

Aspect macroscopiques et microscopiques de la conduction électrique

Mercredi 9 février 2022

Niveau : L3

Prérequis :

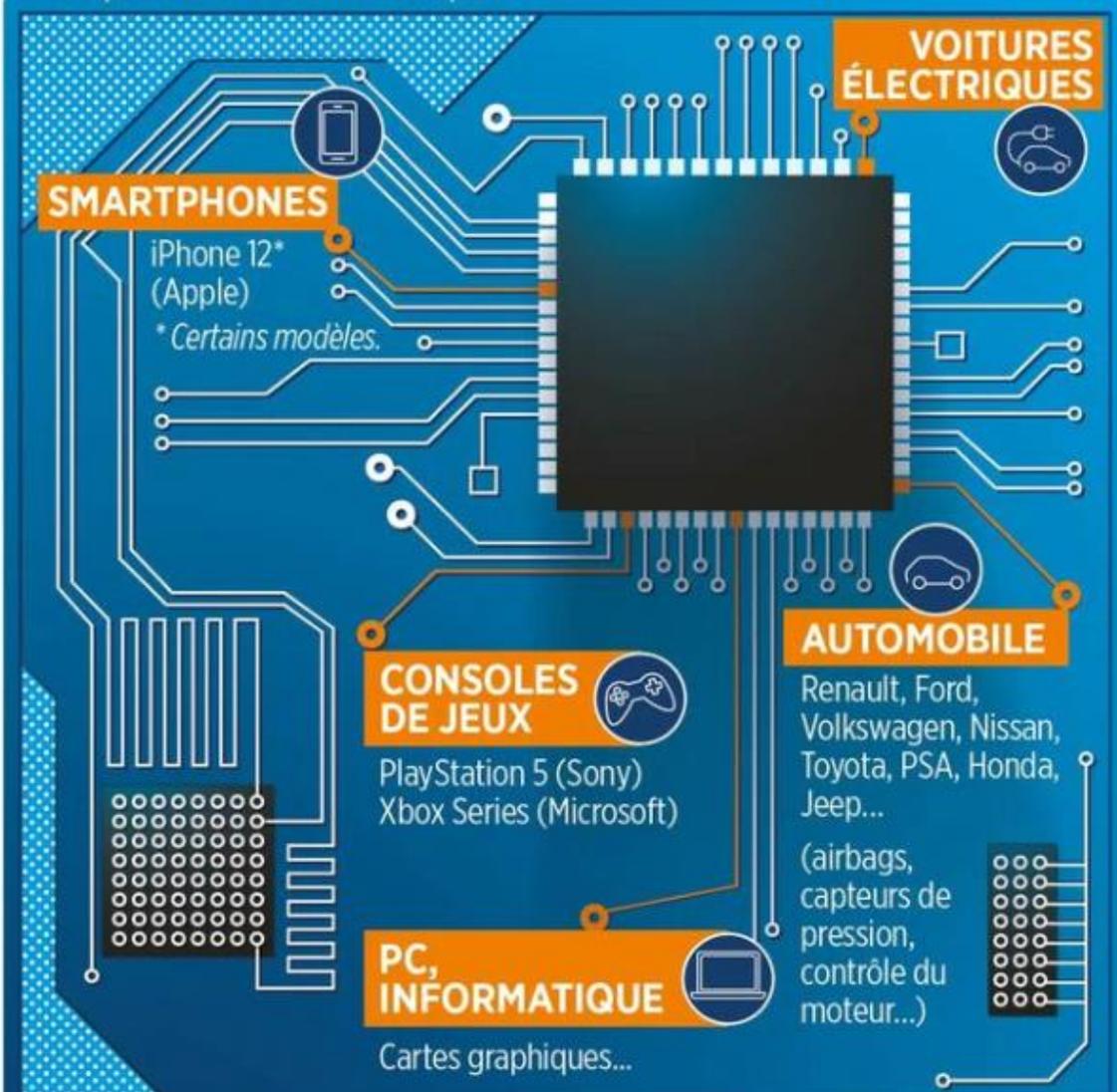
- électrocinétique ;
- modèle de Drude (L2) ;
- décomposition en série de Fourier ;
- équation de Schrödinger, résolution pour un électron libre ;
- théorie des perturbations stationnaires, dégénérescence ;
- notions de matière condensée (réseau de Bravais, réseau réciproque, conditions aux limites périodiques, théorème de Bloch) ;
- énergie de Fermi ;
- statistique de Fermi-Dirac ;
- méthode CLAO, diagrammes d'orbitales moléculaires.

