

CHAPITRE I

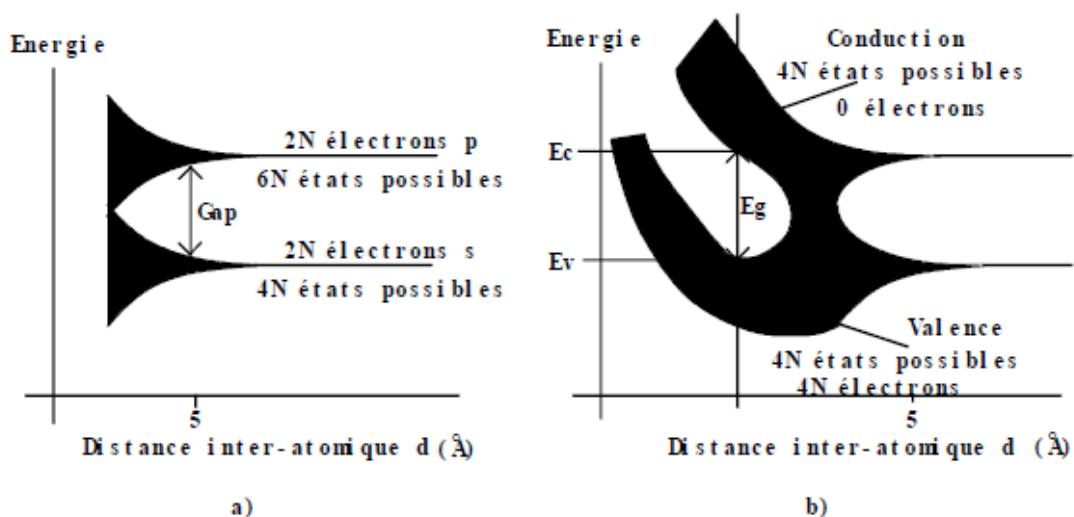
MATERIAUX CONDUCEURS

I – PROPRIETES ELECTRIQUES DES MATERIAUX

Les conducteurs peuvent être solides, liquides ou gazeux. Les conducteurs gazeux sont les gaz à l'état de plasma comme les arcs électriques. Les liquides sont les électrolytes. La majorité des conducteurs utilisés en technologie électrique sont les métaux. Pour comprendre les propriétés électriques des solides on doit avoir une idée sur la théorie des bandes d'énergie.

THEORIE DES BANDES D'ENERGIE DANS LES SOLIDES

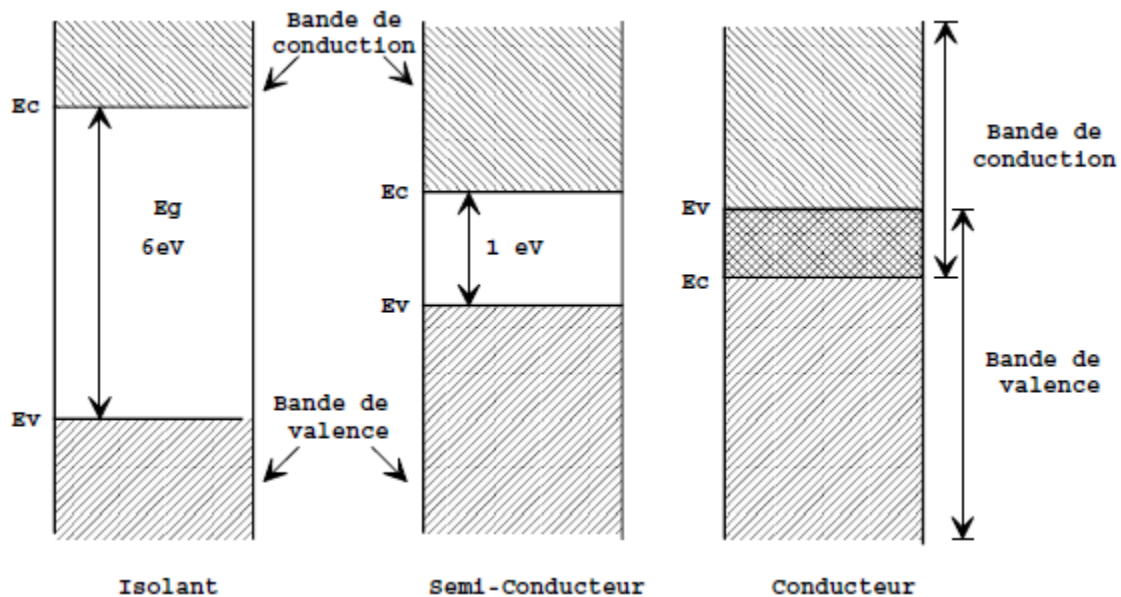
Les semi-conducteurs et les métaux ont une structure cristalline, c'est-à-dire que les atomes ou molécules sont groupés en réseaux régulièrement disposés dans l'espace. Dans ces réseaux la distance inter atomique étant faible (de l'ordre de quelques Å) les atomes ne peuvent plus être considérés comme isolés et il en résulte des interactions (de nature électrostatique entre les divers atomes). Considérons un cristal constitué de N atomes et supposons que l'on puisse faire décroître la distance inter-atomique. Les niveaux d'énergie se transforment comme dans l'exemple ci-dessous



