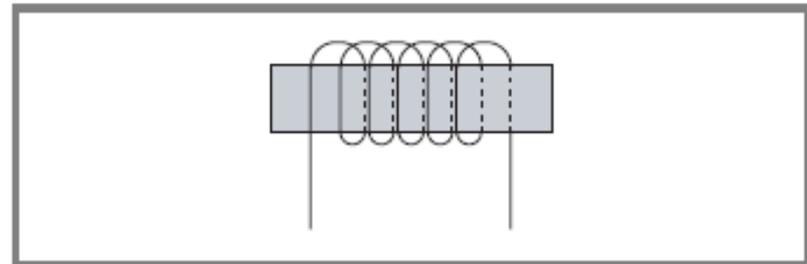


Figure 3.1 - Bobine enroulée sur un noyau ferromagnétique.

Un conducteur parcouru par un courant crée un champ magnétique (comme un aimant). La présence d'un noyau ayant des propriétés ferromagnétiques augmente considérablement le champ magnétique obtenu. Si une bobine de  $N$  spires de section  $S$  est soumise à un champ magnétique  $m$ , on appelle flux la quantité :

$$\Phi = NBS$$

- Le flux  $\Phi$  s'exprime en webers (symbole Wb). Si le champ magnétique a été créé par l'enroulement lui-même, on parle de flux propre. Tant que le courant  $I$  n'est pas trop élevé, le flux  $\Phi$  est proportionnel au courant qui l'a engendré

$$\Phi = LI$$

Le coefficient  $L$  est l'inductance (ou auto-inductance) de la bobine. La traduction anglaise est *self-inductance*, ce qui explique que l'on parle souvent dans le langage courant de *self* pour désigner une bobine. L'unité d'inductance est le henry (symbole H), du nom du physicien américain J. Henry connu pour ses études sur le phénomène d'auto-induction. On utilise les sous-multiples : le millihenry (mH) et le microhenry ( $\mu$ H).

- Inductance découverte par Olivier Heaviside
- Abbréviation "L" en l'honneur de Heinrich Lenz.
- Unité en l'honneur de Joseph Henry: henry (H)



Olivier Heaviside

- Une bobine aura une inductance d'autant plus grande que le nombre de spires est important.
- Elle dépend aussi de la qualité du circuit magnétique que constitue le noyau.

### Énergie emmagasinée:

Une bobine emmagasine de l'énergie sous forme électromagnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant. On utilise dans certains cas les échanges d'énergie entre bobines et condensateurs (circuit oscillant  $LC$ ). Une bobine idéale n'aurait aucune perte d'énergie, mais en réalité, le conducteur employé pour l'enroulement a aussi une certaine résistance qui entraîne des pertes par effet Joule. L'effet de cette résistance est négligeable devant celui de l'inductance.

- Puissance et énergie dans une inductance

Puissance :

$$p = vi \quad \longrightarrow \quad p = Li \frac{di}{dt}$$

Énergie :

$$w = \int p dt$$

$$w = \int Li \frac{di}{dt} dt = L \int i di = \frac{Li^2}{2}$$

- La relation entre le voltage et le courant

$$v = L \frac{di}{dt}$$

# • Symboles:

Une bobine peut être représentée par son symbole normalisé (figure 3.2), mais on rencontre aussi d'autres symboles (figure 3.3).

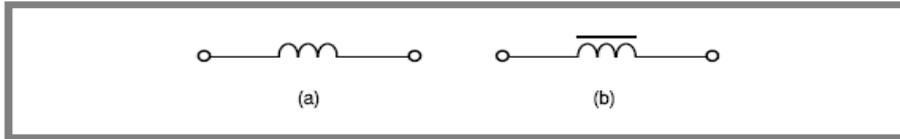


Figure 3.2 – Symboles normalisés pour une bobine (la représentation (b) est employée s'il y a un noyau ferromagnétique).

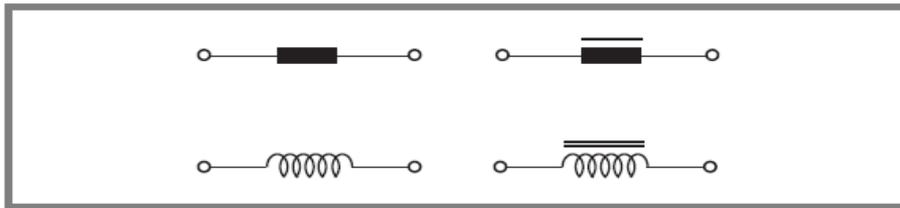


Figure 3.3 – Divers symboles rencontrés pour la représentation des bobines.

**Associations**  
On peut associer les bobines en série ou en parallèle, mais ces groupements sont très peu utilisés. Les lois d'association pour les inductances sont les mêmes que celles qui ont été citées pour les résistances.

## Combinaison série-parallèle

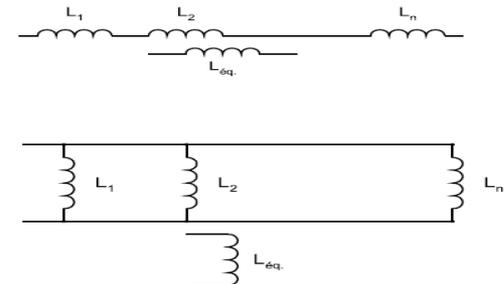
- Inductance

Série :

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

Parallèle :

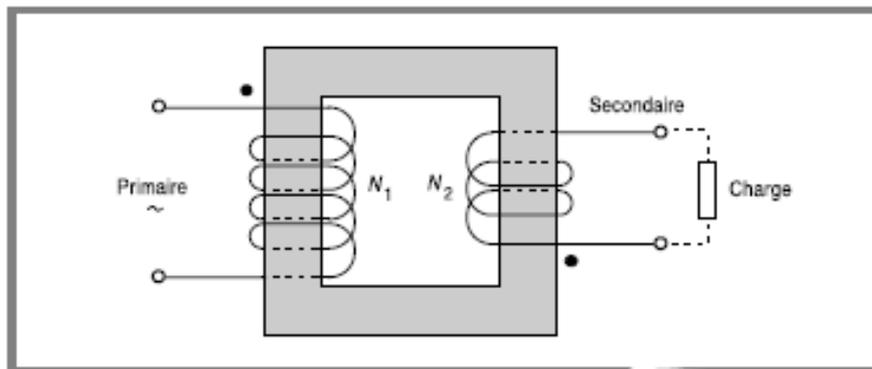
$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$



- **Transformateur**

Un transformateur est constitué de deux enroulements placés sur le même noyau magnétique fermé ( *figure 3.4* ).

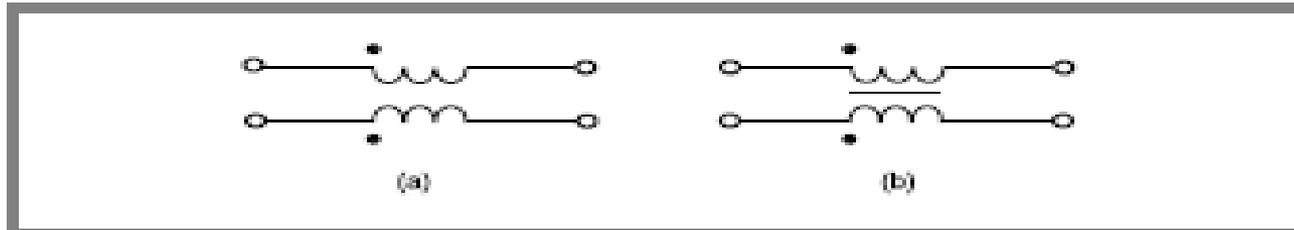
Il s'agit ici d'un schéma de principe, les réalisations sont un peu différentes. Quand on applique une tension variable sur l'un des enroulements (appelé primaire), un flux est créé. Du fait du noyau ferromagnétique, les lignes de flux sont obligées de se refermer (dans leur presque totalité) en passant dans le deuxième enroulement (appelé secondaire). Ce flux variable crée une force électromotrice induite dans ce bobinage, c'est-à-dire qu'il apparaît une tension entre ses bornes. Le rapport de la tension obtenue au secondaire et de la tension appliquée au primaire est constant, égal au rapport des nombres de spires des enroulements :



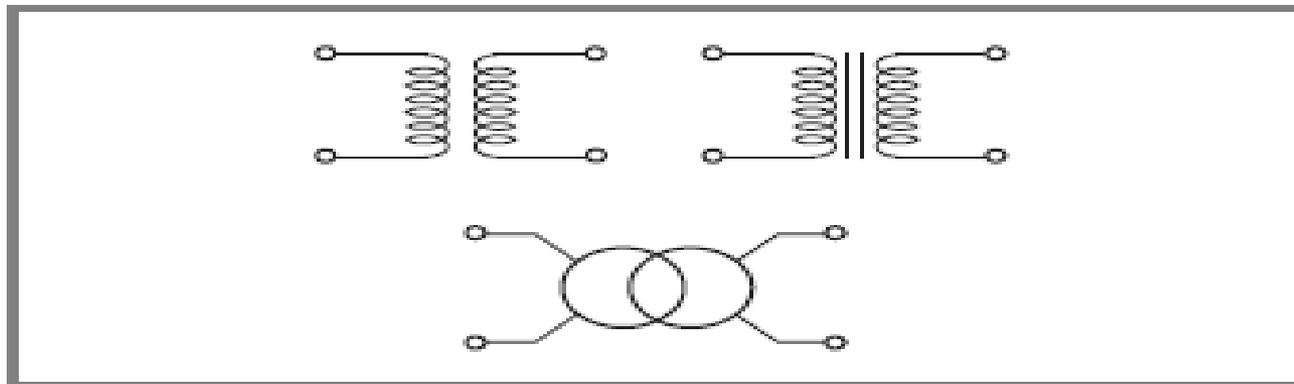
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$$

**Figure 3.4 – Principe d'un transformateur.**

Les transformateurs peuvent être représentés par leur symbole normalisé (figure 3.5) ou par d'autres symboles (figure 3.6).



