www.9alami.com

LA PHYSIQUE DES MATERIAUX

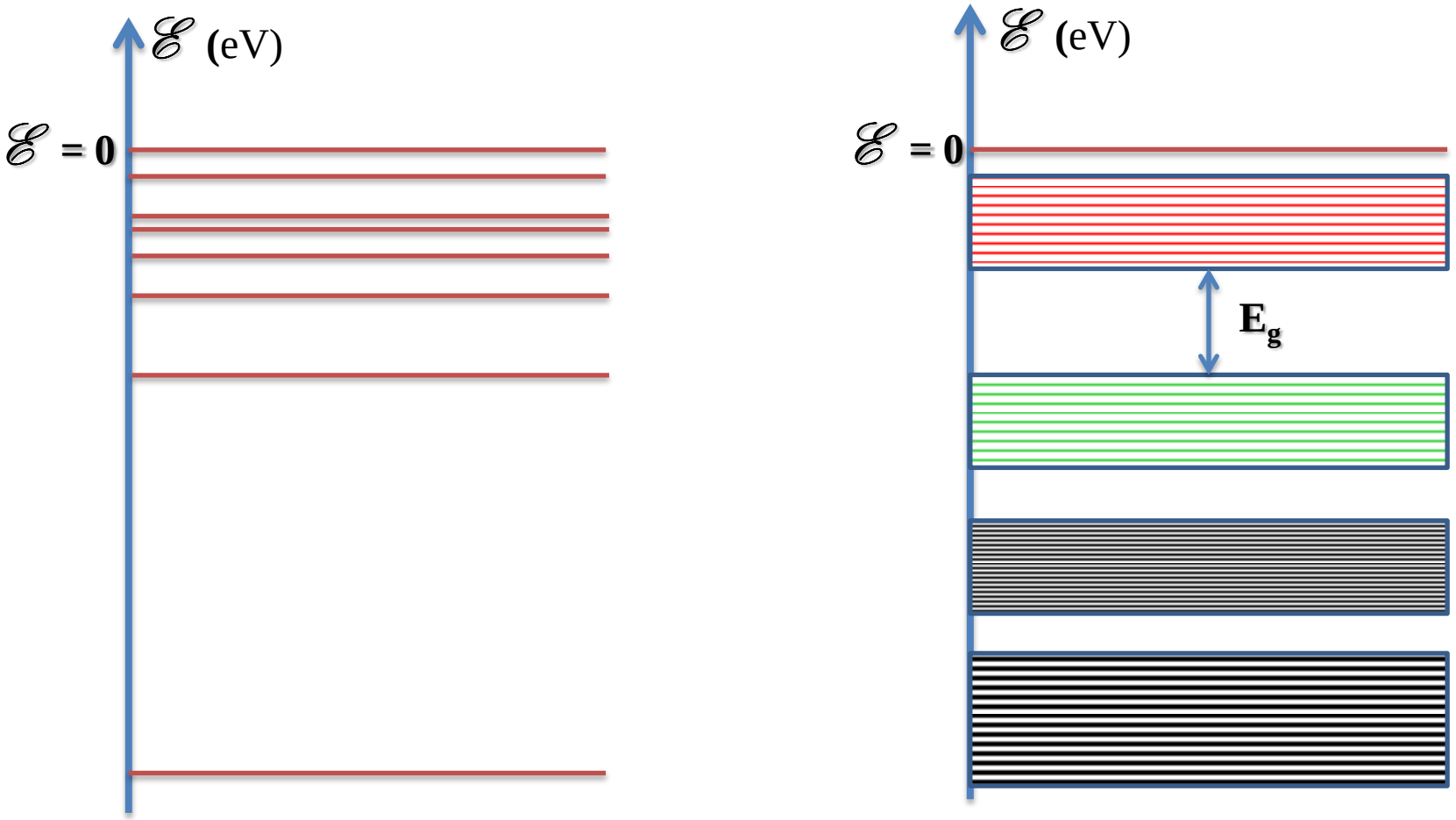
CHAPITRE 7

MATERIAUX SEMICONDUCTEURS ET SUPRACONDUCTEURS

Pr. A. Belayachi
Université Mohammed V – Agdal Faculté des Sciences Rabat
Département de Physique - L.P.M
belayach@fsr.ac.ma

1. Approche qualitative de la notion de bandes d'énergie dans les solides

- **Lors de la formation du solide le rapprochement des atomes modifie le nombre des niveaux d'énergie disponibles pour les électrons autour du noyau. l'influence des atomes les uns sur les autres tend à modifier les niveaux d'énergie. Les électrons voient leur niveaux d'énergie non plus distribués sur des états discrets mais plutôt sur des « bandes » discrètes d'énergie comme le montre la figure ci-dessous, séparées par des bandes interdites.**



Niveaux d'énergie dans l'atome isolé et dans un cristal

- Aux couches les plus proches du noyau qui sont saturés pour l'atome isolé correspondent ainsi des **bandes saturées** pour l'état solide. A l'intérieur de ces bandes, tous les niveaux énergétiques sont occupés et aucun électrons supplémentaire ne peut y pénétrer.
- La première bande présentant un réel intérêt est la **bande de valence** qui correspond aux électrons de valence. Cette bande est généralement saturée mais ses électrons peuvent en sortir plus ou moins facilement suivant la nature du solide.

▣ **Enfin, après la bande de valence on rencontre la bande de conduction; elle est suivant les cas vide ou incomplète.**

▣ **La séparation d'énergie E_g entre la bande de conduction et la bande de valence, appelée largeur de la bande interdite, détermine le comportement électrique du corps.**