La pénurie mondiale des semi-conducteurs

P

Les secteurs les plus affectés

Semi-conducteur : matériau en silicium sur lequel sont gravés les processeurs électroniques.



LP/INFOGRAPHIE, R.M. 25/2/2021

Semi-conducteurs : que sont ces puces électroniques dont la pénurie perturbe l'économie mondiale ?

Entre l'essor du télétravail et celui des loisirs à la maison, la demande en composants électroniques a fortement augmenté depuis un an et demi. Au point de ralentir d'autres secteurs qui en sont gourmands, comme l'automobile.

Le Monde avec AP, AFP et Reuters -

Pourquoi il y a une pénurie de semi-conducteurs dans le monde

Les retards de production de l'iPhone 12, de la Playstation 5 ou des voitures Renault et Volkswagen sont causés par une pénurie sans précédent de semi-conducteurs. Un marché qui pèse près 440 milliards de dollars et qui fait l'objet d'une guerre technologique entre les grandes puissances industrielles à travers le monde.

Hypothèses du modèle de Drude

Électrons classiques : traitement non quantique, vitesses non relativistes

Présence de collisions (comme en théorie cinétique des gaz)

Électrons indépendants : l'interaction des électrons entre eux est négligée en dehors des collisions

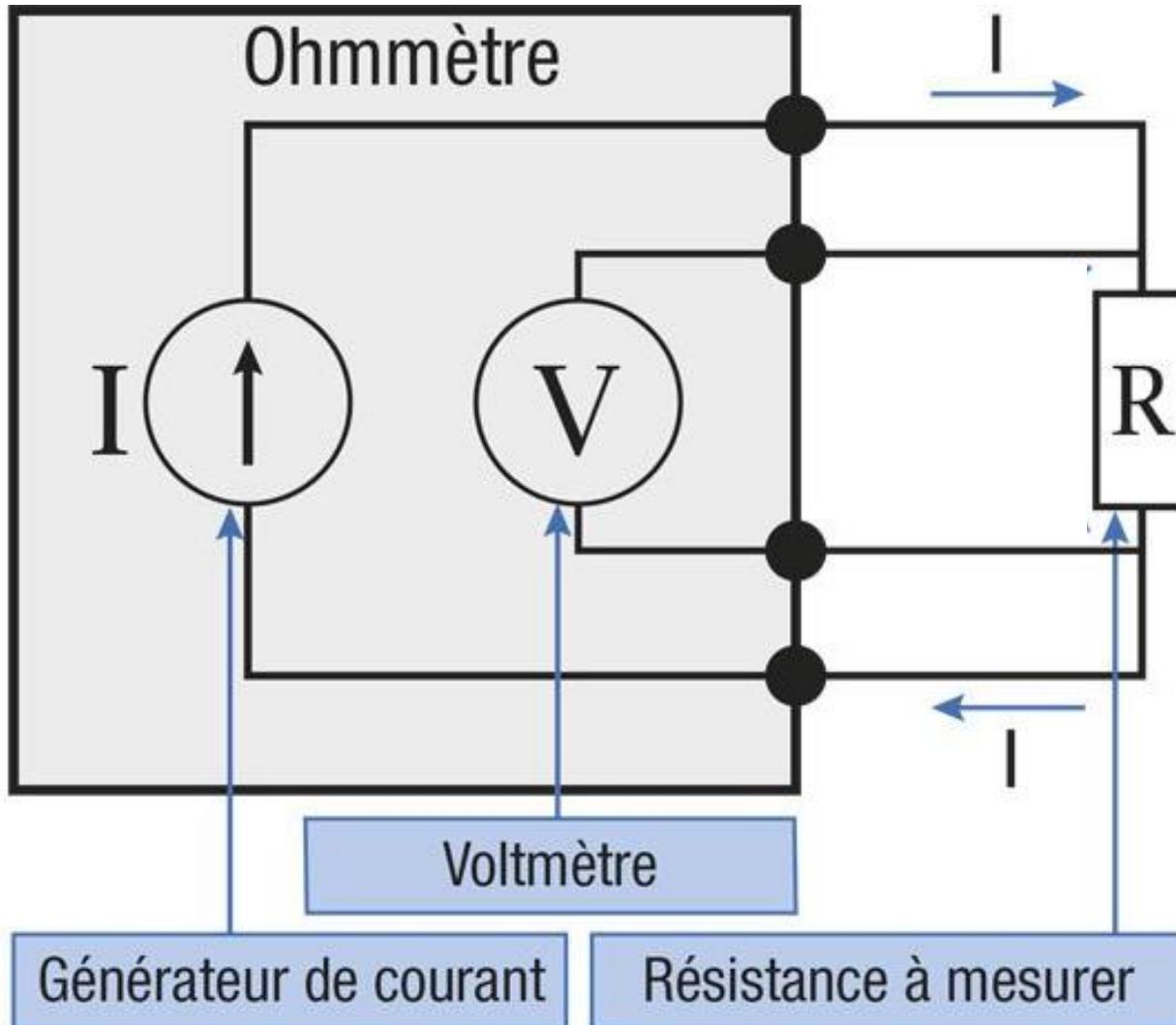
Électrons libres : l'interaction entre les électrons et les ions est négligée en dehors des collisions