**Figure 3.5 – Symboles normalisés pour un transformateur (la variante (b) indique la présence d'un noyau ferromagnétique).**



**Figure 3.6 – Divers symboles rencontrés pour la représentation des transformateurs.**

- **Établissement du courant dans une bobine**

- Si l'on applique une tension constante à une bobine, le courant augmente linéairement : 
$$I = \frac{U}{L} t$$

- Cette loi de variation n'est toutefois valable que tant que la bobine n'est pas saturée. Les variations du courant  $I$  en fonction du temps  $t$  sont représentées par un segment de droite (figure 3.7)

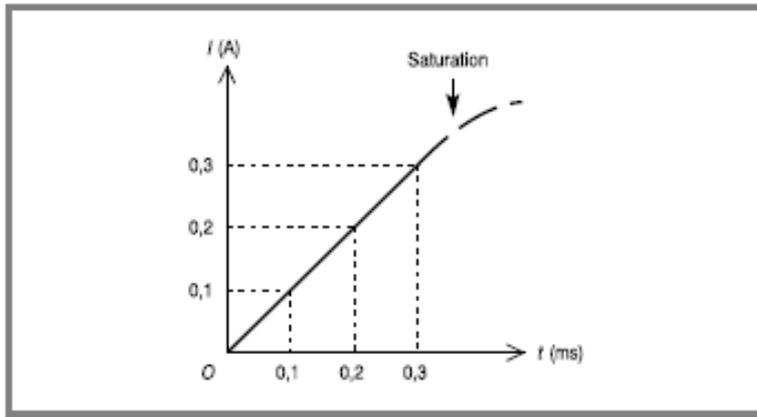


Figure 3.7 - Établissement du courant dans une bobine soumise à une tension constante.

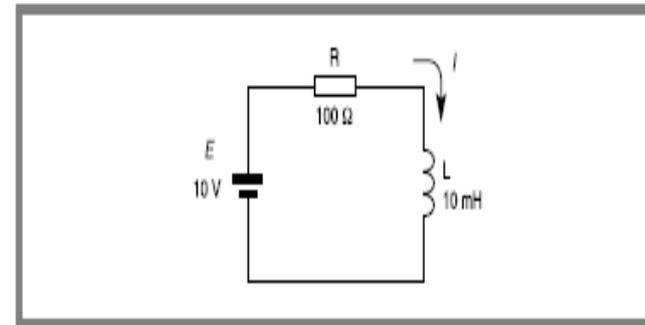


Figure 3.8 - Établissement du courant dans une bobine à travers une résistance.

On a choisi pour le tracé une inductance de 10 mH soumise à une tension de 10 V. Si le courant s'établit à travers une résistance  $R$  (figure 3.8); la courbe devient une exponentielle (figure 3.9).

identique à celle qui représente

La constante de temps est dans ce cas :

$$\tau = \frac{L}{R}$$

- Au bout de quelques constantes de temps, le courant est stabilisé à sa valeur de repos :

$$I_0 = \frac{E}{R}$$

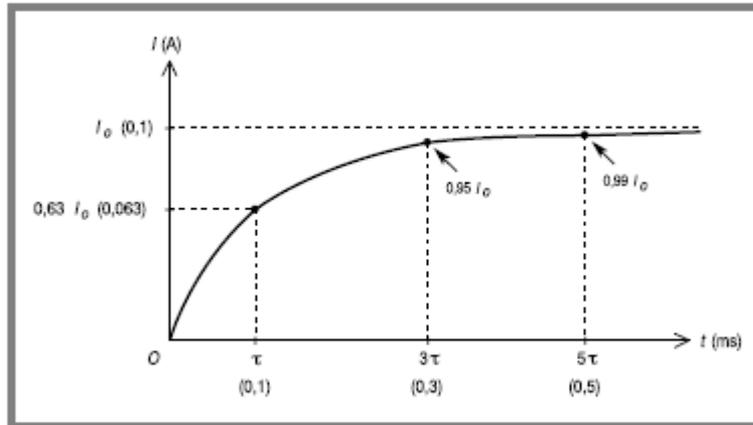


Figure 3.9 - Évolution du courant dans la bobine.

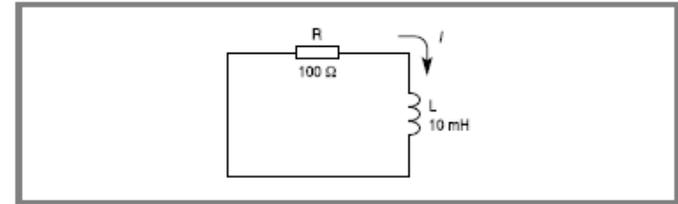


Figure 3.10 - Circuit pour l'extinction du courant dans la bobine.

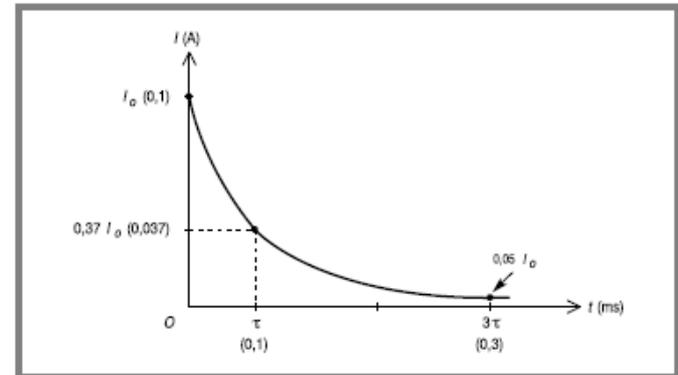


Figure 3.11 - Évolution du courant lors de son extinction.

- Les phénomènes sont similaires lors de l'extinction du courant (figures 3.10 et 3.11). Il ne faut pas ouvrir le circuit contenant la bobine : le courant ne pouvant s'annuler brusquement à cause de l'énergie emmagasinée dans la bobine, il se produirait un arc électrique entre les contacts ouverts.

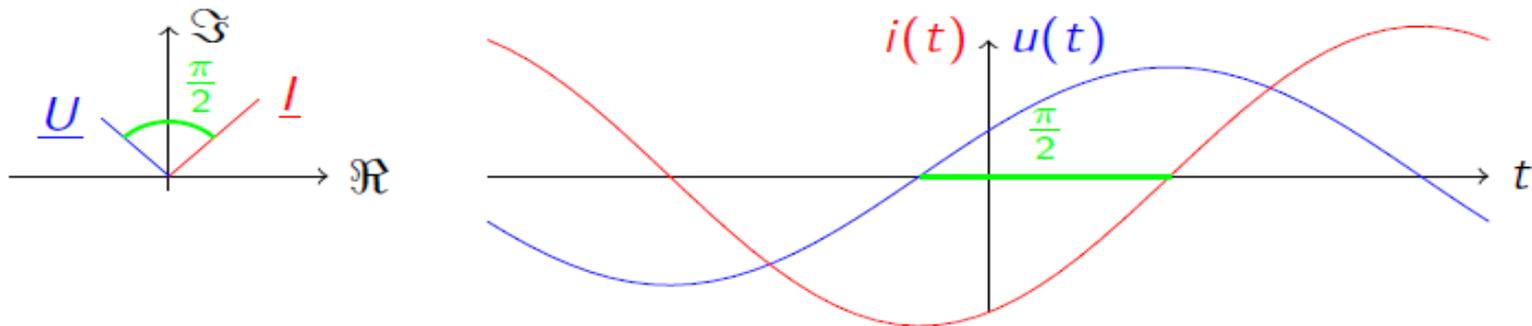
## **Bobine en alternatifif**

- Pour une bobine idéale (résistance négligeable), la tension et le courant sont en quadrature, mais, contrairement à ce qui se passe à ce qui se passe pour un condensateur, c'est le courant qui est en retard sur la tension:

Puisque  $u = L \frac{di}{dt}$ , l'impédance de la bobine peut être calculée ainsi :

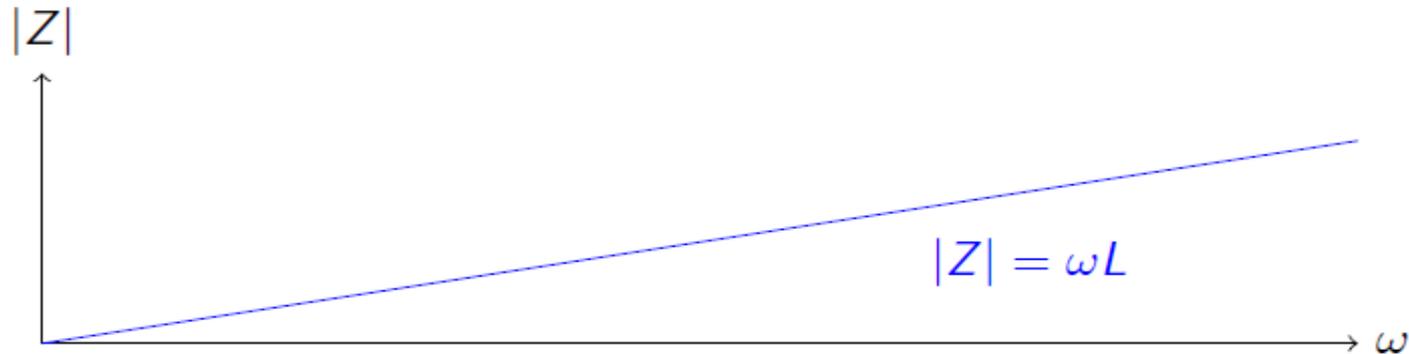
$$Z = \frac{U}{I} = \frac{L}{I} \cdot \frac{dI}{dt} = \frac{L}{I} \cdot j\omega I = j\omega L$$

Géométriquement, multiplier un nombre complexe par  $j$  revient à faire tourner le vecteur d'un angle  $\frac{\pi}{2}$ .