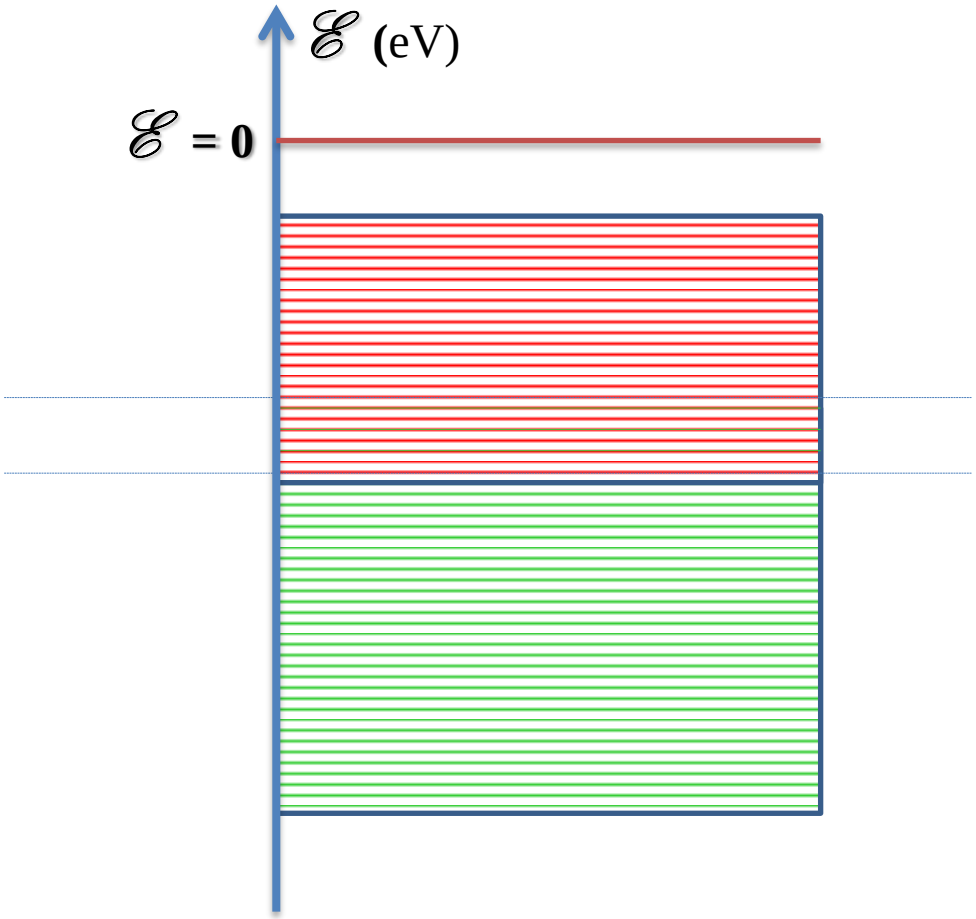
● **Un isolant est un corps dont la bande de valence est saturée alors que la bande de conduction est entièrement vide ces deux bandes étant séparées par une bande interdite ou « gap » de valeur E_g supérieure à 6 eV.**

- **Les matériaux ayant une largeur de la bande interdite $0 < E_g < 5$ eV, sont appelés les semi-conducteurs intrinsèques.**

Ils sont caractérisés par une résistivité très supérieure à celle d'un bon conducteur et très inférieure à celle d'un bon isolant.

- **En général, les isolants tendent à avoir une prédominance des liaisons ioniques, alors que les semi-conducteurs tendent à avoir une prédominance en liaisons covalentes. Cependant Certains semiconducteurs sont de bons exemples de substances qui sont partiellement ioniques et partiellement covalents.**

- **Dans un conducteur un électron libre possède une énergie cinétique suffisante pour pouvoir circuler librement dans le cristal, son niveau d'énergie cinétique correspond à la bande de conduction. La largeur de la bande interdite E_g est nulle, il y a alors un chevauchement entre la bande de conduction et la bande de valence. Ainsi la bande de conduction est partiellement remplies par des électrons libres qui proviennent de la bande de valence. Dans cette représentation, la position exacte à la surface du métal ne peut pas être précisée. Un électron peut circuler librement à l'intérieur du métal et participer à la conduction mais il ne peut pas sortir du métal du fait de l'existence d'une barrière de potentiel à la surface du métal.**



Chevauchement des bandes de valence et de conductions dans un conducteur

- **Les lois de la statistique de Fermi-Dirac permettent de déterminer à une température donnée la distribution des électrons aux différents niveaux.**
- **Dans le cas particulier des métaux on peut par différents procédés extraire des électrons, ce phénomène s'appelle émission électronique et a une grande importance pratique.**
- **Une importante distinction entre les conducteurs, les isolants et les semi-conducteurs est que la conductivité des conducteurs décroît en fonction de la température, alors que celle des deux autres croît en fonction de la température.**

- **Dans certains matériaux le bas de la bande de conduction a une énergie très légèrement inférieure à au haut de la bande de valence. Un léger chevauchement des bandes de valence et de conduction qui conduit à des faibles concentrations en électrons dans la bande de conduction. Ces matériaux sont appelés des semi-métaux. Parmi les semi-métaux on trouve des éléments du groupe V comme l'arsenic As, l'antimoine Sb et le bismuth Bi. Leurs atomes sont associés par paires dans le réseau et la maille élémentaire contient ainsi deux ions et dix électrons de valence, on observe un léger chevauchement des cinquième et sixième bande.**

Remarque importante

Le terme "isolant" est appliqué aux matériaux dont la fonction principale est d'isoler un système électrique de son environnement. L'utilisation des matériaux isolant nécessite la prise en considération non seulement des qualités électriques mais aussi d'autres qualités:

- **Propriétés électriques: rigidité, permittivité, résistivités normale et superficielle, coefficient de température, facteur de perte.**
- **Propriétés mécaniques: résistance à la traction et à la flexion, dureté, élasticité.**
- **Propriétés chimiques: résistance aux acides, aux solvant, toxicité.**

Le terme "diélectrique" est appliqué à des matériaux isolants dont les caractéristiques entrent comme paramètres dans la description d'un système électrique. Le résultat expérimental le plus important sur les diélectriques isolants était la découverte faite par Faraday et qui montre que la capacité d'un condensateur croît si l'espace entre les armatures du condensateur est rempli par un matériau diélectrique isolant. Si C est la capacité du condensateur rempli et C_0 la capacité du condensateur vide; le rapport C/C_0 , est supérieure à 1, indépendant des dimensions des armatures métalliques et dépend uniquement des caractéristique du diélectrique utilisé. On pose alors:

$$C = \varepsilon_r C_0$$

Où ε_r est appelée permittivité relative ou "constante diélectrique".

Dans le système international de mesure la *permittivité* d'un diélectrique est définie par:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \times \varepsilon_0$$

ε_0 est une constante électrique représentant la permittivité du vide et qui vaut $\varepsilon_0 = 8.854\ 10^{-12}\ F.m^{-1}$.

Le terme "constante diélectrique" est parfois utilisé pour ε et ε_r à la fois. Pour éviter les confusions, il est préférable d'utiliser les termes **permittivité** et **permittivité relative**. En plus, le terme *«constante diélectrique»* est un peu *"trempeur"* puisque la permittivité ε **dépend** de la **fréquence** et n'est constante que dans un domaine très restreint de fréquence.

2. Propriétés électriques des semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont tous des cristaux covalents, contenant parfois une trace de liaison ionique. Au zéro absolu, un cristal pur, parfait, de n'importe quel semi-conducteur serait isolant. Les propriétés caractéristiques des semi-conducteurs sont habituellement dues à:

- **l'agitation thermique;**
- **aux impuretés;**
- **aux différents défauts du réseau (Chapitre 2: Les structures);**
- **au défaut de stœchiométrie (écart par rapport à la composition chimique nominale).**

La réalisation du premier transistor bipolaire en germanium en 1947, dont le fonctionnement fait intervenir à la fois les électrons et les trous, est à l'origine de la révolution moderne dans les domaines de l'électronique et de l'informatique. Plus tard, le silicium est devenu le semi-conducteur, par excellence, le plus utilisé dans la fabrication de la plupart des dispositifs électronique.

Parmi les dispositifs dont le fonctionnement est basé sur les propriétés des semi-conducteurs on peut citer les diodes, les transistors, les amplificateurs opérationnels, les circuits intégrés linéaires, les circuits intégrés logiques; les microprocesseurs, les détecteurs et les cellules photovoltaïques.