On note l'existence d'une bande d'énergie appelée bande interdite qui ne comprend aucun état possible. La distinction entre conducteurs, semi-conducteurs et isolants se fait à travers la largeur de la bande interdite située entre la bande de valence et la bande de conduction.

à 0° K tous les électrons se trouvent dans la bande de valence pour les isolants et les semi-conducteurs. Lorsque la température s'élève, l'énergie apportée aux électrons n'est pas suffisante pour les faire passer de la bande valence dans la bande de conduction pour un isolant (E_g environ 6 eV) tandis que pour un semi-conducteur quelques électrons passeront

de la bande de valence dans la bande de conduction ($E_G = 1 \text{ à } 1.5 \text{ eV}$). Pour les conducteurs les bandes de valence et de conduction sont enchevêtrées, comme montré ci-dessous.



RESISTANCE

La résistance électrique est la propriété d'un composant à s'opposer au passage d'un courant électrique (l'une des causes de perte en ligne d'électricité). Son unité de mesure est l'ohm (symbole : Ω). Elle est liée aux notions de résistivité et de conductivité électrique.

La résistance est responsable d'une dissipation d'énergie sous forme de chaleur. C'est l'effet Joule. Cette production de chaleur est parfois un effet souhaité (résistances de chauffage), parfois un effet néfaste (pertes Joule) mais souvent inévitable.

Un des problèmes majeurs pour les ingénieurs est que la conductivité, et son inverse, la résistivité, dépendent fortement de la température. Lorsqu'un dipôle est traversé par un courant électrique, sa résistance provoque un échauffement qui modifie sa température, laquelle modifie sa résistance. La résistance d'un dipôle dépend donc fortement des conditions d'utilisation.

La résistance a ceci de particulier que c'est une des rares caractéristiques physiques dont la plage de valeurs peut aller de 0 (supraconducteurs) à $+\infty$ (isolants parfaits), même dans la pratique.

Pour un conducteur filiforme homogène, à une température donnée, il existe une relation permettant de calculer sa résistance en fonction du matériau qui le constitue et de ses dimensions :

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{l}{\gamma A}$$

ρ étant la résistivité en ohm-mètre ($\Omega \cdot \text{m}$) ;

l la longueur en mètres (m) ;

A la section en mètres carrés (m^2) ;

γ la conductivité en siemens par mètre (S/m).

La résistivité d'un métal à une température proche de la température ambiante est en général donnée par :

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha_0(\theta - \theta_0))$$

avec :

θ_0 : température de référence en ($^{\circ}\text{C}$)

ρ_0 : résistivité à la température θ_0 (Ωm) ;

α_0 : coefficient de température à la température θ_0 ;

θ : température en ($^{\circ}\text{C}$).

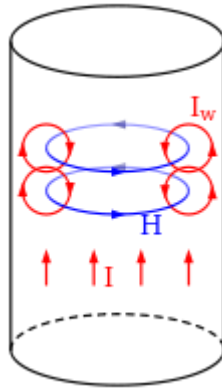
Le tableau suivant donne les valeurs des résistivités et des coefficients de température à $\theta_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

conducteur	résistivité à 0 $^{\circ}\text{C}$	coefficient de température à 0 $^{\circ}\text{C}$
	$\text{n}\Omega\cdot\text{m}$	$1/^{\circ}\text{C}$
argent	15,0	0,004 11
cuivre	15,9	0,004 27
aluminium	26,0	0,004 39
tungstène	49,6	0,005 5
manganine	482	0,000 015
nichrome	1080	0,000 11

Effet Pelliculaire

L'effet de peau ou effet pelliculaire (ou plus rarement effet Kelvin) est un phénomène électromagnétique qui fait que, à fréquence élevée, le courant a tendance à ne circuler qu'en surface des conducteurs. Ce phénomène d'origine électromagnétique existe pour tous les conducteurs parcourus par des courants alternatifs. Il provoque la décroissance de la densité de courant à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie du conducteur. Il en résulte une augmentation de la résistance du conducteur.