Dans une bobine, la tension est donc déphasée de  $+\frac{\pi}{2}$  par rapport à l'intensité.

# • **Variation de la bobine en fréquence**



On remarque qu'à haute fréquence ( $\omega \rightarrow \infty$ ), l'impédance de la bobine tend vers  $\infty$  : la bobine se comporte alors comme un circuit ouvert.

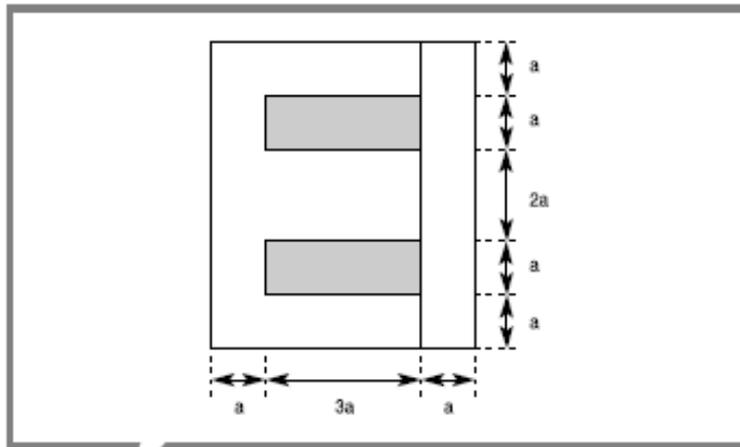
Inversement, à basse fréquence ( $\omega \rightarrow 0$ ), l'inductance de la bobine tend vers 0 : celle-ci se comporte comme un court-circuit.

Pour ces raisons, les bobines peuvent être utilisés pour fabriquer des *filtres passe-haut*

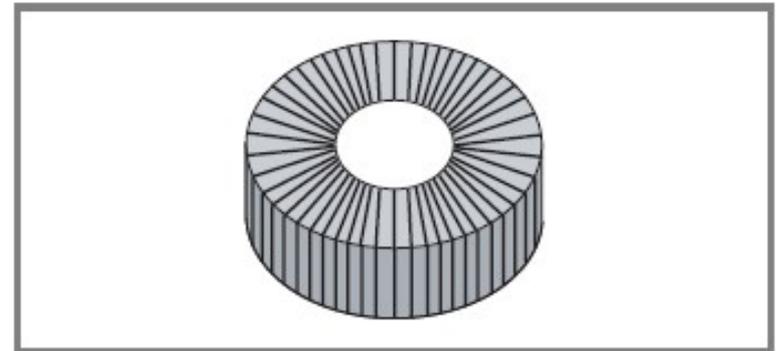
- **Caractéristiques technologiques:**

- **Bobines à noyau de fer:**

- On trouve principalement dans cette catégorie les transformateurs
- d'alimentation fonctionnant sur le secteur 50 Hz. Le noyau magnétique est indispensable. Il est réalisé en tôles de fer additionné de silicium. Le noyau est feuilleté pour limiter les courants de Foucault et diminuer ainsi les pertes correspondantes. On emploie en général une découpe des tôles en EI (*figure*). On trouve aussi parfois des transformateurs toriques (*figure*), qui ont de bonnes performances et en particulier ne rayonnent pas. Leur prix est cependant plus élevé.



- Découpage des tôles en EI.



- Transformateur torique.

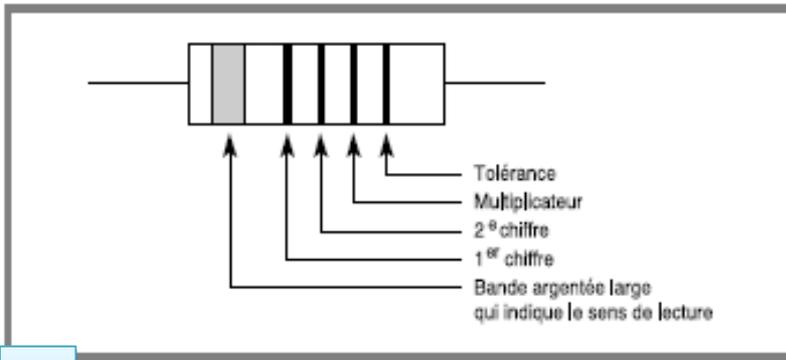
- **Bobines à noyau de ferrite:**

Les noyaux de fer ne peuvent être utilisés que pour des fréquences limitées à quelques centaines de hertz. Au-delà, les pertes ferromagnétiques deviennent trop importantes. Aux fréquences moyennes ou hautes, on utilise des bobines et des transformateurs à noyau de ferrite. Dans cette catégorie de matériaux, on trouve de nombreux types différents destinés à des domaines divers. La plage des fréquences utilisables est une caractéristique essentielle des ferrites : elle peut être située entre 1 kHz et 100 kHz pour certaines références, mais s'étend de 100 MHz à 1 GHz pour d'autres.

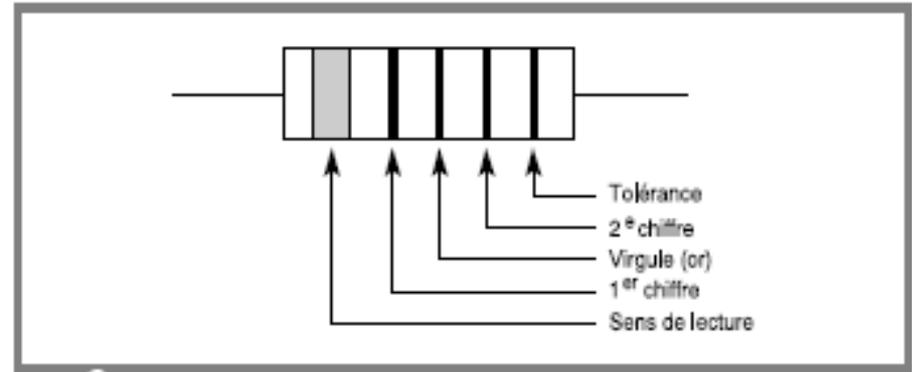
• Le deuxième paramètre important est l'inductance spécifique  $A_L$ . L'inductance  $L$  d'un bobinage est proportionnelle au carré du nombre de spires  $N$ .  $A_L$  est le coefficient de proportionna

$$L = A_L N^2$$

De nombreuses présentations différentes existent pour les bobinages sur ferrites. Pour les faibles courants (fil fin), on a souvent recours à un « pot » formé de deux coupelles maintenues par un étrier. L'enroulement est bobiné sur un petit support plastique placé à l'intérieur des coupelles. Pour des courants plus élevés, on choisit des noyaux du genre EI ou des tores. On rencontre aussi des bobines miniatures de forme et de dimensions comparables à celles d'une résistance. On dispose d'inductances pouvant aller de 0,1  $\mu\text{H}$  à 10 mH. Certains modèles sont marqués en clair, d'autres suivant un code des couleurs .



- Marquage d'une bobine miniature par le code des couleurs.



- Cas particulier des inductances inférieures à 10 µH.

Tableau 3.1 - Signification du code des couleurs pour le marquage des bobines miniatures.

Couleur	1 <sup>er</sup> anneau 1 <sup>er</sup> chiffre	2 <sup>e</sup> anneau 2 <sup>e</sup> chiffre	3 <sup>e</sup> anneau multiplicateur	4 <sup>e</sup> anneau tolérance
Noir		0	$\times 1 \mu\text{H}$	
Marron	1	1	$\times 10 \mu\text{H}$	
Rouge	2	2	$\times 100 \mu\text{H}$	
Orange	3	3	$\times 1 \text{mH}$	
Jaune	4	4		
Vert	5	5		
Bleu	6	6		
Violet	7	7		
Gris	8	8		
Blanc	9	9		
Rien				20 %
Argent				10 %
Or				5 %

Un cas particulier apparaît lorsque l'inductance est inférieure à 10 µH : il n'y a pas de bande de multiplicateur, mais la virgule décimale est indiquée par un anneau de couleur or (*figure*).