2.1 Matériaux semi-conducteurs

2.1.1 Eléments de la colonne IV

Les éléments semi-conducteurs simples sont ceux qui appartiennent à la colonne 14 du tableau périodique.

Le carbone, sous forme de diamant, est plus convenablement classé comme isolant, puisque la largeur de la bande interdite est de l'ordre de 5.5 eV.

Le silicium et le germanium, qui cristallisent dans la structure diamant, sont les deux semi-conducteurs fondamentaux les plus importants. Le Si et Ge peuvent être considérés comme des solides où les électrons ne sont pas fortement localisés au voisinage des cœurs ioniques. Le silicium et le germanium ont des propriétés similaires, avec quelques différences.

2.1.2 Les cristaux III–V

Les cristaux qui apparient des éléments des colonnes III et V du tableau périodique sont encore moins ioniques. Ils adoptent presque tous la structure de la blende caractéristique des cristaux covalents. La plupart se comportent comme des semi-conducteurs plutôt que comme des isolants, ce qui constitue une indication de leur nature ionique très faible. Ce sont des bons exemples de substances qui sont partiellement ioniques et partiellement covalentes. On dénombre 9 composés binaires résultants de la composition des éléments In, Ga, Al avec Sb, As et P : InSb, InAs, GaSb, InP, GaAS, AlSb, AlAs, GaP et AlP.

2.1.3 Les cristaux II–VI

Les composés II-VI sont isotype de PbS, PbSe et PbTe, de structure calchogénide. D'autres types de semi-conducteurs II-VI ont été largement étudiés et utilisés pour la fabrication de plusieurs dispositifs. On peut citer à titre d'exemple : CdS, Cu_2S, ZnS, Bi_2Te_3. Les liaisons interatomiques sont en partie covalentes, en partie ioniques.

2.1.4 Les oxydes métalliques

Certains oxydes de métaux ont un comportement semi-conducteur avec une large bande interdite. Certains de ces oxydes ont été largement étudiés tels que le Cu_2O, le ZnO (qui fait l'objet actuellement d'intensives recherches dans le domaine de la spintronique) et le NiO. D'autres oxydes métalliques comme le V_2O_3 et le VO_2 présentent une transition structurale entraînant un changement de structure de bande et par la suite une transition métal/semi-conducteur.

2.1.5 Autres matériaux semiconducteurs

- **Le carbure de silicium (SiC) est un matériau qui présente de nombreuses formes polymorphiques appelées polytypes (Chapitre 2: Les structures). Elles diffèrent essentiellement par leur structure cristalline et plus précisément par des structures variées le long d'un axe cristallographique. En principe, les propriétés physiques du carbure de silicium en feraient un matériau semiconducteur idéal pour l'électronique de puissance et pour des températures élevées. Sa technologie en vue d'applications électroniques est néanmoins peu développée jusqu'à la fin du siècle dernier.**

- En plus des cristaux semiconducteurs classiques, on rencontre des phases semiconductrices parmi les composés qui réalisent localement la saturation des liaisons à l'intérieur de la cellule unitaire du réseau cristallin. Cette saturation peut être due à des structures cristallines très anisotropes construites en général sur des sous-réseaux d'anions. Ce sont des structures de type lamellaire comme des halogénures du type PbI_2 ou des chalcogénures du type MoS_2. Ce sont aussi des structures en chaîne comme des phosphures ZnP_2. La saturation locale des liaisons peut également être due à la formation de liaisons entre cations (composés polycationiques) comme GaSe.

- **Les matériaux semiconducteurs se rencontrent aussi au sein de la famille plus complexe des composés de métaux de transition, avec des phases du type pyrite comme NiS_2 ou marcassite comme FeS_2, et des phases présentant des degrés de symétrie plus bas.**

Parmi les systèmes non cristallins, il existe des verres semiconducteurs comme le sulfure de germanium GeS_2 ou des chalcogénures (Se, As_2Se_3). Des alliages liquides donnent également, dans certains domaines de composition, des propriétés semiconductrices comme Tl-Te.

- **Un semiconducteur amorphe important est le silicium amorphe α-Si. Le silicium amorphe de qualité est en fait un silicium hydrogéné obtenu par déposition à partir d'un plasma de silane.**
- **Enfin, il existe des semiconducteurs parmi les polymères qui ont dans leur structure des liaisons conjuguées. Cette famille des polymères semiconducteurs, s'ouvre vers l'électronique moléculaire, domaine appelé à un développement important.**
- **Le tableau ci-dessous donne les valeurs de la largeur de la bande interdite E_g à 0 K et 300 K pour quelques matériaux semiconducteurs.**

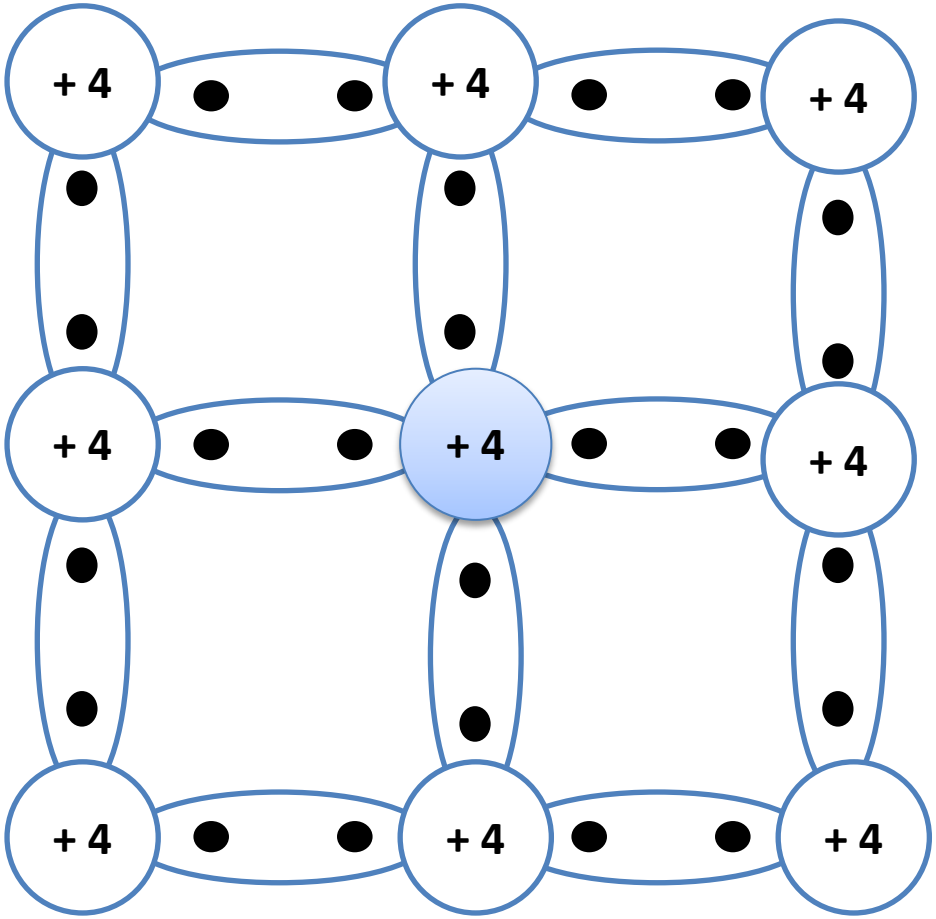
	E_g (eV)			E_g (eV)	
Cristal	0 °K	300 °K	Cristal	0 °K	300 °K
Diamant	5.4		HgTe	-0.30	
Si	1.17	1.11	PbS	0.286	0.34-0.37
Ge	0.744	0.67	PbSe	0.165	0.27
Sn-a	0.00	0.00	PbTe	0.190	0.29
InSb	0.23	0.17	CdS	2.582	2.42
InAs	0.43	0.36	CdSe	1.840	1.74
InP	1.42	1.27	CdTe	1.607	1.44
GaP	2.32	2.25	ZnO	3.436	3.2
GaAs	1.52	1.43	ZnS	3.91	3.6
GaSb	0.81	0.68	SnTe	0.3	0.18
AlSb	1.65	1.6	AgCl		3.2
4H-SiC	3.0		AgI		2.8
Te	0.33		Cu_2O	2.172	
ZnSb	0.56	0.56	TiO_2	3.03	

