

## THÈME : MATÉRIAUX

### Partie structure et propriétés

#### Séances 5, 6, 7 : isolants, conducteurs et semi conducteurs. Applications

##### 1) Recherches préliminaires

Définir les termes suivants :

- « Matériau » (*en plus de la définition générale, vous proposerez au moins trois exemples qui permettront un marquage historique net des progrès humains dans ce domaine*)
- « Electricité » .
- « isolant », « conducteur », « semi-conducteur », « semi-conducteur dopé », « supraconducteur » (*pour chacun des termes, associer au moins un exemple*)
- « métal » (*trouver la définition et commentez-là*)
- « diode à jonction »
- « transistor »

##### 1) Mise en évidence expérimentale : tracé de caractéristiques intensité-tension ou tension-intensité de différents dipôles

Principe : enregistrer les variations de l'intensité du courant traversant un dipôle en fonction de la tension imposée aux bornes de ce dipôle. Interpréter les résultats en termes de conductivité.

###### a) Conducteur ohmique

A l'aide du matériel disponible sur la paillasse, mettre en œuvre un montage permettant la construction de la **caractéristique d'un conducteur ohmique** :

Il s'agit d'être en mesure de proposer aux bornes du conducteur ohmique étudié une série de valeurs de tension électrique et de noter les valeurs de l'intensité du courant correspondante.

Les couples de valeurs (I, U) obtenus sont présentés sous la forme d'un graphe  $U = f(I)$

Matériel : un conducteur ohmique, deux multimètres, un générateur de tension continue réglable.

Réaliser une série de mesures.

Tracer la caractéristique  $u = f(i)$  (au choix : à la main ou à l'aide du tableur Regressi).

Modéliser la caractéristique obtenue sous la forme d'une relation entre U et I. La loi mise en évidence est la loi d'Ohm.

Conclure (vous pourrez vous aider de recherches sur le terme « conducteur ohmique ») : **la caractéristique obtenue confirme-t-elle le caractère conducteur du dipôle ?**

## b) Jonction PN (diode silicium)

A l'aide du matériel, du logiciel d'acquisition (avec instructions) et du schéma de montage (*voir pendant la séance*), présenter la caractéristique  $I_D = f(U_D)$  d'une diode à jonction PN,  $U_D$  et  $I_D$  étant respectivement la tension aux bornes de la diode étudiée et l'intensité du courant qui la traverse.

Le montage consiste en un générateur de tension continue  $V_{SA}$  dont on fait automatiquement varier la valeur entre -1V et 3V. Aux bornes de ce générateur est branchée l'association en série d'une diode et d'un conducteur ohmique.

Le dispositif d'acquisition est tel que l'on enregistre  $U_R$ , la tension aux bornes du conducteur ohmique, sur la voie d'acquisition EAD1.

La tension d'alimentation  $V_{SA}$  est directement délivrée par la sortie analogique du boîtier d'acquisition et les paramètres concernant ses valeurs successives sont réglés. Les valeurs de  $V_{SA}$  sont aussi enregistrées

Une fois l'enregistrement réalisé, les données sont *exportées vers Regressi*.

A l'aide de Regressi, nous pouvons *créer de nouvelles grandeurs* permettant de tracer la caractéristique demandée :

- Connaissant la loi d'Ohm aux bornes d'un conducteur ohmique (confirmée suite à notre premier tracé de caractéristique), nous pouvons créer la grandeur  $I_D$  à partir de  $U_R$  et de la résistance du conducteur ohmique.
- Connaissant les valeurs de  $V_{SA}$  et de  $U_R$ , on obtient facilement celle de  $U_D$ .
- Nous pouvons enfin tracer la caractéristique  $I_D = f(U_D)$

## **La caractéristique obtenue confirme-t-elle le fonctionnement de la jonction PN décrit précédemment ?**

## c) Cellule photovoltaïque

TP du livre p 155 : réaliser les manipulations et répondre aux questions

Activité documentaire p 150 : à lire, cela pourra vous aider.

**Malgré des similarités de structures, quelle différence essentielle de comportement faut-il noter entre la cellule photovoltaïque et une simple diode ?**

## Annexe 1 : définitions (réponses) et commentaires

- « Electricité » : contient l'idée que des charges vont se déplacer (les expériences originelles sont des expériences de frottements d'un matériau avec un autre générant des charges électriques à la surface de ces matériaux, ces charges pouvant avoir deux natures opposées se manifestant sous la forme d'interactions répulsives ou attractives, d'où l'appellation « charge + » et « charge - »).  
Le déplacement évoqué semble implicitement considéré comme ordonné (par exemple, toutes les charges se déplacent d'un matériau vers l'autre... c'est le courant électrique).  
Dans les solides courants, ce sont des électrons qui peuvent se déplacer sous forme de courant électrique.
- « Conducteur électrique » : il laisse passer le courant électrique, il le guide, aussi, la majorité du courant qui circule reste localisé sur le matériau conducteur...
- « semi- conducteur » : eh bien, d'après le nom, les électrons ont un peu plus de mal à y circuler facilement...
- Et dans un « isolant » c'est pire.