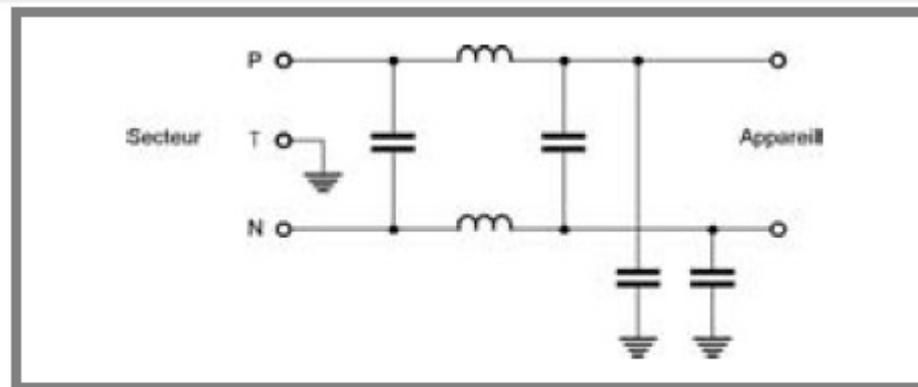
## • ***Bobines à air***

En hautes fréquences, on emploie des bobines à air. L'inductance obtenue est faible, mais son effet est suffisant pour des signaux dans les dizaines ou centaines de mégahertz. L'absence de noyau ferromagnétique évite les problèmes de saturation. Ce type de bobine a aussi l'avantage d'être léger et peu encombrant. Il arrive que l'on utilise aussi des bobines à air pour des fréquences peu élevées afin d'éviter les problèmes de non-linéarités liés aux matériaux magnétiques, mais il faut un nombre important de spires pour obtenir les inductances nécessaires.

## ***Domaines d'utilisation:***

Aux basses fréquences, on trouve peu de bobinages, leur encombrement et leur poids les rendant d'usage difficile. l'on ne peut guère s'en passer est l'alimentation secteur classique. En effet, un isolement entre le secteur et le montage électronique est pratiquement toujours nécessaire, ne serait-ce que pour d'évidentes raisons de sécurité.

- On rencontre quelques bobinages dans les filtres passifs comme ceux qui ont été décrits au chapitre précédent. Les bobines renforcent l'effet de filtrage déjà obtenu par les condensateurs : quand la fréquence augmente, l'impédance des bobines croît tandis que celle des condensateurs diminue. Aux basses fréquences, on préfère les filtres actifs qui associent des résistances, des condensateurs et des ils permettent d'obtenir de bonnes caractéristiques sans bobinage encombrant.



**Figure 3.18 - Filtre secteur antiparasite.**

- Dans le domaine des fréquences plus élevées, les bobines sont beaucoup moins encombrantes et leur usage ne pose aucun problème. On utilise donc systématiquement des cellules de filtres *LC* (bobine et condensateur) que l'on peut associer dans différentes configurations.

Aux fréquences élevées, on associe souvent une bobine et un condensateur pour former un circuit accordé (appelé aussi circuit résonnant ou circuit oscillant). Ce circuit a la particularité d'un filtre sélectif. On l'utilise par exemple dans les amplificateurs en classe C.

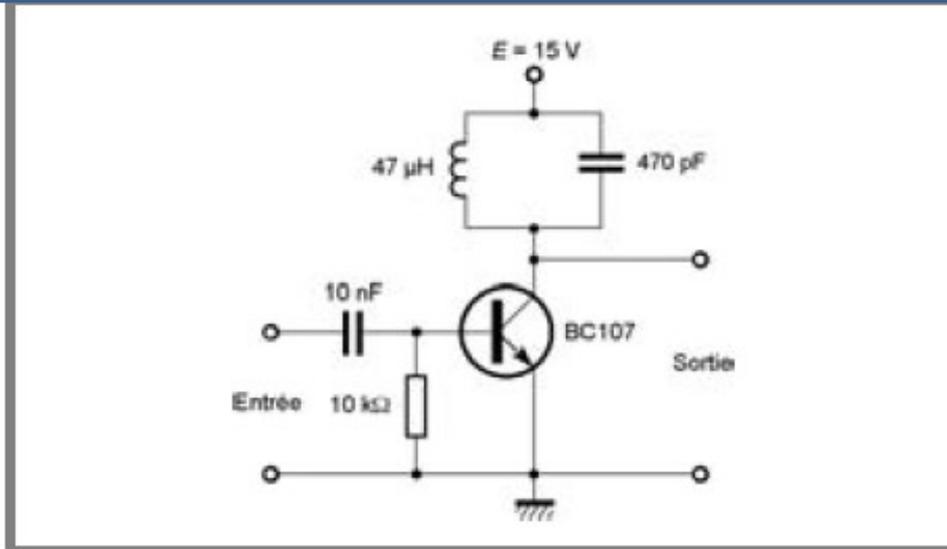


Figure 3.20 - Amplificateur sélectif en classe C.

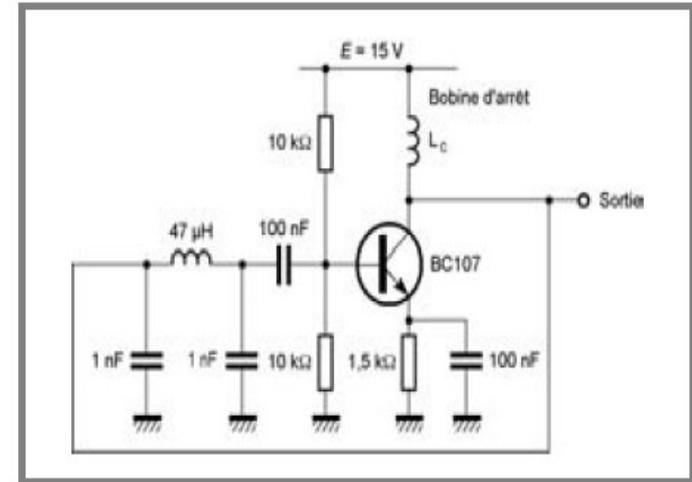
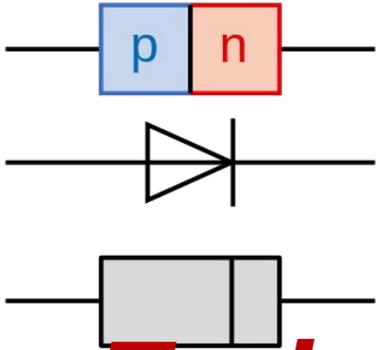


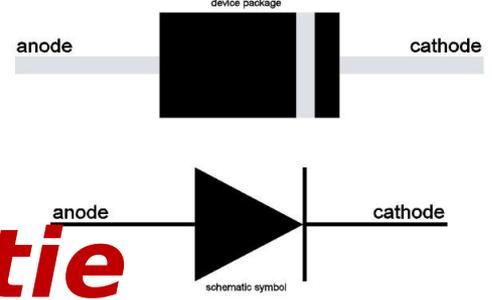
Figure 3.21 - Oscillateur Colpitts avec polarisation du collecteur par une bobine d'arrêt.

Les bobines sont aussi utilisées en hautes fréquences pour la polarisation des transistors. Ce sont les bobines d'arrêt (appelées selfs de choc dans le jargon électronique). Par exemple, on peut utiliser cette solution dans un oscillateur *LC* du type Colpitts

Anode



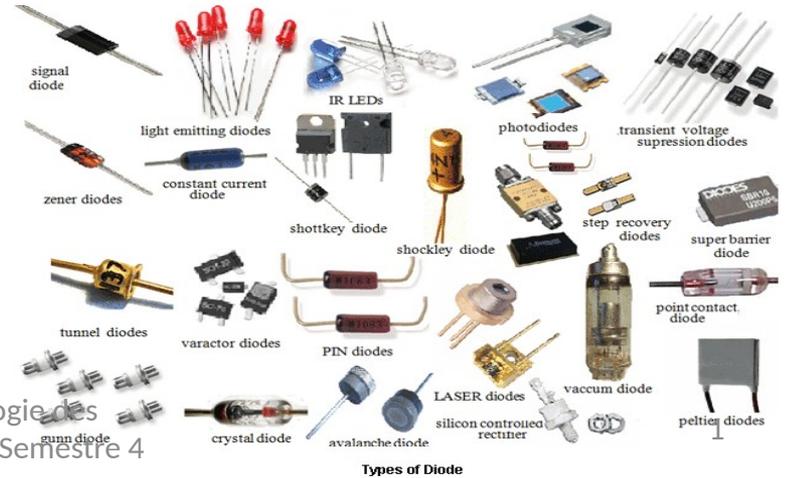
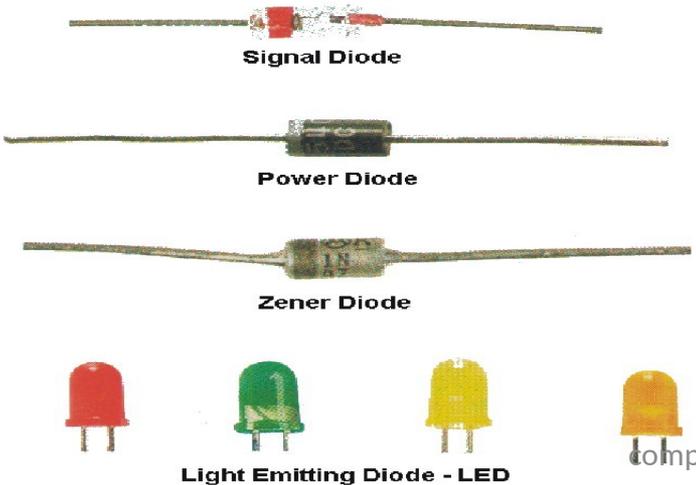
Cathode