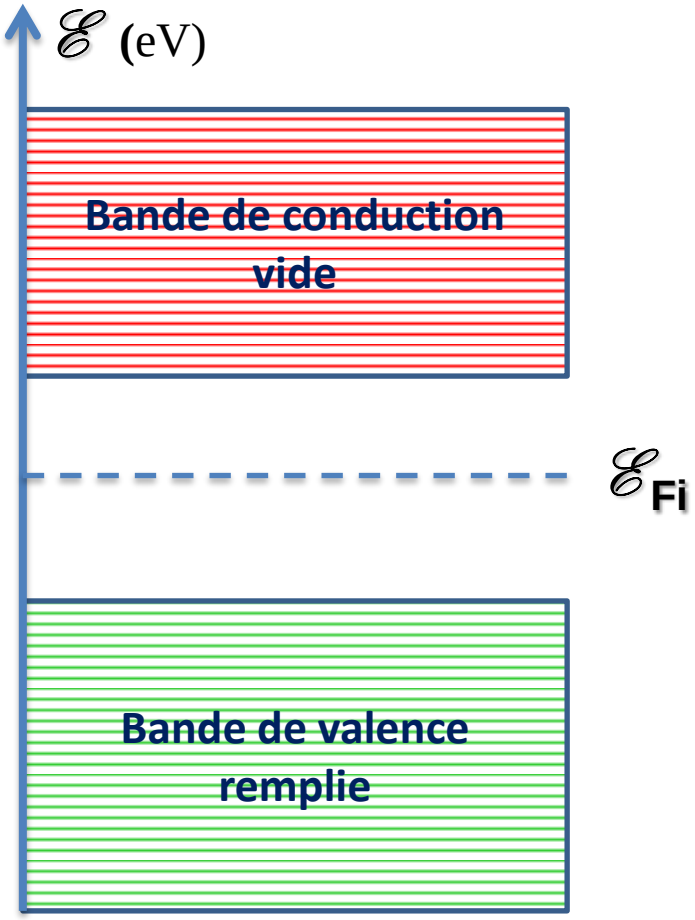
Largeur de la bande interdite pour quelques semicondcuteurs.

2.2 Dopage d'un semiconduteur

L'atome de silicium ayant quatre électrons de valence, il établit quatre liaisons covalentes avec quatre atomes voisins. Il est appelé semiconducteur intrinsèque.

A $T = 0$ K, seuls les niveaux d'énergie inférieure à une certaine valeur $\mathscr{E}_{Fi}$, appelée niveau de Fermi intrinsèque, sont occupés pour un semi-conducteur intrinsèque. Si le niveau de Fermi, $\mathscr{E}_{Fi}$, est situé dans la bande interdite, tous les niveaux de la bande de valence sont occupés par des électrons, tandis que tous ceux de la bande de conduction sont vides. Le semi-conducteur est alors isolant.





Semiconducteur intrinsèque à T = 0 K

Pour $T > 0$ K, certains niveaux au-dessus du niveau de Fermi peuvent être occupés. L'énergie nécessaire pour que les électrons y accèdent est fournie par l'agitation thermique. L'ordre de grandeur de l'énergie d'agitation thermique, liée à la température T, en K, est kT, avec k, la constante de Boltzmann, qui vaut:

$$k = 8{,}6 \times 10^{-5}\ \text{eV.K}^{-1}$$

$$k = 1{,}38 \times 10^{-23}\ \text{J.K}^{-1}$$

Lorsqu'un électron passe de la bande de valence à la bande de conduction, il laisse un trou dans la bande de valence.

La statistique de Fermi-Dirac donne, pour une température T le nombre d'électrons libres par unité de volume dans la bande de conduction, noté n et le nombre de trous par unité de volume dans la bande de valence, noté p.

$$n = N_c exp\left(-\frac{\Delta E_n}{kT}\right)$$

$$p = N_v exp\left(-\frac{\Delta E_p}{kT}\right)$$

avec, pour du silicium intrinsèque à 300 K :

N_c = 2,82 10^{19} électrons.cm^{-3}

N_v = 1,83 10^{19} trous.cm^{-3}

$\Delta E_n = \mathscr{E}_c - \mathscr{E}_{Fi}$ représente la différence d'énergie entre le niveau $\mathscr{E}_c$ de la bande de conduction et le niveau de Fermi, $\mathscr{E}_{Fi}$.

$\Delta E_p = \mathscr{E}_{Fi} - \mathscr{E}_v$ représente la différence d'énergie entre le niveau de Fermi, $\mathscr{E}_{Fi}$, et le niveau $\mathscr{E}_v$ de la bande de valence.

Pour un semi-conducteur intrinsèque, le nombre d'électrons libres par unité de volume dans la bande de conduction est égal au nombre de trous par unité de volume dans la bande de valence. Le tableau suivant donne les principales caractéristiques du semiconducteur intrinsèque.

$$n.p = n_i^2$$

$$n_i^2 = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

$$N_c = 2\frac{(2\pi m_n kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}$$

$$N_v = 2\frac{(2\pi m_p kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}$$

