

Mots-clefs « conducteurs » et « semi-conducteurs ».

1 Conducteurs et semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des matériaux qui ont une conductivité électrique intermédiaire entre celle des isolants et celle des conducteurs. Comment expliquer ces différences de conductivité ?

Document 1 – Bandes d'énergie

Le comportement électrique des conducteurs, des semi-conducteurs et des isolants est modélisé par la théorie des bandes énergétiques. Selon ce modèle, les niveaux d'énergie des électrons des atomes d'une structure cristalline forment des bandes d'énergie appelées bandes permises. Les bandes responsables des propriétés conductrices sont la bande de valence (BV) et la bande de conduction (BC). Les énergies comprises entre deux bandes permises constituent une bande interdite (BI). Seuls les électrons de plus hautes énergies, présents dans la bande de conduction, peuvent se détacher de la structure cristalline et participer à la conduction du courant électrique.

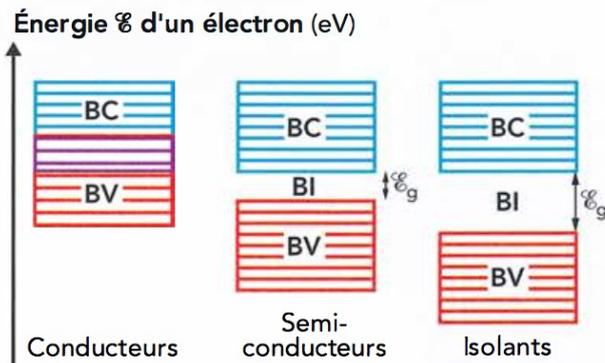


FIG. 1 – Bande de conduction (BC), de valence (BV) et bande interdite (BI) d'un électron dans une structure cristalline.

Pour les conducteurs, les bandes de valence et de conduction se chevauchent. Ainsi, certains électrons sont libres d'évoluer dans la structure cristalline (cas des métaux). En revanche, pour les semi-conducteurs et les isolants, les bandes de valence et de conduction sont séparées par une bande interdite. La différence entre semi-conducteur et isolant est due à la valeur \mathcal{E}_g de cette bande interdite, voisine de 1 eV pour les semi-conducteurs et de 6 eV pour les isolants.

Document 2 – Dopage d'un semi-conducteur

Un réseau monocristallin d'atomes de silicium, Si, est un semi-conducteur. L'atome de silicium ayant quatre électrons de valence, il établit quatre liaisons covalentes avec quatre atomes voisins. Un semi-conducteur au silicium a une conductivité quasi nulle. Afin d'augmenter sa conductivité, on insère dans la structure cristalline des

atomes d'autres éléments, appelés dopants.

Pour un semi-conducteur au silicium dopé au phosphore, un atome de phosphore, P, remplace un atome de silicium dans le réseau. L'atome P 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 de phosphore étant donneur d'électron, on parle de dopage de type n (n pour négatif).

Par un raisonnement analogue, un atome dopant possédant trois électrons de valence, comme le Bore, B, 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 de bore étant accepteur d'électron, on parle de dopage de type p (p pour positif).

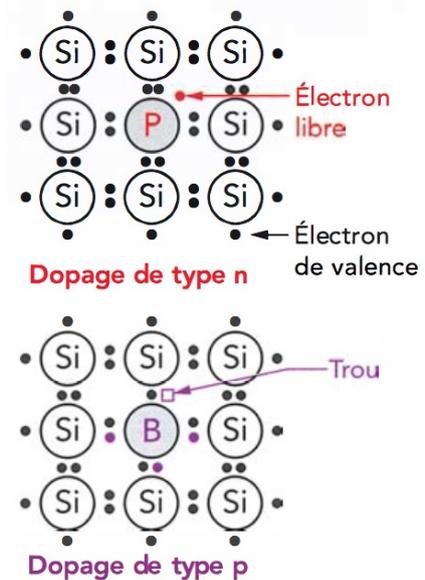


FIG. 2 – Dopages n ou p du silicium.

Les éléments dopants génèrent des niveaux d'énergies dans la bande interdite. Ces niveaux sont proches des bandes de valence ou de conduction.