La probabilité pour qu'un électron prenne part à une collision dans un intervalle de temps dt vaut $\frac{dt}{\tau}$.

Les électrons établissent un équilibre thermodynamique local uniquement au travers des collisions.

Mesure de la résistance d'un bobinage de cuivre

Source : <https://blog.beamex.com/fr/mesure-de-resistance-a-2-3-ou-4-fils>



Montage quatre fils

$$n = 8,47 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

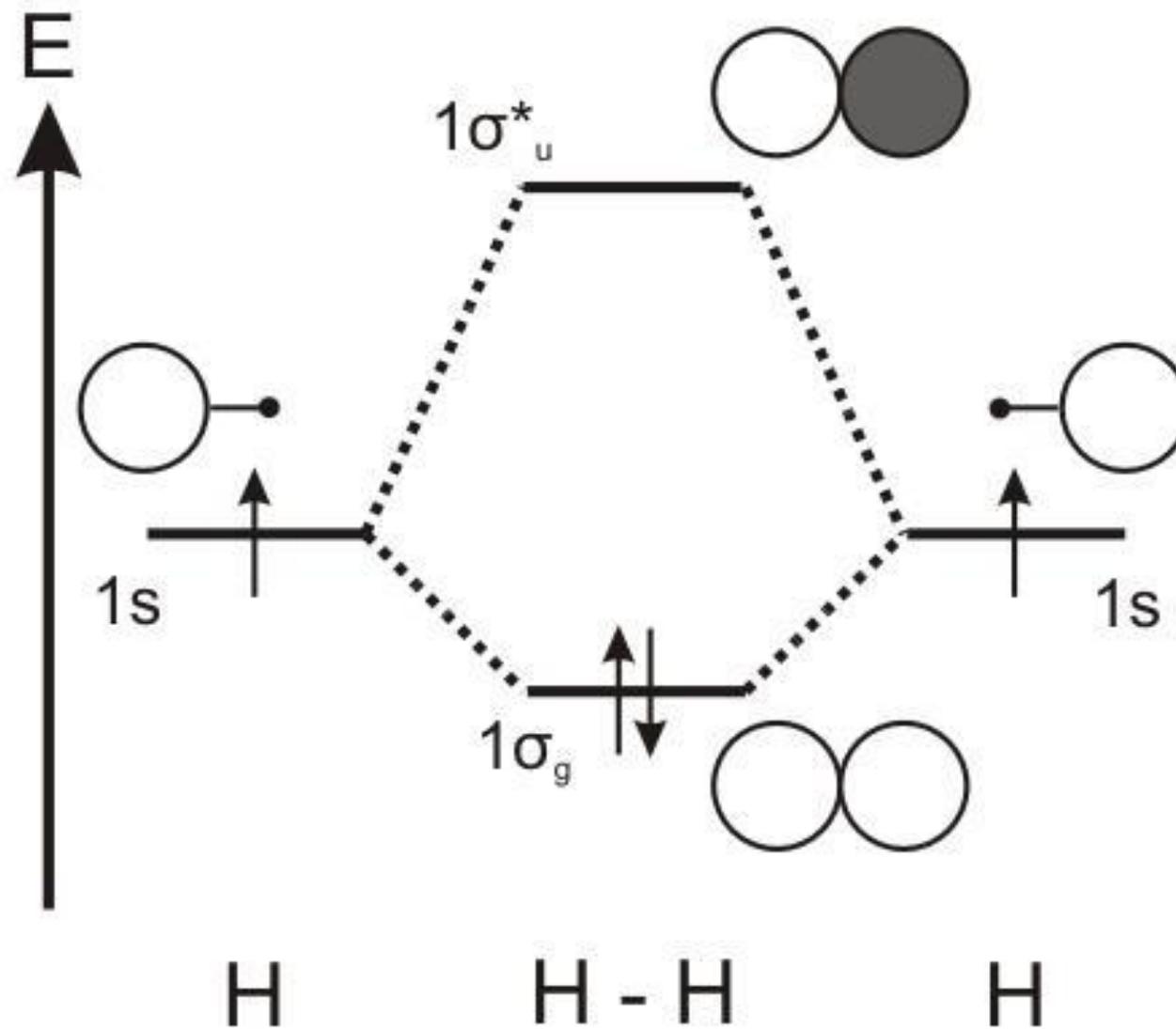
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$l = 38,69 \pm 0,03 \text{ m}$$

