

# Chapitre 1

## Généralités sur les matériaux en électrotechnique

### 1. Introduction

L'électrotechnique est la science qui traite de la production, du transport, de la conversion et de l'utilisation de l'énergie électrique. Différents matériaux sont utilisés :

- ✓ les matériaux conducteurs pour véhiculer le courant électrique;
- ✓ les isolants pour isoler les conducteurs électriques;
- ✓ les matériaux magnétiques pour créer ou canaliser l'induction magnétique,
- ✓ les matériaux semi-conducteurs pour la fabrication des interrupteurs électroniques de puissance....

**Matériaux utilisés** : conducteurs électriques, matériaux magnétiques, isolants électriques, acier en carbone, acier structural, bois, semi-conducteurs, fibre de verre, liquide de refroidissement, gaz fluorescents ou halogènes, métaux pour électrodes (procédés électrochimiques), composés électrolytiques (stockage), hydrogène, ...

### 2. Propriétés électromagnétiques des matériaux

#### 2.1. Conductivité $\sigma$ et résistivité électrique $\rho$

Pour une tension  $v$  appliquée aux bornes d'un conducteur, la loi d'Ohm s'écrit

$$v = R \cdot i \quad \text{avec} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

$l$ : longueur (m)       $S$ : section (m<sup>2</sup>)       $\rho$  : résistivité du matériau ( $\Omega \cdot m$ )

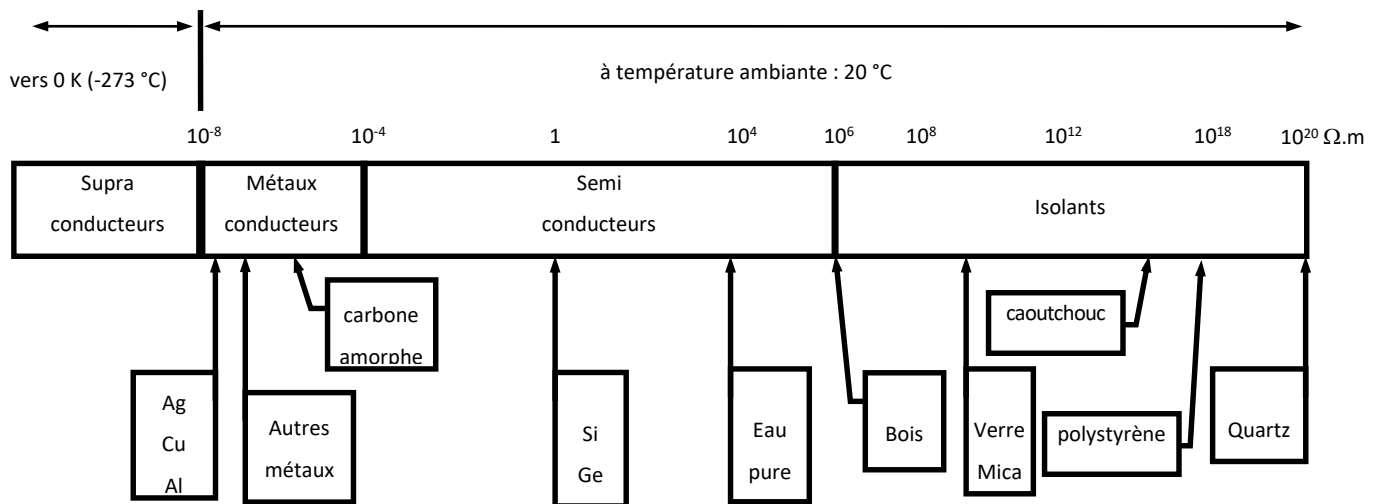
**Exemple** : Soit un conducteur en cuivre avec  $l = 10 \text{ m}$  et  $S = 1 \text{ mm}^2$

A  $T=20^\circ\text{C}$ , on mesurera  $R = 0,167 \Omega \rightarrow \rho = 1,67 \mu\Omega \cdot cm$

Si on refait la même expérience avec d'autres matériaux (Al, Ag, Fe, ...) on obtient d'autres valeurs de  $\rho$ .