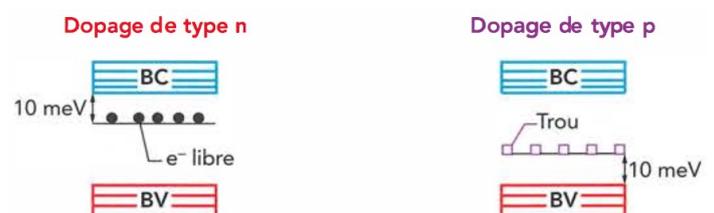


FIG. 3 – Niveaux d'énergie dans la bande interdite.

2 La diode

La diode est le plus simple des composants formés à partir de semi-conducteurs. Ce composant est formé d'une « jonction pn », c'est-à-dire d'un semi-conducteur dopé p et d'un semi-conducteur dopé n, placés en série. Voyons maintenant le comportement électrique d'un tel composant.

2.1 Vérification des composants

- Une **diode** est un composant dont le symbole est :

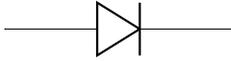


FIG. 4 – Symbole d'une diode.

- Voici quelques diodes de formes diverses :

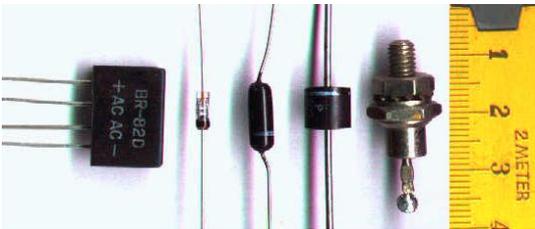


FIG. 5 – Différentes formes de diodes.

- La **barre** sur le schéma correspond à la barre sur le composant (la cathode).

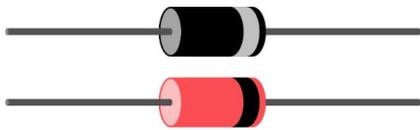


FIG. 6 – Schéma d'une diode.

- La flèche est « dans le sens » du courant quand la diode est dans le sens **passant**.

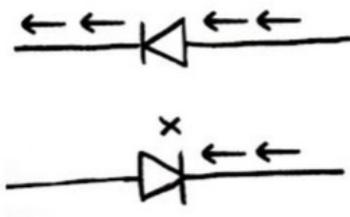


FIG. 7 – Sens passant et sens bloqué d'une diode.

- Pour **tester** la diode, il faut la brancher sur un multimètre en déplaçant le commutateur rotatif sur le petit symbole de la diode, dans la gamme « ohmmètre » (flèche ci-dessous).



FIG. 8 – Test d'une diode. Bien noter le branchement des fils et la position du commutateur.

- **Réaliser ce test**, et bien noter le sens de branchement : fil noir sur l'anode, fil rouge sur la cathode !

a. Noter la valeur de la **tension de seuil** U_S , en volt (V)

- **Vérifier** au multimètre branché en ohmmètre les valeurs des résistances à disposition sur votre table.

b. Noter les valeurs des **résistances**, en kilohm ($k\Omega$). Noter le calibre utilisé pour ces mesures.

2.2 Caractéristique d'une diode

- On va réaliser le montage ci-dessous :