$$S = (9,85 \pm 1,76) \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

Diagramme d'orbitales moléculaires du dihydrogène



Source : Wikipédia

Un problème très complexe de prime abord

$$H = \sum_{i=1}^{N_e} \frac{p_i^2}{2m_e} + \sum_{j=1}^{N_i} \frac{p_j^2}{2M_j} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_{i' \neq i} \frac{e^2}{4\pi\epsilon |\vec{r}_i - \vec{r}_{i'}|} \\ + \sum_i \sum_j w_{ij}(\vec{r}_i, \vec{R}_j) + \frac{1}{2} \sum_j \sum_{j' \neq j} w_{jj'}(\vec{R}_j, \vec{R}_{j'})$$

Notations (rappels)

$$\vec{R} = n_1 \vec{a}_1 + n_2 \vec{a}_2 + n_3 \vec{a}_3 \quad (n_1, n_2, n_3) \in \mathbb{Z}^3$$

Vecteur du réseau de Bravais

$$\vec{b}_1 = 2\pi \frac{\vec{a}_2 \wedge \vec{a}_3}{\vec{a}_1 \cdot (\vec{a}_2 \wedge \vec{a}_3)}$$

$$\vec{b}_2 = 2\pi \frac{\vec{a}_3 \wedge \vec{a}_1}{\vec{a}_2 \cdot (\vec{a}_3 \wedge \vec{a}_1)}$$

$$\vec{b}_3 = 2\pi \frac{\vec{a}_1 \wedge \vec{a}_2}{\vec{a}_3 \cdot (\vec{a}_1 \wedge \vec{a}_2)}$$