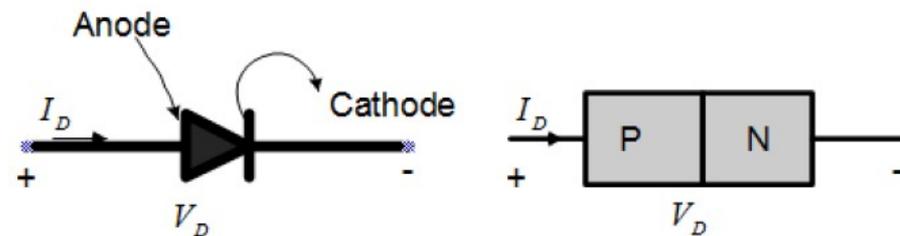
# Deuxième partie

# Technologie des composants actives

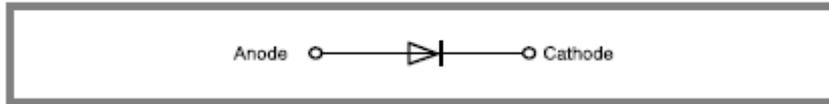
# Chapitre 4: Les Diodes



- La diode est le composant à semi-conducteur le plus simple. Son usage est répandu aussi bien en électronique de signal qu'en électronique de puissance.
- **1. Principes et propriétés**
- **Constitution**
- Une diode est un dipôle passif et non-linéaire. Passif parce que ce composant ne peut jamais fournir d'énergie au circuit et non linéaire parce que la tension à ses bornes n'est pas proportionnelle au courant. Pour former une diode, on utilise un matériau semi-conducteur (le silicium en général) sur lequel on crée une jonction en dopant différemment deux zones, c'est-à-dire en ajoutant des impuretés qui modifient le comportement électrique de la substance. On crée ainsi une zone P et une zone N (*figure 1*). cause des propriétés particulières des semi-conducteurs, la circulation
- du courant à travers la jonction ne peut s'effectuer que dans le sens P N.



*Fig.1 : Constitution et symbole d'une diode à jonction PN.*

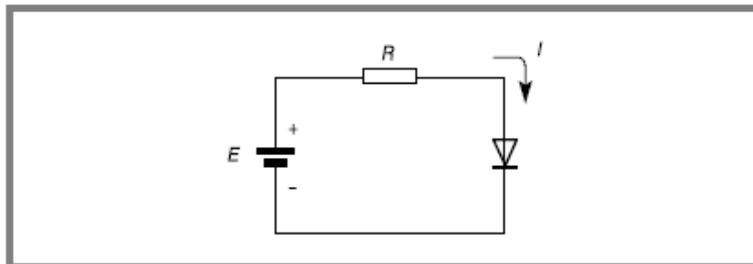


**Figure 4.2 - Symbole normalisé d'une diode.**

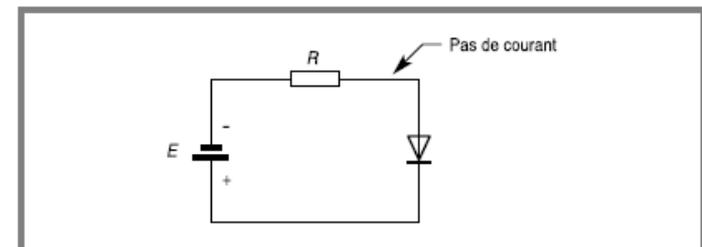


**Figure 4.3 - Autres formes rencontrées pour le symbole d'une diode.**

En simplifiant, on peut dire qu'une diode laisse passer le courant lorsqu'elle est branchée en polarisation directe (tension positive sur l'anode) et qu'elle bloque le passage du courant lorsque la polarisation est inverse (tension positive sur la cathode). Dans le premier cas (*figure 4.4*), on dit que la diode est passante ou conductrice et dans le second cas (*figure 4.5*), on dit que la diode est bloquée.



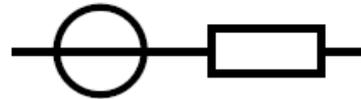
**Figure 4.4 - Diode polarisée en direct.**



**Figure 4.5 - Diode polarisée en inverse.**

- Si l'on regarde d'un peu plus près, on constate qu'il faut en fait un minimum de tension directe pour rendre la diode conductrice : c'est le seuil de la jonction. Pour une diode au silicium, ce seuil est de l'ordre de 0,6 V. Tant que la diode reste passante, la tension à ses bornes garde une valeur voisine de 0,6 à 0,7 V.
- En polarisation inverse, on constate que si l'on dépasse une certaine valeur de tension, il apparaît également un courant : c'est le claquage de la jonction. Ce phénomène est dû soit à l'effet d'avalanche, soit à l'effet Zener. Le claquage n'est pas destructif à condition que le courant soit limité à une valeur raisonnable par une résistance.

en continu

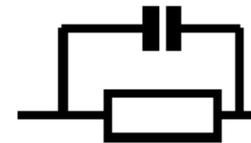
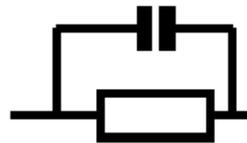


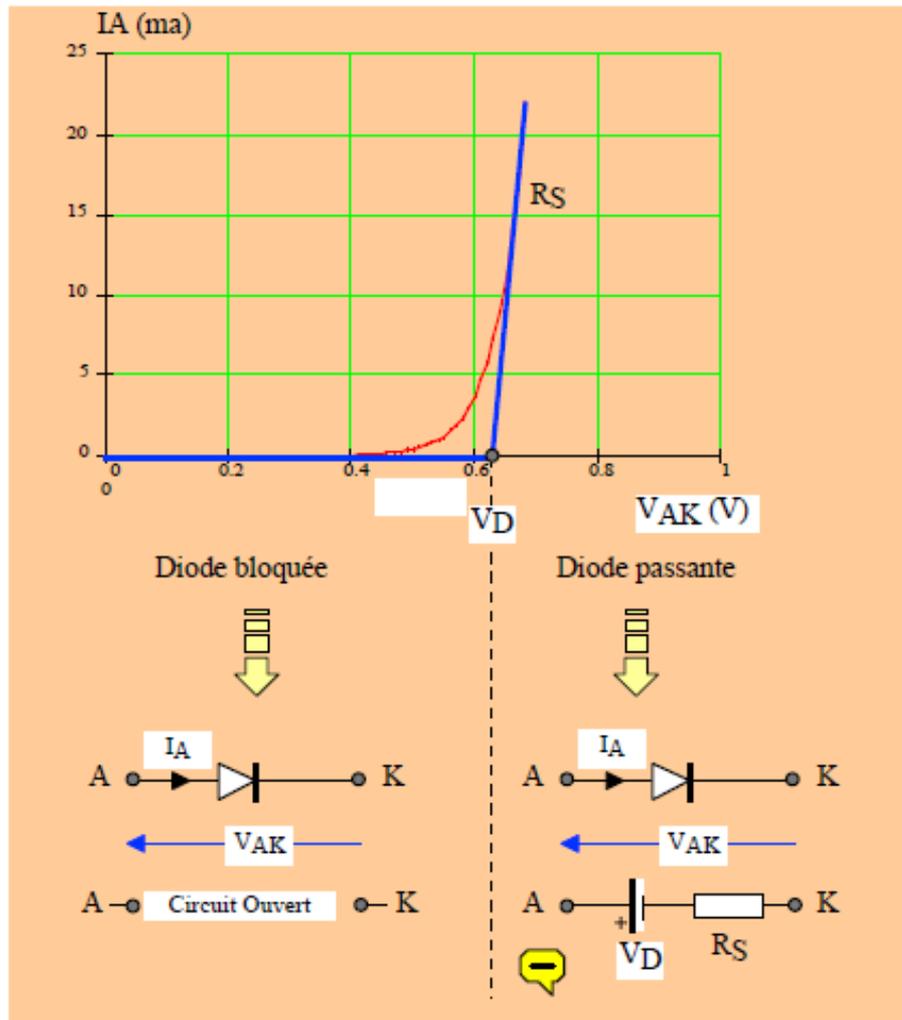
Diode passante



Diode bloquée

en petits signaux  
haute fréquence





# • 1. Diode Zener

- Lorsque la diode est utilisée dans la zone de claquage, elle conserve une tension constante à ses bornes, la valeur dépendant du composant choisi. Pour les diodes ordinaires, on cherche à rejeter ce phénomène
- le plus loin possible : la tension correspondante est souvent de plusieurs centaines de volts. Dans certains cas, on veut au contraire utiliser cette zone de claquage afin de maintenir une tension constante : on fait appel pour cela à des éléments particuliers, les diodes stabilisatrices de tension ou diodes Zener, pour lesquelles la tension de claquage est faible (quelques volts ou quelques dizaines de volts).
- On les représente par leur symbole normalisé (*figure 4.6*) ou par d'autres schémas (*figure 4.7*).