n_i: concentration intrinsèque

E_g : largeur de bande interdite

k : constante de Boltzmann

T : Température en kelvin

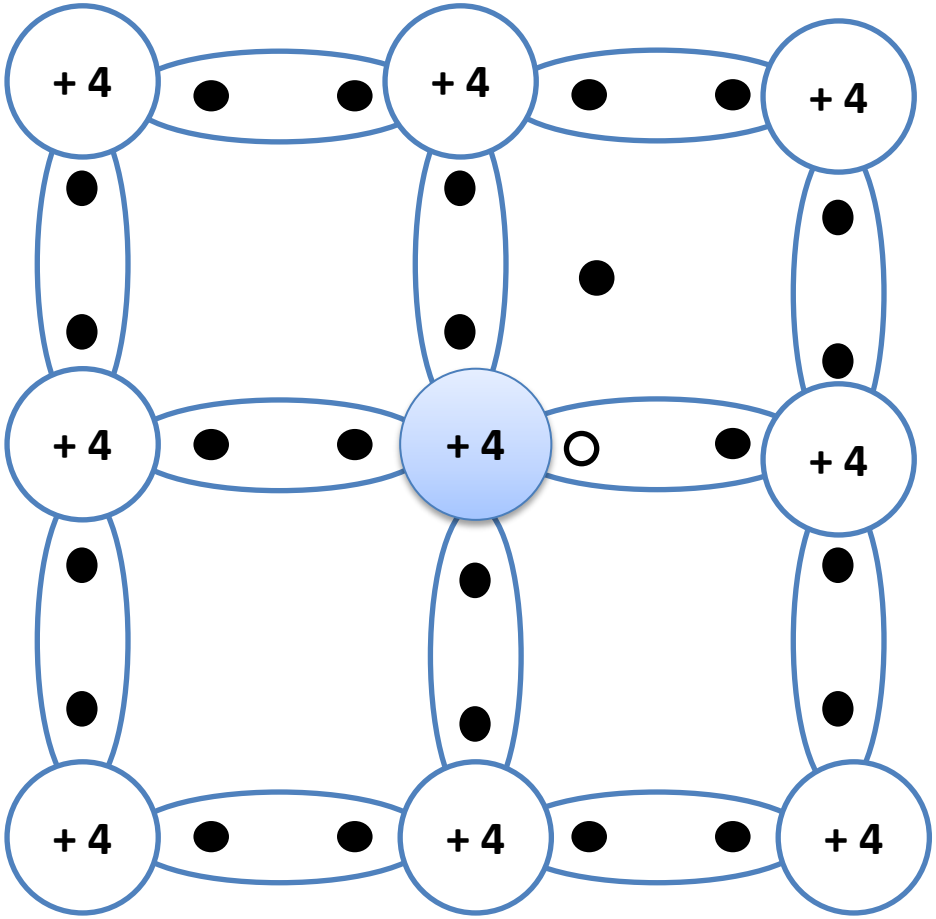
m_n: masse apparente de l'électron

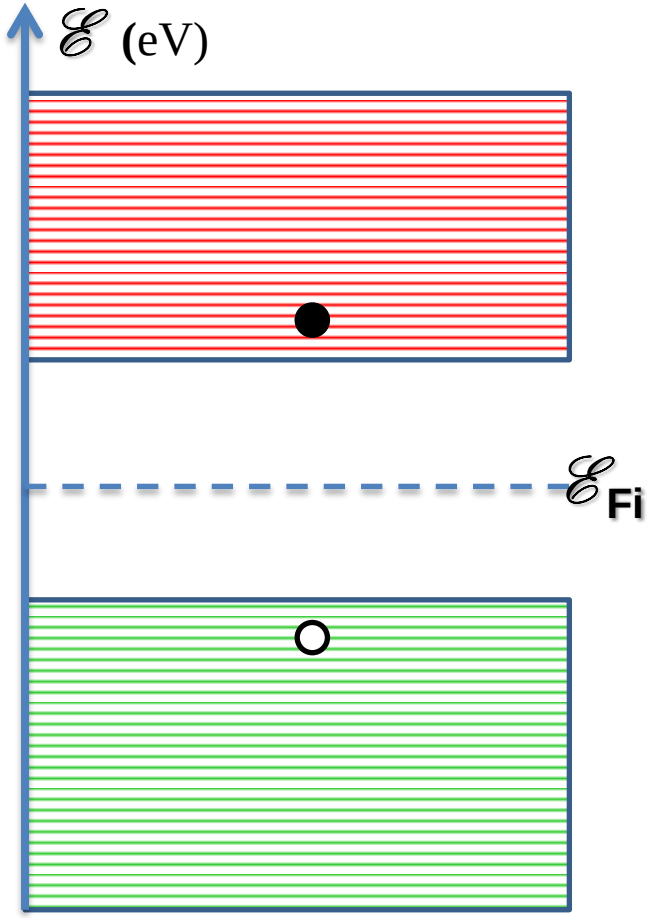
m_p : masse apparente du trou

h : constante de Planck

	Ge	Si
n_i	10^{19}	10^{16}
m_n	$0.55m_e$	$1.1m_e$
m_p	$0.35m_e$	$0.55m_e$

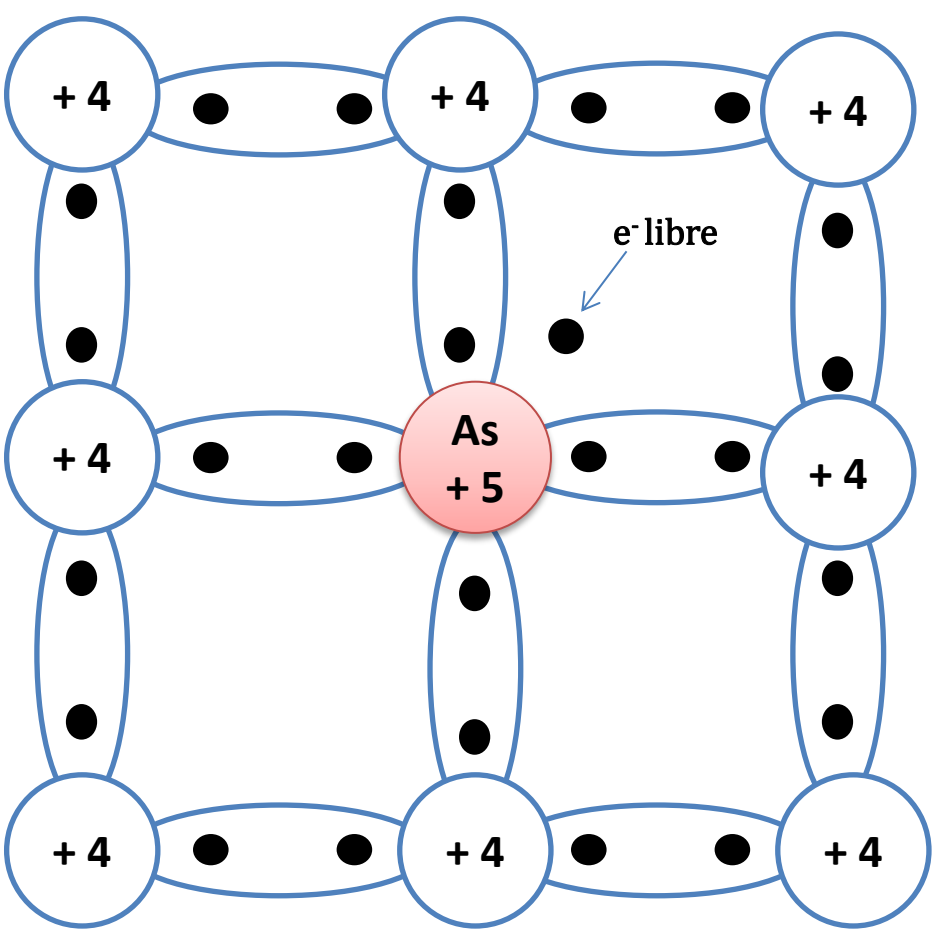
Formules relatives au semi-conducteur intrinsèque