$$\vec{G}_{hkl} = h\vec{b}_1 + k\vec{b}_2 + l\vec{b}_3$$

Vecteur du réseau réciproque

$$\vec{G}_{hkl} \cdot \vec{R} = 2\pi m \quad (m \in \mathbb{Z})$$

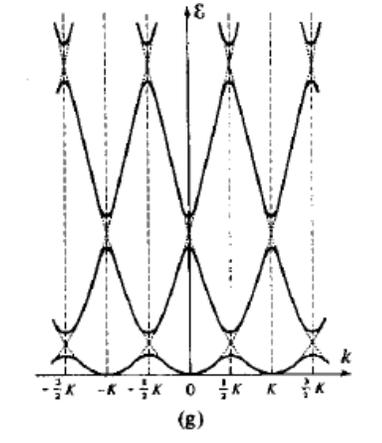
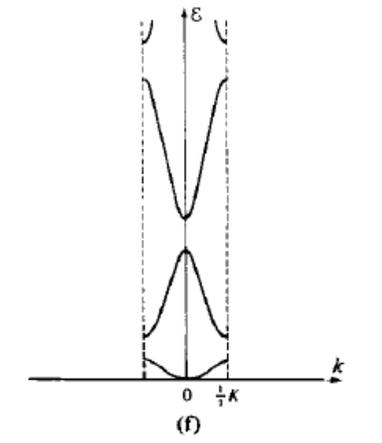
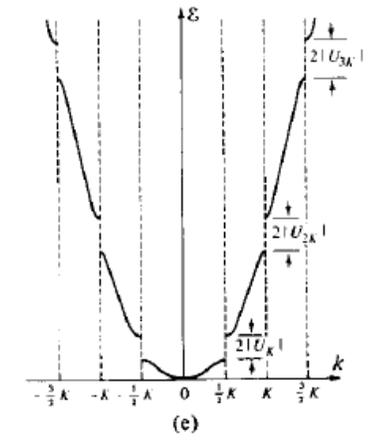
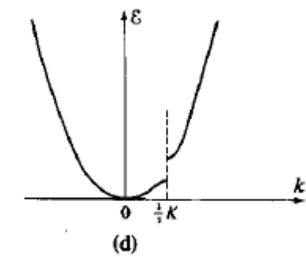
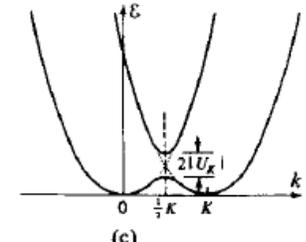
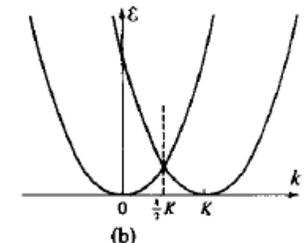
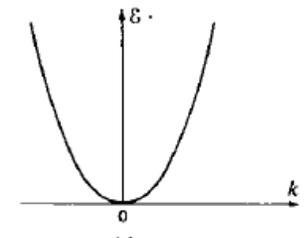
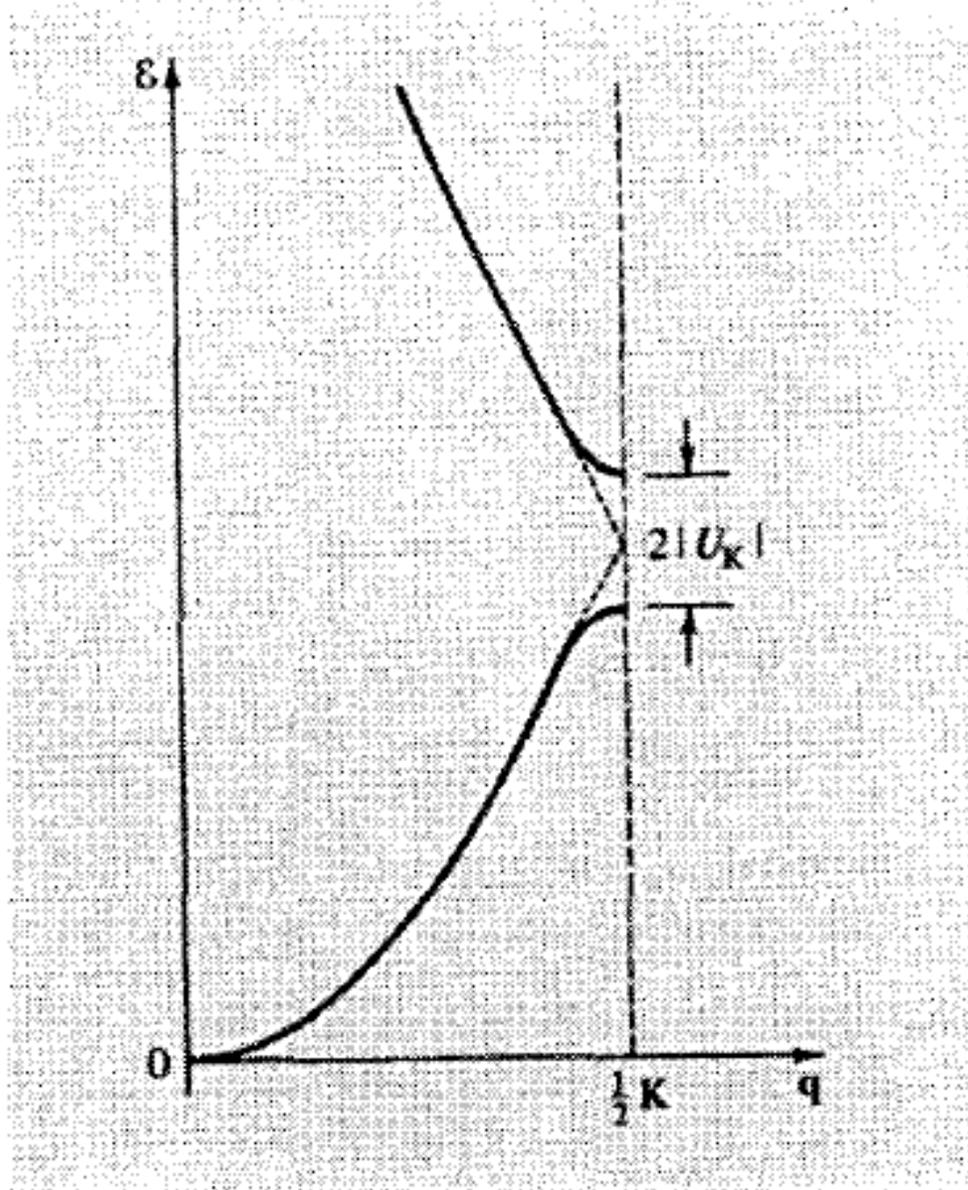
$$\vec{q} = \frac{2\pi p}{Na} \vec{u}_x \quad (p \in \mathbb{Z}) \text{ à } 1D$$