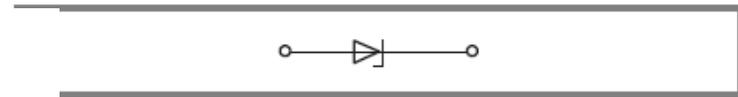
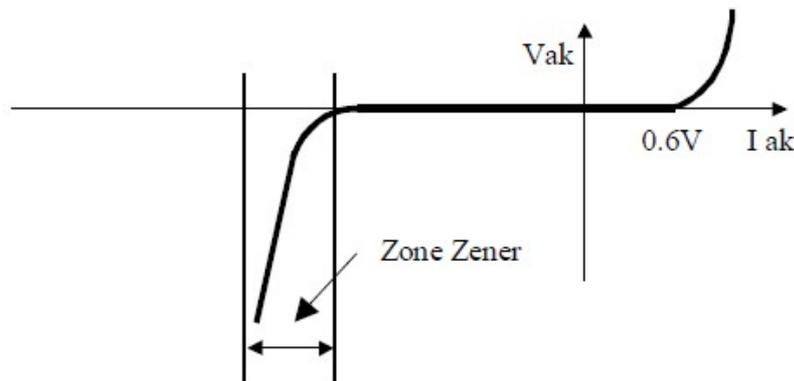


Figure 4.6 - Symbole normalisé d'une diode Zener.

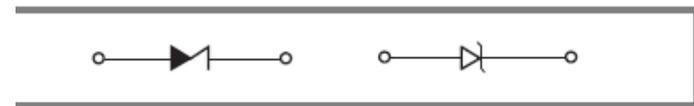
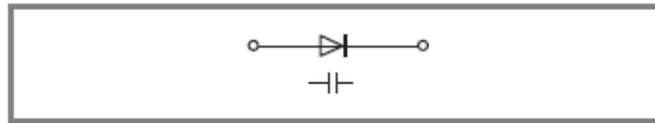


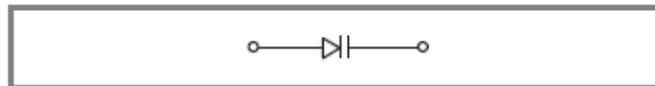
Figure 4.7 - Autres représentations utilisées pour les diodes Zener.

## • **2. Diode varicap**

- Une diode polarisée en inverse se comporte essentiellement comme une très grande résistance (pas de courant), mais également, en régime variable, comme un petit condensateur. En effet, la jonction présente une certaine capacité, de par son fonctionnement (cette valeur est bien supérieure à une capacité parasite entre électrodes).
- Ce qui est intéressant pour les applications, c'est que cette capacité interne de la diode varie avec la tension appliquée au composant. On peut ainsi obtenir des condensateurs variables commandés par une tension. Toutefois, les capacités restent faibles (quelques dizaines de picofarads). Des diodes sont spécialement prévues pour cet usage : les diodes à capacité variable, souvent nommées varicap. On les représente par leur symbole normalisé (*figure 4.8*) ou par un autre schéma (*figure 4.9*).



*Figure 4.8 - Symbole normalisé d'une diode à capacité variable.*

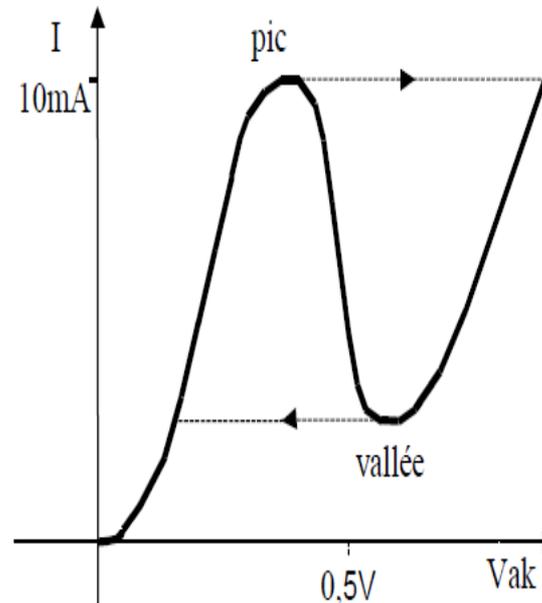


*Figure 4.9 - Autre représentation rencontrée pour une diode à capacité variable.*

### • **3. Diode Tunnel**

Le taux d'impuretés est particulièrement élevé ( $10^{-3}$ ) dans les semi-conducteurs utilisés, il en résulte une épaisseur de jonction très faible. Certains électrons ont alors assez de vitesse pour passer à travers la jonction, un courant peut circuler dans le sens passant alors que la barrière de potentiel est en place.

La courbe caractéristique présente un pic et une vallée séparés par une zone où l'intensité diminue quand la valeur de la différence de potentiels croît. Cette pente négative permet de réaliser des *oscillateurs haute fréquence*. La diode tunnel permet de réaliser aussi des commutateurs bistables extrêmement rapides: lorsque l'intensité de courant dépasse la valeur du pic, la différence de potentiels augmente brutalement pour changer de portion de courbe et inversement lorsque l'intensité passe au dessous de la valeur de la vallée.



## • 4. Diode Schottky

Il s'agit d'une jonction métal-silicium fortement dopé N. La différence de potentiels dans le sens passant est plus faible que celle de la jonction PN (0.2 à 0.4 volts) et le temps de recouvrement est très bref. Cette diode est placée entre la base et le collecteur d'un transistor pour accélérer la sortie de l'état saturé. Ainsi est réalisé le "transistor Schottky" utilisé dans les familles d'opérateurs logiques bipolaires.

## • 5. Photodiodes

- Le courant inverse d'une jonction n'est pas tout à fait nul : il existe un courant de fuite. Ce dernier augmente sensiblement lorsque l'on éclaire la jonction. Ce phénomène est exploité dans les photodiodes : ce sont simplement des diodes au silicium dont la jonction peut être éclairée. On les représente par leur symbole normalisé (figure 4.10). On polarise la photodiode en inverse (figure 4.11).

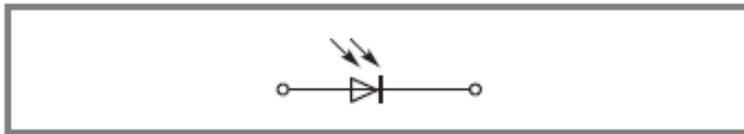


Figure 4.10 - Symbole normalisé d'une photodiode.

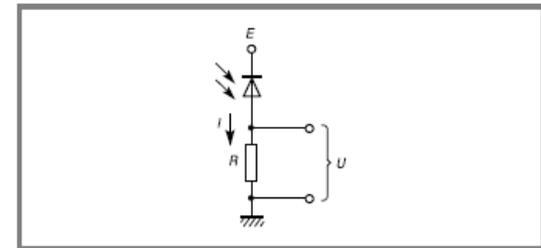
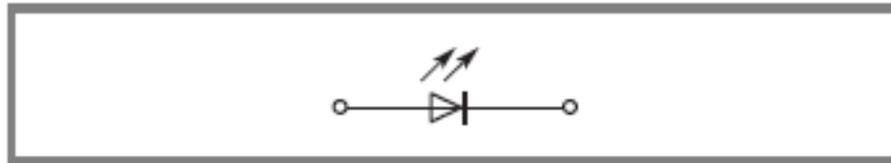


Figure 4.11 - Photodiode utilisée en capteur optique.

## • **6. Diode électroluminescente**

• L'effet inverse est obtenu avec les diodes électroluminescentes (LED, *light-emitting diode*). Ce sont des composants qui émettent de la lumière quand un courant les parcourt. Ils sont utilisés comme voyants lumineux. Ces diodes ne sont pas constituées de silicium, mais d'autres matériaux semi-conducteurs, composés de l'arséniure de gallium. De ce fait, la tension présente à leurs bornes lorsqu'elles sont conductrices n'est pas 0,6 V ; elle vaut de 1,6 V à 2,5 V suivant la couleur de la lumière émise. La chute de tension est d'autant plus élevée que la longueur d'onde est faible. On peut par exemple obtenir 1,6 V pour le rouge, 2,2 V pour le jaune et 2,3 V pour le vert (avec un courant de 10 mA). On les représente par leur symbole normalisé (*figure 4.12*).

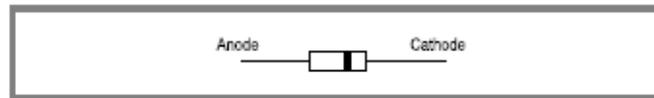


• **Figure 4.12 - Symbole normalisé d'une diode électroluminescente.**

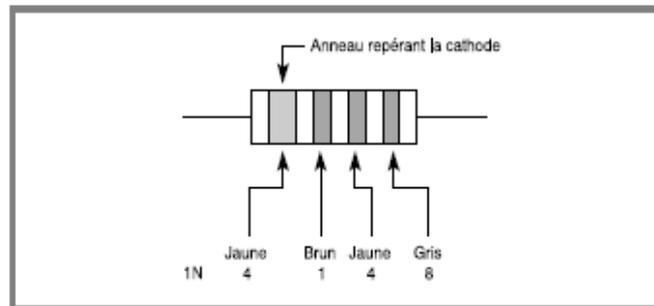
- **Caractéristiques technologiques**

- **Marquage**

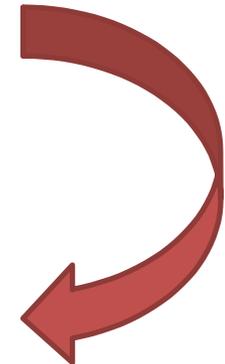
- Les petites diodes se présentent sous une forme voisine de celle des résistances. La cathode est indiquée par un trait sur le corps du composant (*figure 4.13*). Le marquage est souvent en clair, mais on peut parfois rencontrer des éléments marqués par un code des couleurs (*figure 4.14*).