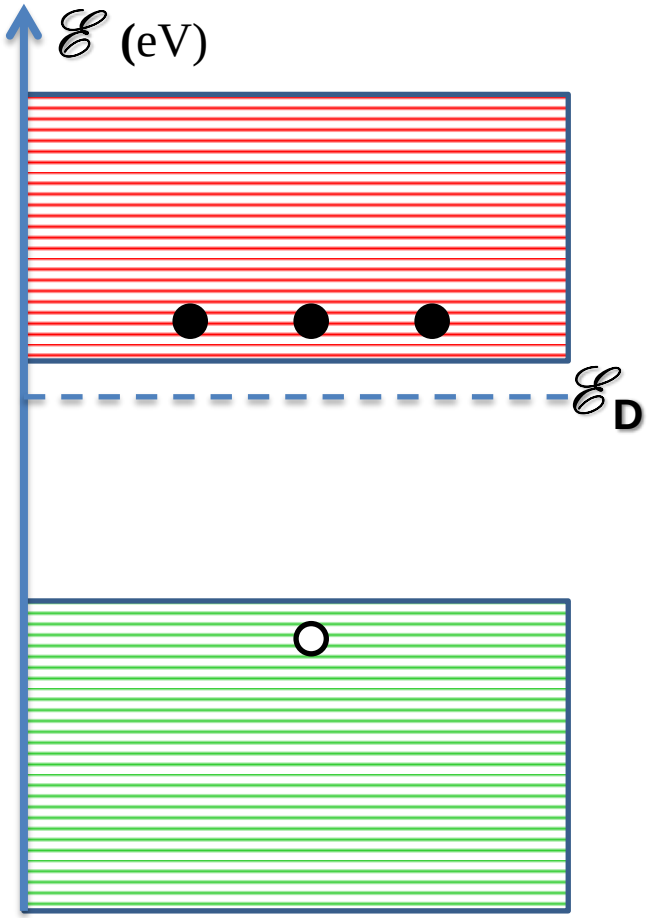




Semiconducteur intrinsèque à T ≠ 0 K

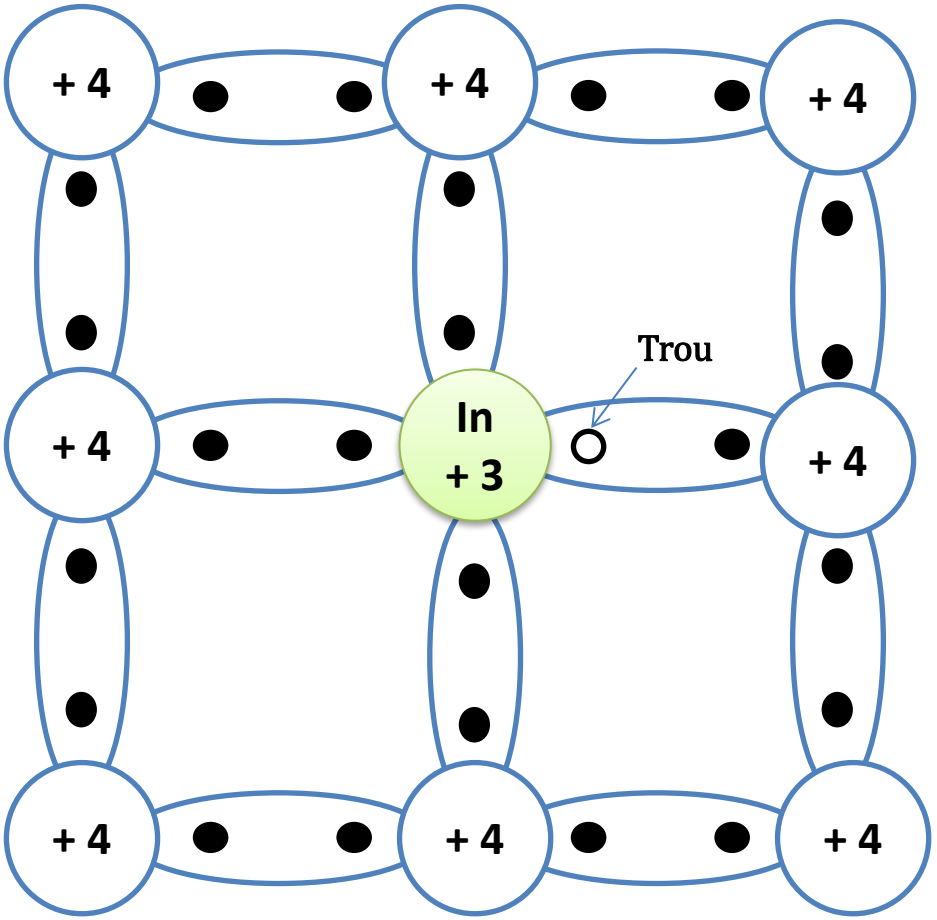
L’introduction en quantité très faible de certaines impuretés dans un semiconducteur intrinsèque, peut augmenter dans des proportions considérables le nombre de porteur de charges. Pour un semi-conducteur au silicium dopé à l’arsenic, un atome d’arsenic, As, remplace un atome de silicium dans le réseau. L'atome As ayant cinq électrons de valence, il forme quatre liaisons covalentes avec des atomes de silicium voisins ; il reste un électron libre qui peut participer à la conduction électrique. L'atome d’arsenic étant donneur d'électron, on parle de dopage de type n (n pour négatif).

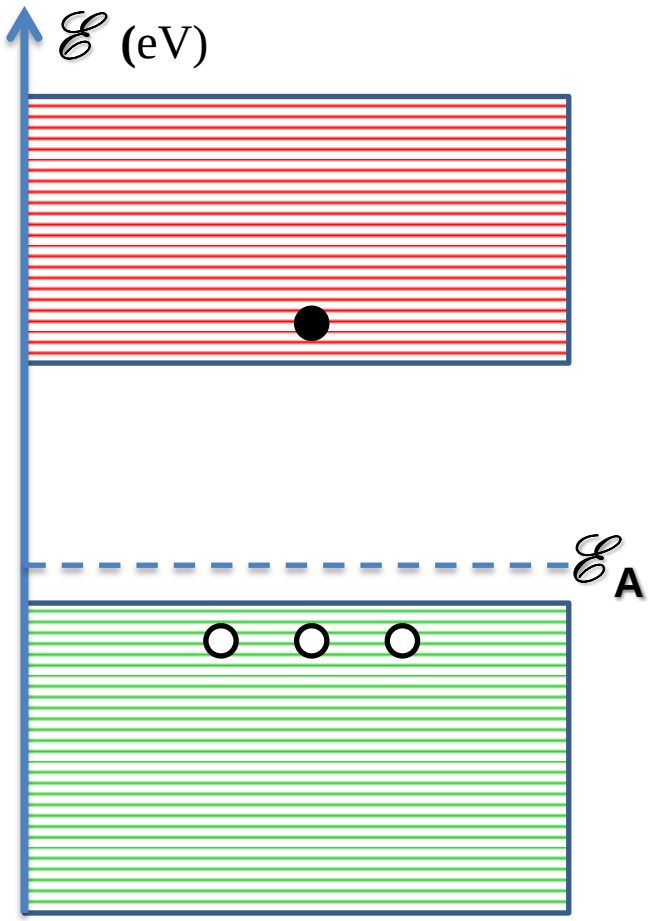




Dopage d'un semiconducteur par un atome donneur

un atome dopant possédant trois électrons de valence, comme l'indium, In, conduit à un déficit d'électron de valence dans le réseau, appelé **trou**. Ce trou peut être comblé par un électron de valence d'un atome de silicium voisin, déplaçant ainsi le trou. L'atome d'indium étant accepteur d'électron, on parle de dopage de **type p** (p pour positif). Les éléments dopants génèrent des niveaux d'énergies dans la bande interdite. Ces niveaux sont proches des bandes de valence ou de conduction. Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques du semiconducteur dopé ou extrinsèque.