$$\vec{q} = \vec{k} - \vec{G}$$

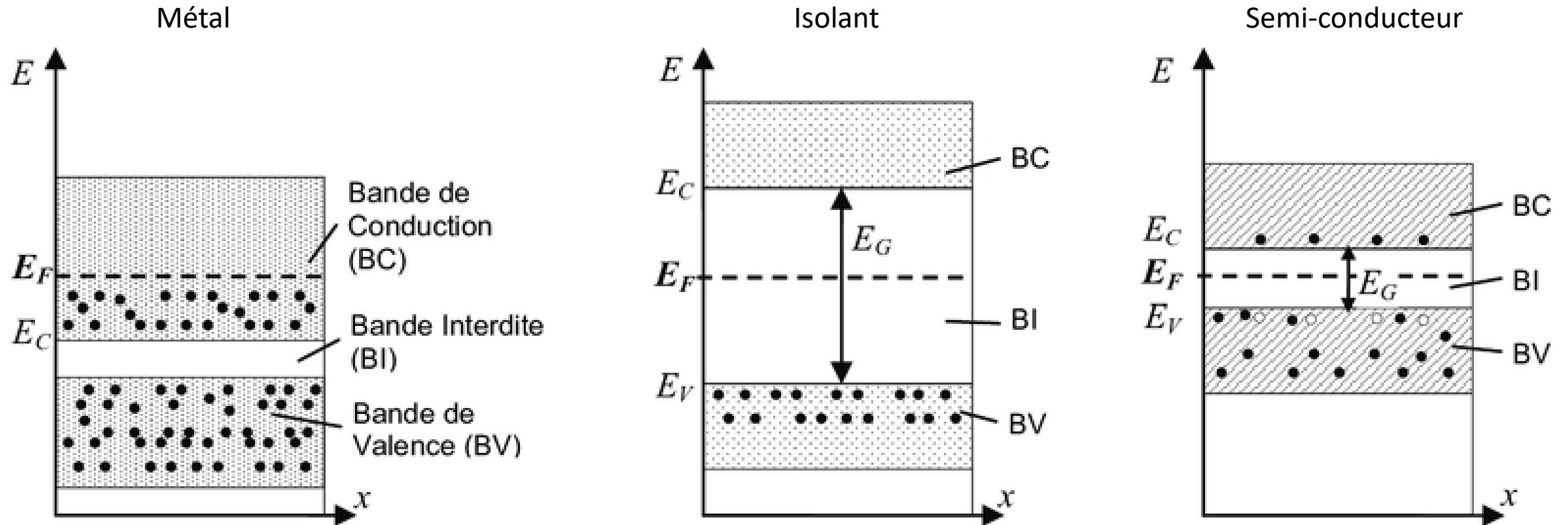
Dans la première zone de Brillouin

Vecteur du réseau réciproque

Visualisation de la bande interdite



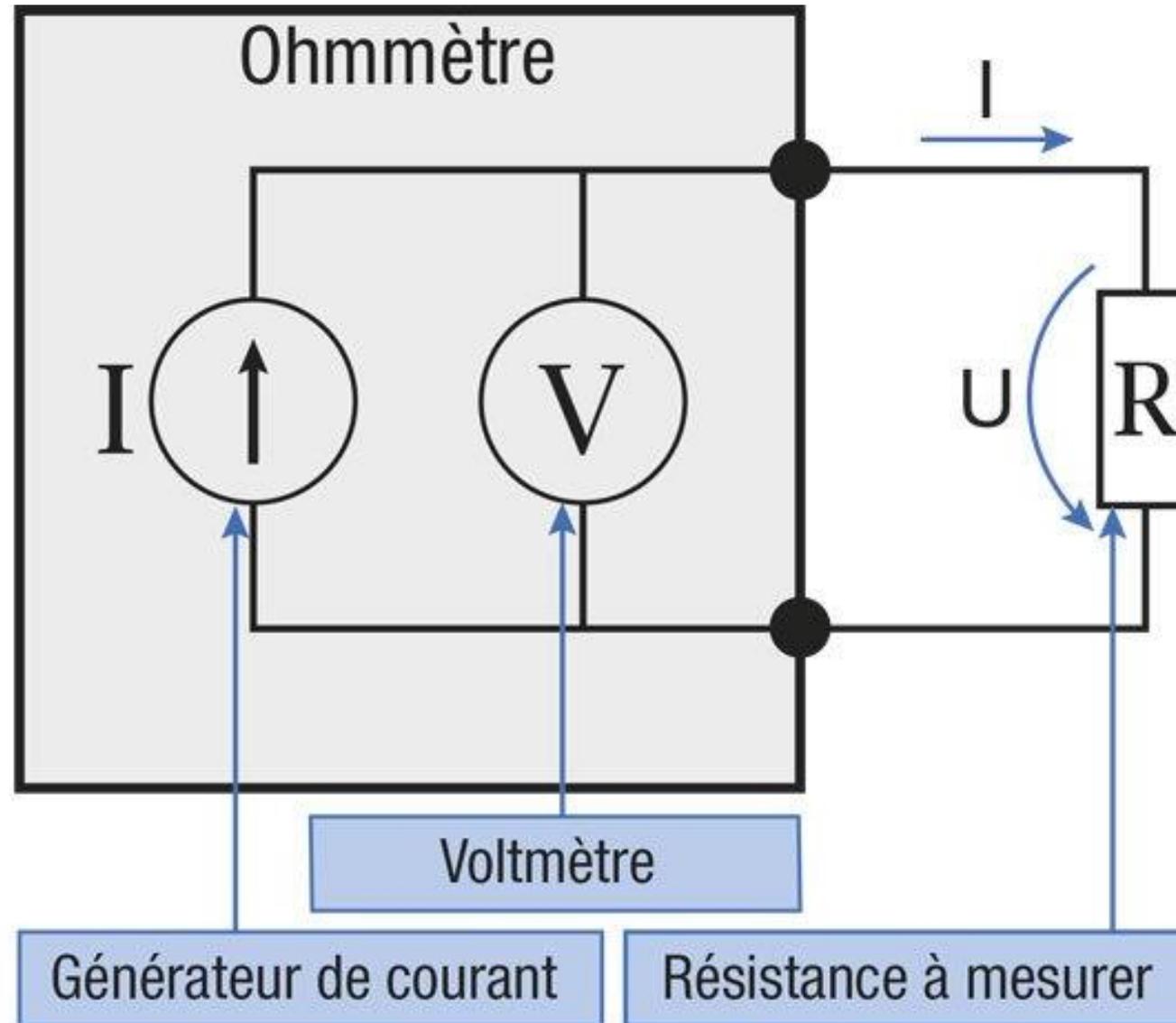
Nature d'un matériau



Source : https://www.researchgate.net/figure/3-Diagramme-de-bandes-denergie-dun-conducteur-dun-isolant-et-dun-semiconducteur_fig3_277045717

Intérêt du montage quatre fils

Source : <https://blog.beamex.com/fr/mesure-de-resistance-a-2-3-ou-4-fils>



Montage deux fils