*Figure 4.13 - Anneau permettant de repérer la cathode.*



*Figure 4.14 - Marquage d'une diode par le code des couleurs.*



- ***Ponts moulés***

- On utilise souvent pour les redresseurs des ponts moulés qui comprennent les quatre diodes d'un montage double alternance de Graetz.

- ***Limites de fonctionnement***

- Les principaux critères de choix d'une diode sont le courant maximal en direct, la tension maximale en inverse et la rapidité. Les ordres de grandeur de ces paramètres sont très variés : le courant maximal peut être de 100 mA pour une diode utilisée en électronique de signal, mais aussi de 100 A pour un composant faisant partie d'un convertisseur de puissance.
- Les présentations de ces éléments sont évidemment très différentes et les prix ne sont pas non plus du même ordre de grandeur. Nous nous limiterons ici à présenter les petites diodes qui apparaissent le plus souvent dans les réalisations électroniques. Malgré un nombre élevé de références, il n'y a en réalité que quelques catégories effectivement distinctes.

On rencontre essentiellement deux types de composants : les diodes de signal et les diodes de redressement

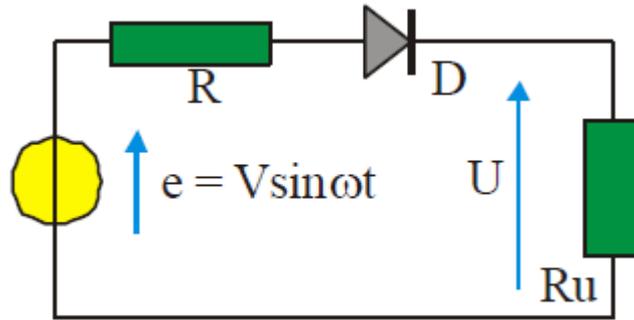
Les premières sont rapides, mais ne supportent que des courants faibles. Les secondes acceptent des intensités plus élevées, mais sont relativement lentes.

On peut citer la diode de signal la plus répandue et qui convient pratiquement toujours dans ce rôle : la diode 1N4148. Sa tension inverse est 75 V et son courant est 225 mA. Pour le redressement, on rencontre très fréquemment les diodes de la série 4000. Elles supportent 1 A et leur tension maximale dépend de la référence exacte

- **4.3 Domaines d'utilisation**

- La diode est très intéressante pour le redressement des signaux alternatifs.
- Cette fonction se rencontre surtout dans les alimentations continues, mais on l'utilise aussi pour détecter l'amplitude d'une tension (par exemple dans certains amplificateurs à commande automatique de gain). Le montage le plus simple n'utilise une seule diode (*figure 4.15*).
- Si l'on applique une tension sinusoïdale à l'entrée du circuit, on obtient en sortie les alternances positives (*figure 4.16*).

## •Redressement simple alternance



En effet, si l'on néglige le seuil de conduction de la diode devant l'amplitude du signal d'entrée, on constate que l'élément redresseur est polarisé en direct pendant une demi-période et polarisé en inverse pendant l'autre demi-période. Ce montage est appelé redresseur simple alternance.

•Si l'on applique une tension sinusoïdale à l'entrée du circuit, on obtient en sortie les alternances positives ( *figure 4.16*).

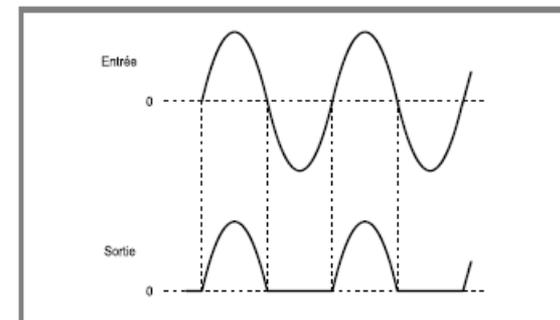
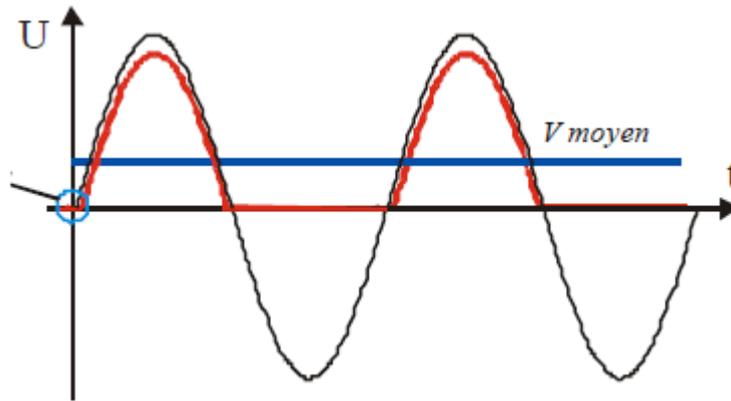


Figure 4.16 - Allure de la tension de sortie du redresseur simple alternance quand la tension d'entrée est sinusoïdale.

- **Simple alternance avec filtrage**

- Pour obtenir une tension sensiblement continue, on place un condensateur en parallèle sur la résistance (figure 4.17).

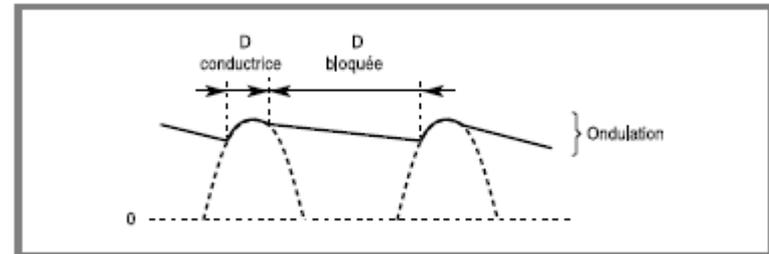
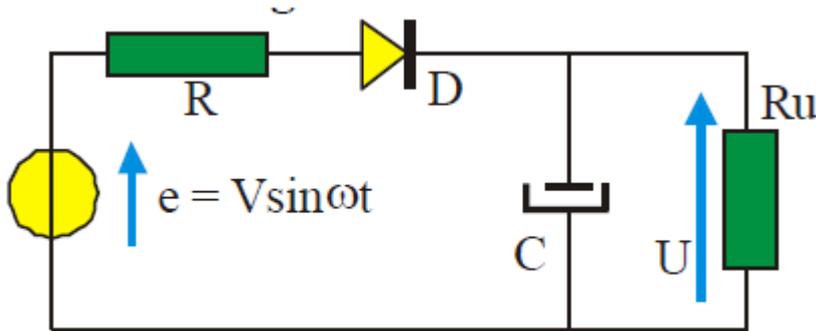
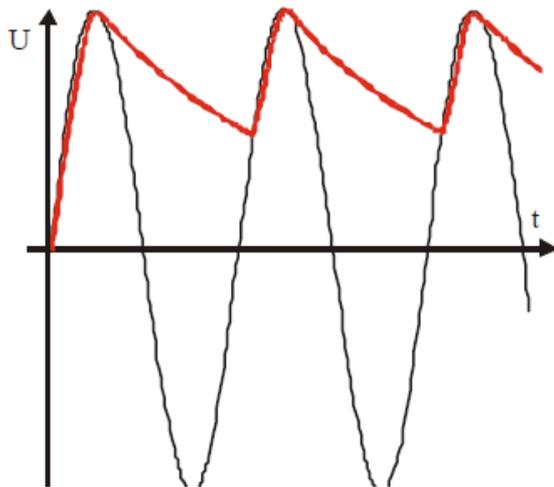
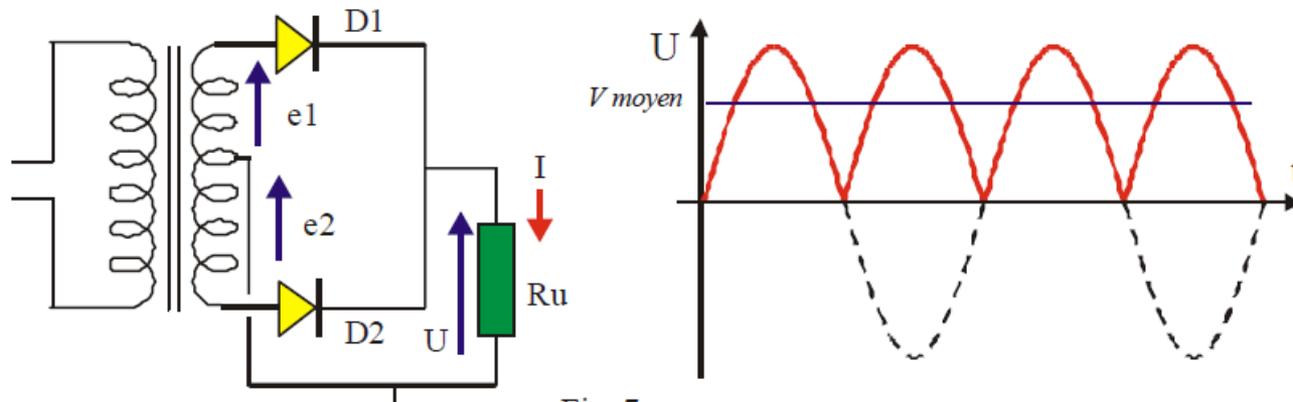


Figure 4.18 - Allure de la tension de sortie du redresseur avec condensateur de filtrage.