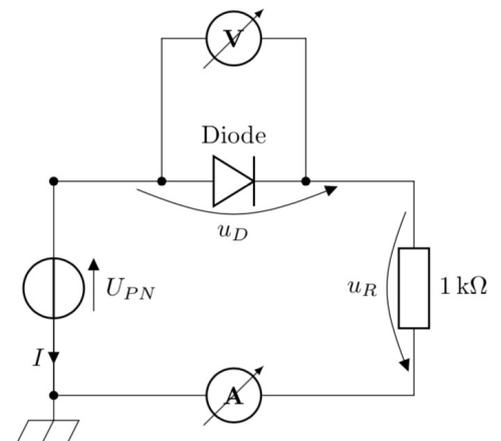
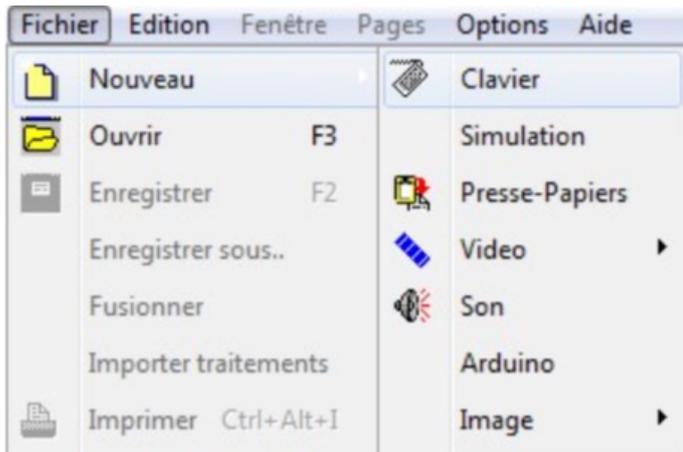
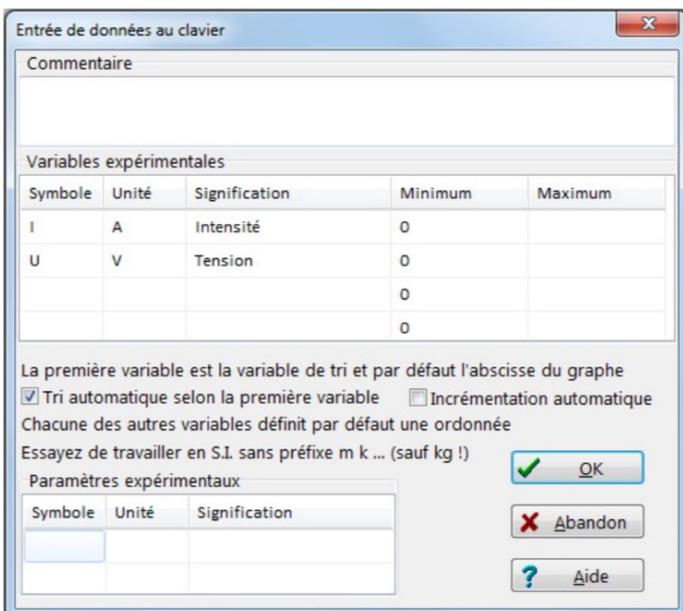


FIG. 9 – Mesures des tensions et intensité parcourant une diode.

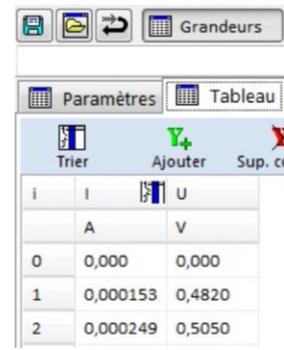
- Conseil : dans un premier temps, commencez par réaliser une boucle ou maille comportant, dans l'ordre : le générateur ; la résistance de 1 k Ω ; la diode ; l'ampère-mètre. Appel du professeur pour vérifier ce montage.
- Dans un deuxième temps, rajoutez le voltmètre aux bornes de la diode. Appel du professeur pour vérifier l'ensemble.
- Sur le bureau : ouvrir le dossier « Logiciels physique », double-clic sur le raccourci « Regressi nouvelle version ».
- Une fois Regressi ouvert, cliquer sur Fichier > Nouveau > Clavier.



- Entrer les variables expérimentales :
Symbole : I, Unité : A, Signification : intensité, et inutile de changer ou de remplir Minimum et Maximum ;
Symbole U, Unité V, Signification : tension ;
Valider par Ok.