Dopage d'un semiconducteur par un atome accepteur

N_A	Densité d'accepteurs
N_D	Densité de donneurs
p_A	Densité d'accepteurs non ionisés (accepteurs neutres électriquement)
n_D	Densité de donneurs non ionisés (donneurs neutres électriquement)
$p + N_D - n_D = n + N_A - p_A$	Semi-conducteur neutre électriquement
$n.p = n_i^2 = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{2kT}}$	Semi-conducteur à l'équilibre
$p + N_D = n + N_A$	Température suffisante pour que tous les donneurs et accepteurs soient ionisés
$p = n_i^2 / (N_D - N_A)$	p ≪ n, semi-conducteur fortement dopé N
$n = n_i^2 / (N_A - N_D)$	n ≪ p, semi-conducteur fortement dopé P

Formules relatives au semiconducteur extrinsèque

2.3 Conductivité électrique dans un semiconducteur

Dans les semiconducteurs le phénomène de conduction est assez complexe. A la température ambiante l'énergie cinétique des électrons est importante, il en résulte la rupture de certaines liaisons et la production de porteurs de charge. Un électron qui est agité autour d'une position moyenne par effet thermique devient libre dès que son énergie atteint une valeur supérieure ou égale au gap. Il passe alors de la bande de valence à la bande de conduction. Il se comporte alors comme un électron libre dans un métal.

Lorsqu'on crée un champ électrique par application d'une différence de potentiel aux extrémités du semiconducteur, l'électron se déplace dans le sens inverse du champ ce qui permet à la source de tension de débiter le courant électrique. Le vide qu'a laissé l'électron qui a rompu sa liaison est appelé trou. L'atome qui a perdu l'électron est dans un état instable, il se lie alors à l'électron de valence d'un atome voisin. Le trou est alors supprimé pour le premier atome mais un nouveau trou s'est produit dans l'atome voisin. Donc tout se passe comme si le trou se déplace dans la direction du champ électrique lorsque la d.d.p est appliquée.

Remarque: Un semiconducteur ne possède pas de charge positive mobile, les seuls porteurs de charge mobiles sont les électrons , le courant électrique est dû à un double déplacement de ces électrons qui se trouvent à des niveaux différents :

- les électrons de conduction qui sont dans la bande de conduction;
- les électrons qui comblent les trous et qui sont dans la bande de valence.

Dans le calcul on doit tenir compte du fait que ces deux types d'électrons contribuent à **la conductivité électrique σ** mais en tenant compte du fait qu'ils ont des propriétés caractéristiques différentes.

Par souci de simplification on raisonnera en terme de trous pour le deuxième type d'électrons. Par analogie avec les conducteurs on posera:

$$\sigma = ne\mu$$

σ: la conductivité électrique;

n: la concentration en porteurs de charges;

e: la charge élémentaire;

μ: la mobilité des porteurs de charges.

Pour le semiconducteur, on doit faire la distinction entre la mobilité μ_n des électrons et celle μ_p des trous. On désignera par n la concentration des électrons et par p la concentration des trous. On a:

$$\sigma_{semiconducteur} = \sigma_{électrons} + \sigma_{trous}$$

Sous l'action de forces électriques, dues à l'application d'un champ électrique $\vec{E}$, les électrons et les trous se déplacent avec des vitesses apparentes respectives v_n et v_p . En fait, les porteurs de charge sont animés d'un mouvement désordonné, accompagné de multiples collisions. L'intervalle de temps moyen, séparant deux collisions successives, s'appelle **temps de relaxation** τ_n ou τ_p, selon que les porteurs de charge sont des électrons ou des trous. Le tableau ci-dessous présente les formules essentielles concernant la conductivité des semiconducteurs.

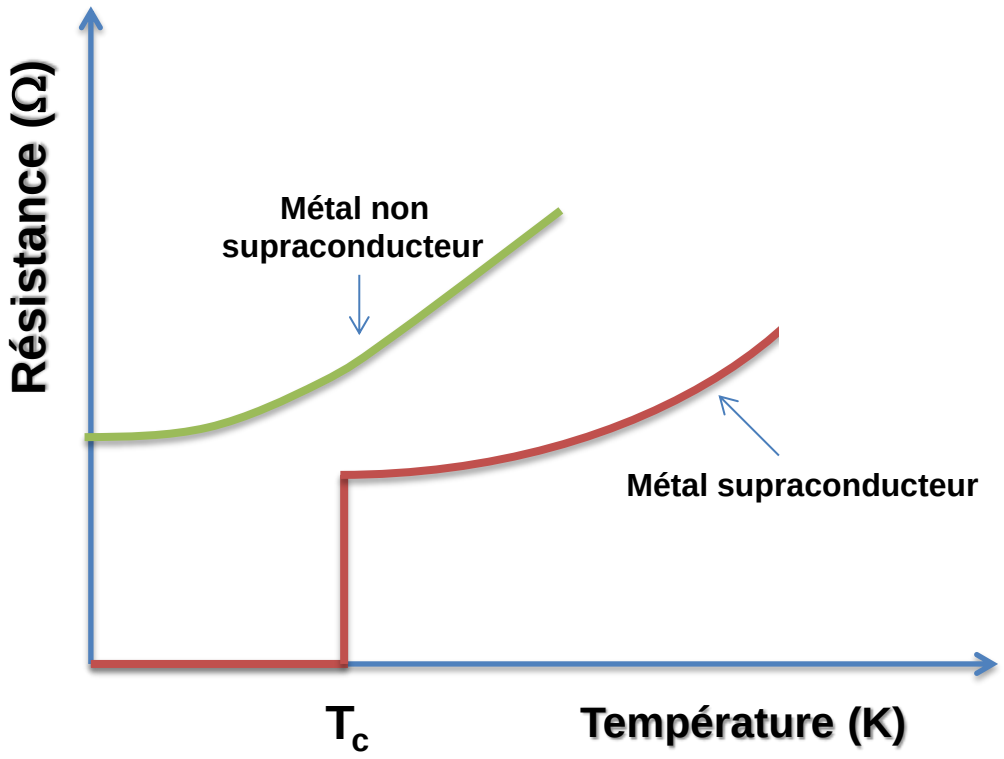
Symboles et formules	Définitions
$v_n = \mu_n E$	v_n : vitesse de l'électron μ_n : mobilité de l'électron
$v_p = \mu_p E$	v_p : vitesse du trou μ_p : mobilité du trou
$\mu_n = \frac{e.\tau_n}{m_n}$	τ_n : temps de relaxation de l'électron m_n: masse apparente de l'électron
$\mu_p = \frac{e.\tau_p}{m_p}$	τ_p : temps de relaxation du trou m_p : masse apparente du trou
$j = e(p.\mu_p + n.\mu_n)E$	j : densité du courant de conduction p : densité de trous n : densité d'électrons
$\sigma = e(p.\mu_p + n.\mu_n)$	σ : conductivité du semi-conducteur