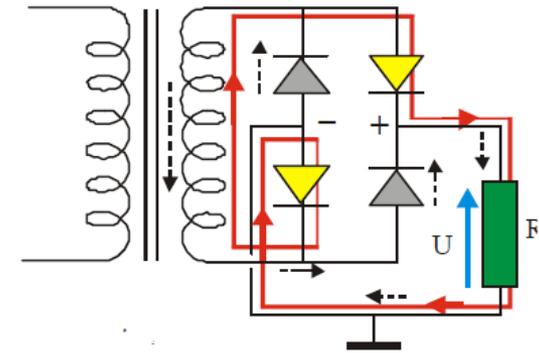
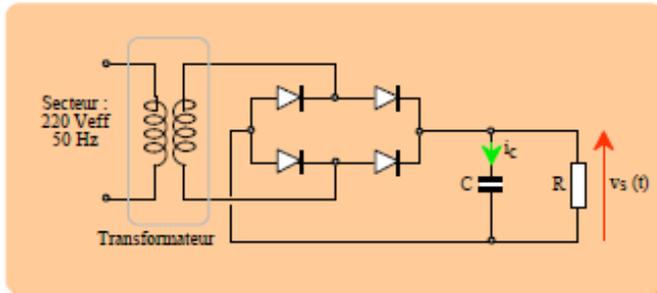
La diode n'est passante que pendant la durée nécessaire à la recharge du condensateur. Ce dernier assure l'alimentation de la résistance de charge lorsque la diode est bloquée

- **Redressement double alternance :**
- **Avec 2 diodes**

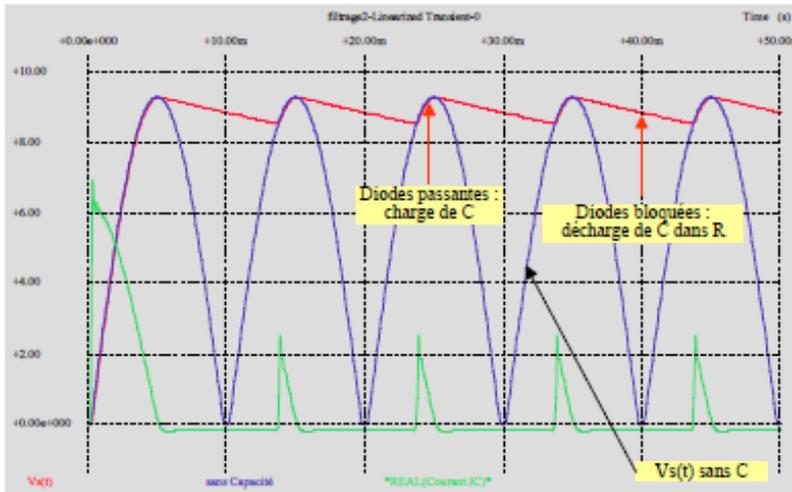


Montage nécessite que deux diodes mais impose l'utilisation d'un transformateur spécial à point milieu

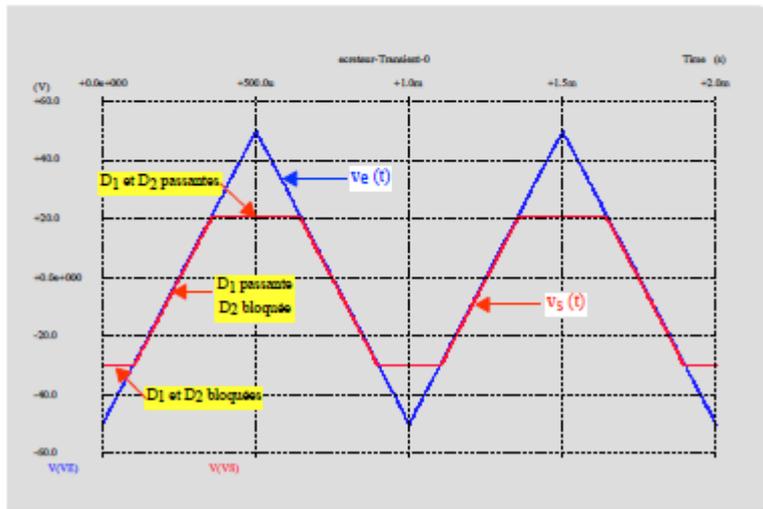
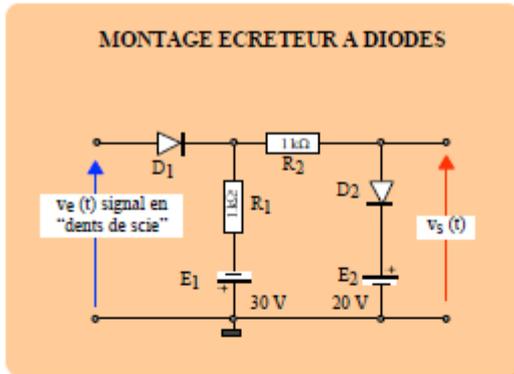
- **Redressement double alternance avec filtrage**
- *le pont de Graetz*



L'utilisation de 4 diodes permet l'emploi d'un transformateur conventionnel. Ce montage constitue le pont de Graetz. Il est commercialisé sous la forme d'un dispositif compact muni de 4 bornes. Pendant chaque alternance 2 diodes sont conductrices : la chute de tension dans le pont vaut 2 fois la tension seuil



• **Montage excréteur à diode :**



**Stabilisation par diode Zener**

Les diodes Zener servent surtout à la stabilisation des tensions. On peut ainsi réaliser des références de tension qui permettent d'obtenir une tension continue déterminée avec une bonne stabilité.

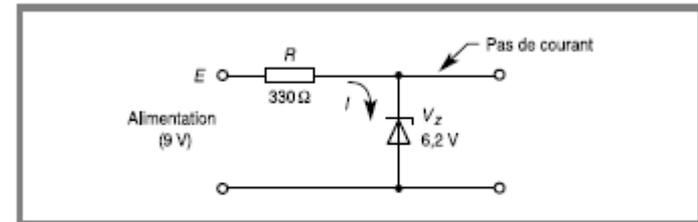


Figure 4.21 - Stabilisation de tension par diode Zener.

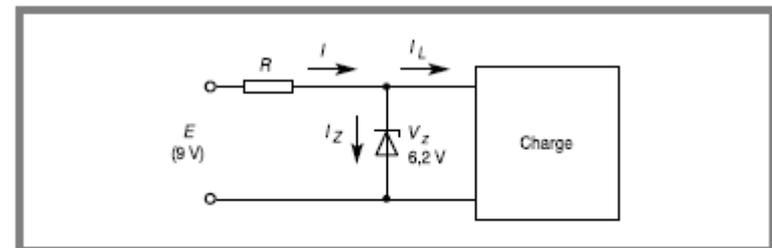
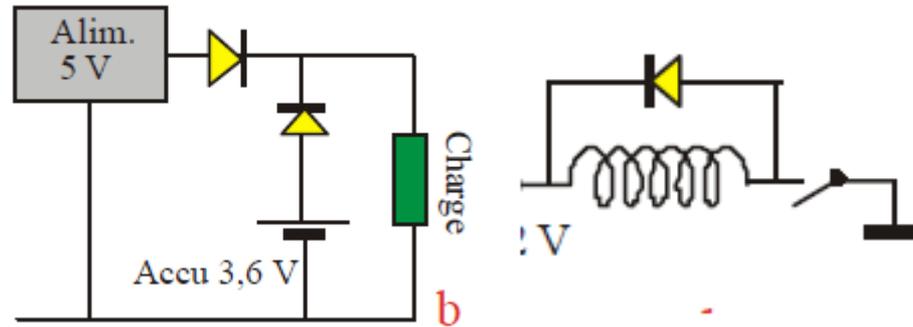
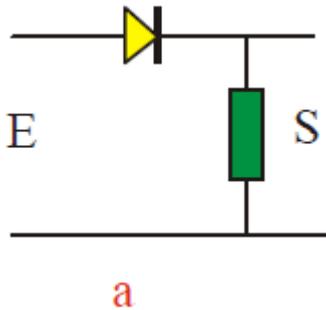


Figure 4.22 - Stabilisateur chargé.

# • Détection



## □ Porte logique (Fig. 11b)

En cas de coupure de l'alimentation principale, un accumulateur de sauvegarde prend automatiquement le relais et alimente la charge.

## □ Ecrêteur (Fig. 11c)

La charge du montage figure le circuit d'entrée d'un amplificateur dont la tension d'entrée doit impérativement rester inférieure à 1 V. Tant que la tension d'entrée reste inférieure à la tension de seuil, les diodes présentent une impédance infinie. Si la tension de seuil est dépassée une des deux diodes entre en conduction et protège ainsi des surcharges l'entrée de l'amplificateur.

## □ Protection de contact (Fig. 11d)

L'ouverture d'un circuit inductif pose le problème du courant de rupture qui dégrade les contacts à cause de la création d'un arc entre eux-ci. La diode montée en parallèle sur la bobine permet la dissipation de l'énergie emmagasinée dans celle-ci et protège ainsi les contacts.