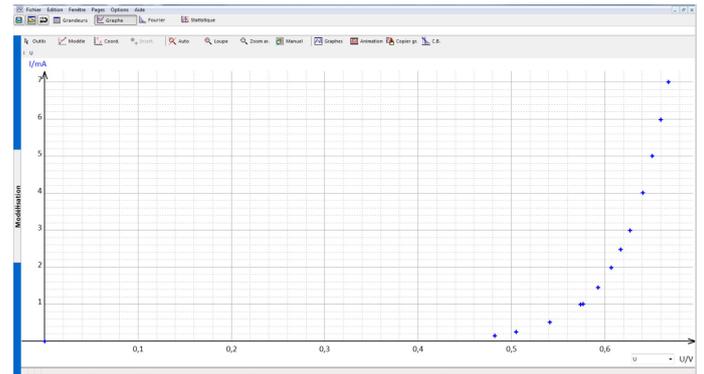


- Faire varier la tension U_{PN} entre les valeurs $-3,0$ V et $6,0$ V, et relever pour chaque tension les valeurs de la tension U_D aux bornes de la diode et de l'intensité I qui la traverse.



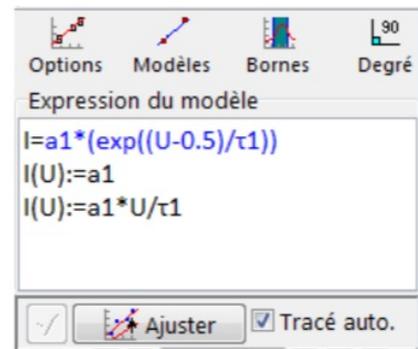
Remarque : Le générateur continu implique de débrancher et de rebrancher pour pouvoir explorer les valeurs négatives.

- Cliquer sur « Graphe ».



Par défaut, le logiciel trace la deuxième valeur expérimentale entrée au clavier en fonction de la première. Cliquer sur Coord. permet d'afficher les options du graphique.

- Modéliser la courbe par une exponentielle, en modifiant un des modèles pour tenir compte de l'existence de la tension de seuil.



c. Imprimer le graphe $I = f(U_D)$ et la modélisation précédente (appelé caractéristique de la diode, à rendre avec votre copie, une feuille par personne).

d. Indiquer sur quelle partie de la caractéristique la diode :
— conduit le courant électrique (diode passante) ;
— bloque le courant électrique (diode bloquée).

e. Déterminer graphiquement la valeur de la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle devient passante (appelée tension de seuil et notée U_S).

f . La diode n'est pas un dipôle symétrique. Justifier.

2.3 Fonctionnement interne d'une diode

Comme indiqué en introduction de l'activité, une diode est formée par la mise en contact de deux semi-conducteurs, l'un dopé n, l'autre dopé p. La zone de contact est appelée jonction.

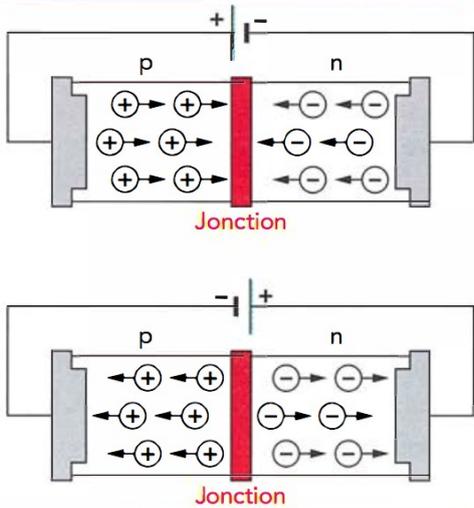


FIG. 10 – Déplacement des électrons et des trous.

Le semi-conducteur dopé n conduit le courant par « saut d'électrons », les charges négatives sont schématisées par \ominus . Le semi-conducteur dopé p conduit le courant par « saut de trous », assimilables à des charges positives schématisées par \oplus .

Lorsque l'on applique une tension électrique aux bornes de la diode, les électrons et les trous migrent en sens inverse. Selon la polarisation choisie, les porteurs de charge migrent vers la jonction ou s'en éloignent. Dans le premier cas, soit un électron « comble » un trou, soit les porteurs de charges traversent l'autre semi-conducteur jusqu'à atteindre l'électrode opposée. Dans le second cas, la jonction est dépeuplée de porteurs de charges.

g. Quel est le sens conventionnel de circulation du courant électrique ? Quel est celui des électrons ?

h. Sur les schémas ci-dessus, justifier le sens de déplacement des porteurs de charges (trous et électrons).

i . Une diode peut être passante ou bloquée. Associer, à chacun des deux états de la diode, l'un des schémas.