La conduction :       $\sigma = 1/\rho$

## Echelle des résistivités :

2.2. Perméabilité magnétique  $\mu$ 

Si on place une inductance aux bornes d'une source alternative de fréquence  $f$  et de tension sinusoïdale de valeur efficace  $V$ , on obtiendra un courant efficace tel que

$$V = 2\pi f L I \quad I: \text{déphasé de } 90^\circ \text{ par rapport à } V$$

Si cette inductance est constituée par une bobine de  $n$  spires enroulées autour d'un noyau de fer, on observera :

$$L = \mu n^2 \frac{S}{l}$$

$n$  : nombre de spires enroulées autour du circuit magnétique

$l$  : longueur du circuit magnétique (m)

$S$  : section du circuit magnétique ( $m^2$ )

$\mu$  : perméabilité du matériau magnétique

**Exemple:** circuit magnétique en Fer avec  $n = 100$  tr ;  $l = 1$  m ;  $S = 10$   $cm^2$

A T = 20 °C  $V = 120$  V ,  $f = 50$  Hz  $\rightarrow I = 6$  A

$$L = \frac{V}{2\pi f I} = 64 \text{ mH} \rightarrow \mu = \frac{L l}{n^2 S} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ H/m}$$

On sait, par des expériences antérieures, pour le vide  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m

Donc la perméabilité magnétique relative du fer utilisé est  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \approx 5000$

Si on remplace le circuit magnétique de Fer par un autre en alliage Fer-Nickel avec les mêmes dimensions et même nombre de tours et qu'on tente la même expérience, on notera les résultats :

$$I = 350 \text{ mA}, L = 900 \text{ mH (donc augmente) et } \mu_r = 70000$$

d'où l'importance du matériau sur les comportements magnétiques observables dans la nature.

### 2.3. Permittivité électrique $\epsilon$

Soient deux plaques métalliques parallèles de surface  $S$  distancées d'un espace  $d$ . On observe que sur la plaque supérieure une charge électrique  $+q$  s'installe et que sur la plaque inférieure, une charge  $-q$  s'installe de manière à obéir à la loi  $q = CV$ .

Si on tente différentes expériences du même genre avec  $S$  et  $d$  différents, on notera que  $C$  varie selon

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

On tente l'expérience dans le vide absolu avec les paramètres :  $S = 1 \text{ m}^2$ ;  $d = 1 \text{ mm}$  ;  $V = 12 \text{ V}$ .

On mesurera une charge  $q = 106 \text{ nC}$

$$\rightarrow \epsilon_0 = \frac{1 \text{ mm} \times 106 \text{ nC}}{1 \text{ m}^2 \times 12 \text{ V}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

Si on insère un matériau entre les deux plaques, céramique par exemple, on notera immédiatement une augmentation de la charge électrique sur chacune des plaques. La valeur de  $\epsilon$  est donc une caractéristique du matériau.

Historiquement, on a normalisé  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$  et pour le céramique  $\epsilon_r = 9,6$ .

Si le matériau que l'on insère entre les deux plaques est un bloc de cuivre, on notera que la charge accumulée sur chacune des plaques est nulle.

- distinction entre isolants et conducteurs

Les isolants permettent d'accumuler une charge électrique  $q$  sur les deux plaques alors que les conducteurs ne le peuvent pas.

### 3. Propriétés mécaniques et thermiques

#### 3.1. Masse spécifique

	Cuivre	Aluminium
Masse spécifique à 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	8930	2700
Résistivité $\rho$ à 20°C ( $\mu\Omega.cm$ )	1,67	2,66

L'Aluminium est choisi pour le transport électrique à cause de sa légèreté malgré sa résistivité plus élevée (pylônes, câbles, ...).

#### 3.2. Dilatation thermique

Les dimensions de tous les matériaux changent avec la température.

Coefficient de dilatation thermique acier : 12 ppm/°C ; Al : 23 ppm/°C

**Exemple :** L'entrefer entre le rotor et le stator typiquement 1000 fois plus petit que le diamètre de la machine à la température de la pièce. A sa puissance nominale, la température des parties métalliques (Cu, Fe) augmentera et l'entrefer sera modifié par l'expansion thermique des matériaux.

#### 3.3. Conductivité thermique

Tous les matériaux ont des propriétés de stockage thermique et de conductivité thermique. Les métaux sont de bons conducteurs thermiques.

Pour éviter une augmentation des températures internes des équipements électriques, il est important de prévoir un refroidissement adéquat.

#### 3.4. Résistance mécanique à la flexion, à la compression et à la traction

Les matériaux ont des propriétés de résistance mécanique à la flexion, à la compression et à la traction qui varient d'un matériau à l'autre. Les champs électromagnétiques engendrent des forces électromagnétiques qui sollicitent les matériaux qui les supportent.