Tout courant se déplaçant dans un conducteur génère un champ magnétique autour de ce dernier. Quand un courant continu traverse un conducteur, la différence de potentiel est uniforme et les charges se déplacent dans le conducteur de manière isotrope, ce qui donne un champ magnétique constant (H). Par contre, lorsqu'un courant alternatif circule, les charges oscillent et le champ magnétique varie, ce qui induit une boucle de courant électrique inverse (I_w).

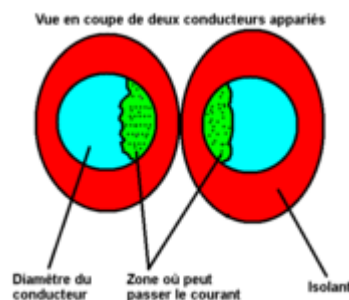


Sur la figure, on peut observer que la direction de rotation est toujours inverse à celle de la variation de courant dans le conducteur. Ainsi, la somme du courant alternatif avec celui de la boucle est toujours plus faible au centre du conducteur alors que ces deux courants s'additionnent en périphérie.

Cela signifie que le courant ne circule pas uniformément dans toute la section du conducteur. Tout se passe comme si la section utile du câble était plus petite. La résistance augmente donc, ce qui conduit à des pertes par effet Joule plus importantes.

Effet de proximité

Dans un câble composé de deux conducteurs (aller et retour du courant), à haute fréquence il peut se produire un effet de proximité entre les deux conducteurs, improprement confondu avec l'effet de peau, et qui fait que le courant a tendance à circuler seulement sur les parties des conducteurs en vis-à-vis.



Cet effet s'ajoute à l'effet de peau proprement dit. Il est totalement dépendant de la géométrie de l'ensemble : section des conducteurs (circulaire, carrée, plate...), distance entre conducteurs, asymétrie des conducteurs (par exemple fil parallèle à un plan de masse), etc. L'effet de proximité est pratiquement négligeable sur des conducteurs espacés de plus de 20 cm.

Afin d'atténuer cet effet, il faut éloigner les conducteurs, mais cela a d'autres inconvénients, comme d'augmenter l'inductance.

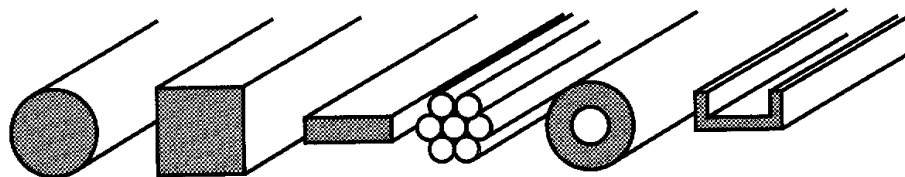
II – BONS CONDUCTEURS

De tous les solides, l'argent est le meilleur conducteur d'électricité mais, en raison de son coût élevé, son usage est restreint aux contacts destinés à l'ouverture et à la fermeture des circuits. Il sert aussi comme élément résistif dans certains fusibles.

Dans les applications générales, le cuivre est le matériau le plus utilisé. On utilise des conducteurs d'aluminium (seul ou à âme d'acier), moins cher, dans les lignes de transport d'énergie. Dans les machines, on utilise le cuivre car, pour une même résistance, le cuivre est moins volumineux que l'aluminium.

Le bronze phosphoreux se coule très facilement et il est très utilisé pour les pièces moulées.

Suivant les applications, les conducteurs prennent des formes variées : fils ronds, carrés ou plats, toronnés ou sous forme de barres, comme représenté dans la figure



III – PROPRIETES MECANQUES DES METAUX

La déformation élastique des métaux peut être modélisée par la loi de Hooke lorsque la déformation est une fonction linéaire de la contrainte. L'application de forces supérieures à la limite d'élasticité ou le chauffage peuvent conduire à une déformation permanente de l'objet, ce qui correspond à une déformation plastique. Cette modification irréversible de la disposition des atomes du matériau peut résulter de l'application :

- d'une force ou d'un travail en tension, en compression, en cisaillement, en flexion ou en torsion ;
- d'un chauffage, ce qui affecte la mobilité des défauts structuraux du matériau, comme les joints de grains, les lacunes, les dislocations vis et coin, et les défauts d'empilement (en) des solides cristallins et non cristallins. Le mouvement de tels défauts requiert une énergie d'activation et est donc limité par la vitesse de diffusion atomique.

L'écoulement visqueux autour des joints de grains, par exemple, peut donner lieu au fluage ou la fatigue du métal. Il peut également contribuer à d'importants changements dans la microstructure, comme la croissance des grains et l'accroissement localisé de la densité du matériau par élimination de la porosité intergranulaire. De plus, la nature non directionnelle des liaisons métalliques pourrait contribuer de manière significative à la ductilité des métaux solides.