Relations de conductivité dans un semiconducteur

3. Supraconductivité

3.1 Mise en évidence expérimentale

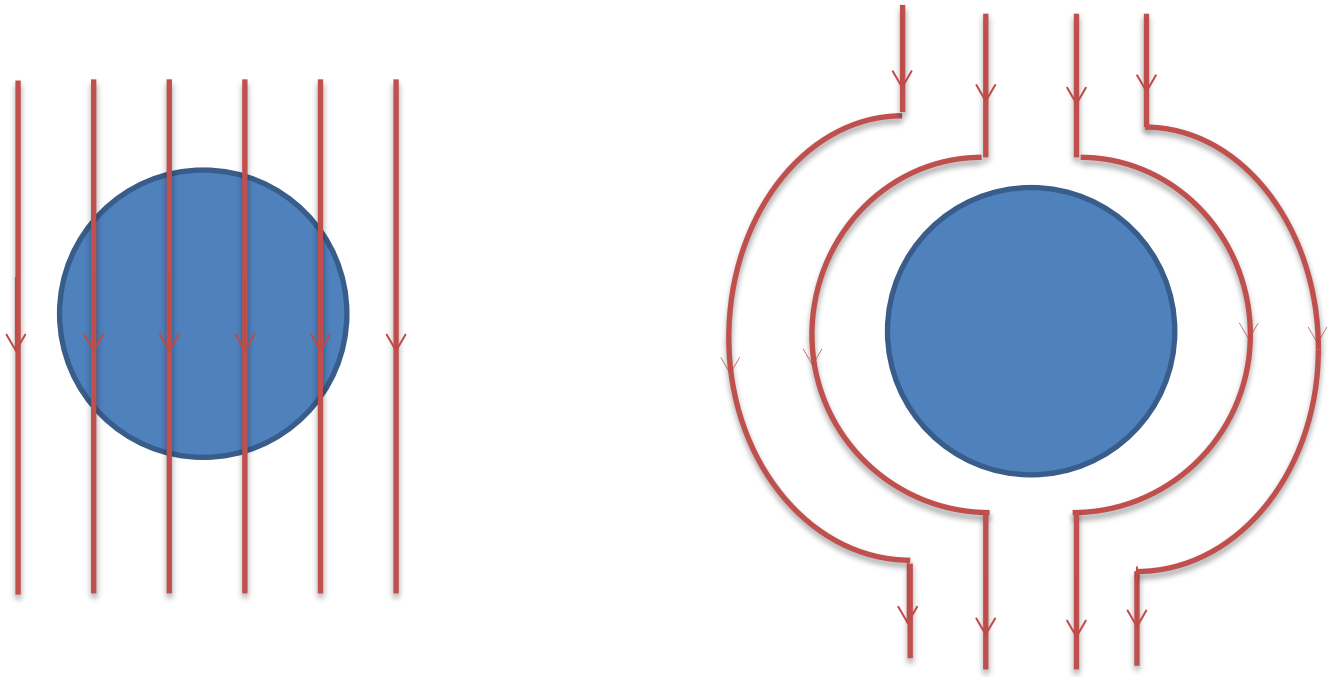
Sous certaines conditions la conductivité d'un matériau peut devenir infini (la résistivité nulle), le matériau devient alors supraconducteur. Le phénomène de supraconductivité n'apparait qu'en dessous une certaine température appelée température critique T_c, mais il existe aussi une limite de l'intensité du courant qui le parcourt et qui est appelé intensité critique I_c. On montre expérimentalement que la résistivité d'un supraconducteur est inférieure à 10^{-25} Ω.m par comparaison avec la résistivité du cuivre à 300 K qui est de l'ordre de 10^{-7} Ω.m .



Différence de la variation de la résistance en fonction de la température pour deux métaux un supraconducteur et un autre non supraconducteur

3.2 Effet Meissner

Lorsqu'un supraconducteur massif est placé dans un faible champ magnétique $\vec{H}$ il agira comme un matériau diamagnétique parfait, avec une induction magnétique $\vec{B}$ nulle dans le supraconducteur. C'est l'effet Meissner. Cependant un champ magnétique suffisamment fort a pour effet de détruire la supraconductivité. Le seuil, ou valeur critique, du champ magnétique qui détruit la supraconductivité est noté H_c, il dépend de la température.



Effet Meissner dans une sphère supraconductrice refroidie dans un champ magnétique uniforme, au dessous de la température critique les lignes de champ sont éjectés de la sphère

On appelle **supraconducteurs** de **type I** les supraconducteurs pour lesquels la valeur de H_c est trop basse pour qu'ils puissent être utilisés dans la construction des bobines pour aimants supraconducteurs.

Les **supraconducteurs** de **type II**, qui sont généralement des alliages, ont des propriétés supraconductrices jusqu'à un champ critique H_{c_2}. Entre le champ critique inférieur H_{c_1} et le champ critique supérieur H_{c_2} la densité de flux dans le supraconducteur est non nulle et l'effet Meissner est dit incomplet. Entre H_{c_1} et H_{c_2} le supraconducteur est parcouru par des lignes de flux, on dit qu'il est à l'état vortex.

3.3 Matériaux supraconducteurs

Après la découverte de la supraconductivité du mercure en 1911 par Onnes on testa tous les éléments de la classification périodique. La plupart des métaux de transitions peuvent devenir supraconducteurs bien que les meilleurs conducteurs à la température ambiante à savoir le cuivre, l'or et l'argent ne présentent pas de propriétés supraconductrices alors que des éléments isolants peuvent devenir supraconducteurs. Le tableau suivant donne quelques exemples de matériaux supraconducteurs avec les valeurs des températures critiques et des champs critiques.

Matériaux	T_c (K)	B_c (T)	Matériaux	T_c (K)	B_c (T)
Al	1	0,01	$La_{2-x}Sr_xCuO_4$	38	40
Pb	7,2	0,08	MgB_2	39	>50
Nb-Ti	9	14	La(Fe,F)As	55	-
Nb	9,2	0,2	$YBa_2Cu_3O_{6.9}$	92	>100
$PbMo_6S_8$	15	60	$Bi_2Ca_2Sr_2Cu_3O_{10}$	110	>120
Nb_3Ge	23	38	$Tl_2Ca_2Ba_2Cu_3O_{10}$	125	>130

Valeurs des températures critiques et champs critiques pour quelques supraconducteurs