Il faudrait expliquer deux choses :

- Qu'est-ce qui provoque la circulation des électrons dans les solides ?

Une contrainte, une force, un champ de force... tout cela causé par une tension électrique imposée entre deux points du milieu conducteur (c'est pour cela qu'on l'appelle volontiers différence de potentiel).

- « Circuler », qu'est-ce que cela suppose ? Que les électrons se baladent tous dans la même direction et le même sens et qu'ils se sont donc arrachés à l'attraction de leur noyau ??

Alors nous serons capables de comprendre pourquoi de nombreux métaux sont conducteurs alors que le silicium (Si) et le diamant (C), sont des semi-conducteurs...

## Annexe 2 : Principe de la conduction électrique dans les matériaux

Les valeurs de l'énergie des électrons d'un atome sont quantifiées et consistent en un ensemble de niveaux d'énergie. Cela se présente en général sous la forme d'une graduation verticale (en eV ou en J) le long de laquelle des lignes horizontales indiquent les niveaux, les valeurs d'énergies possibles (1ère S).

Ce modèle énergétique de l'atome isolé devient un modèle à **bandes d'énergie** si nous considérons maintenant un ensemble ordonné d'un grand nombre d'atomes entassés les uns sur les autres dans un matériau solide.

On distingue particulièrement deux bandes :

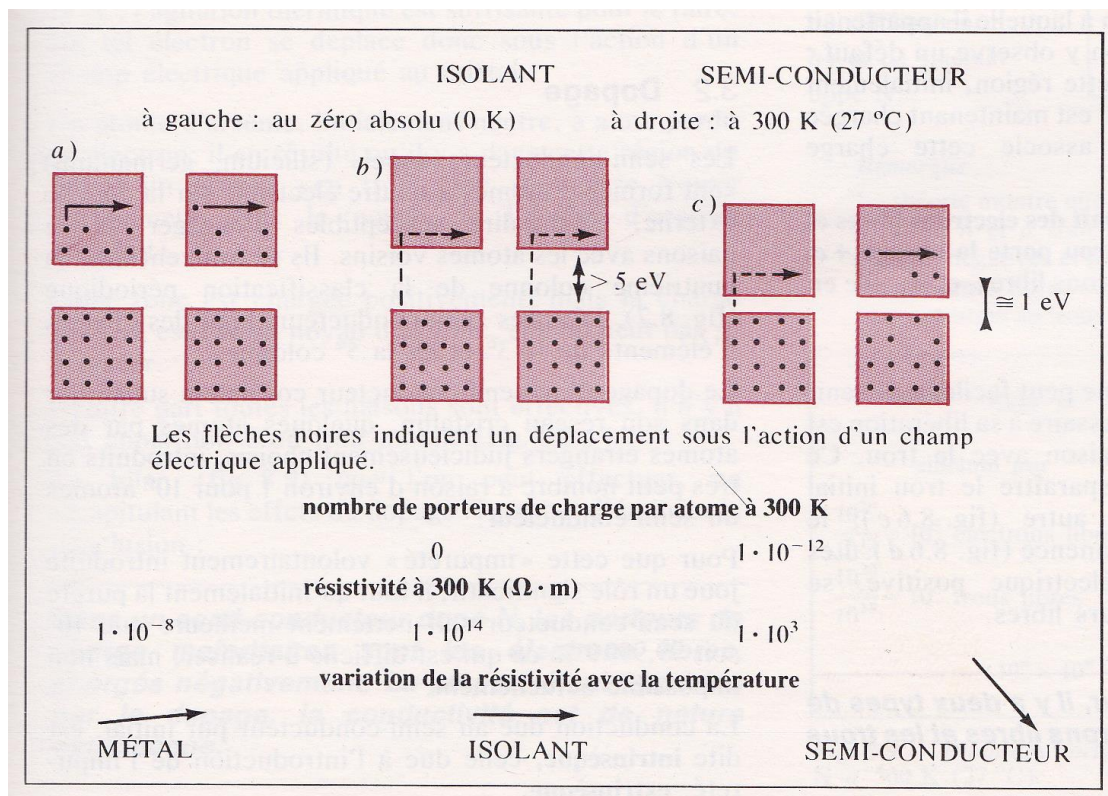
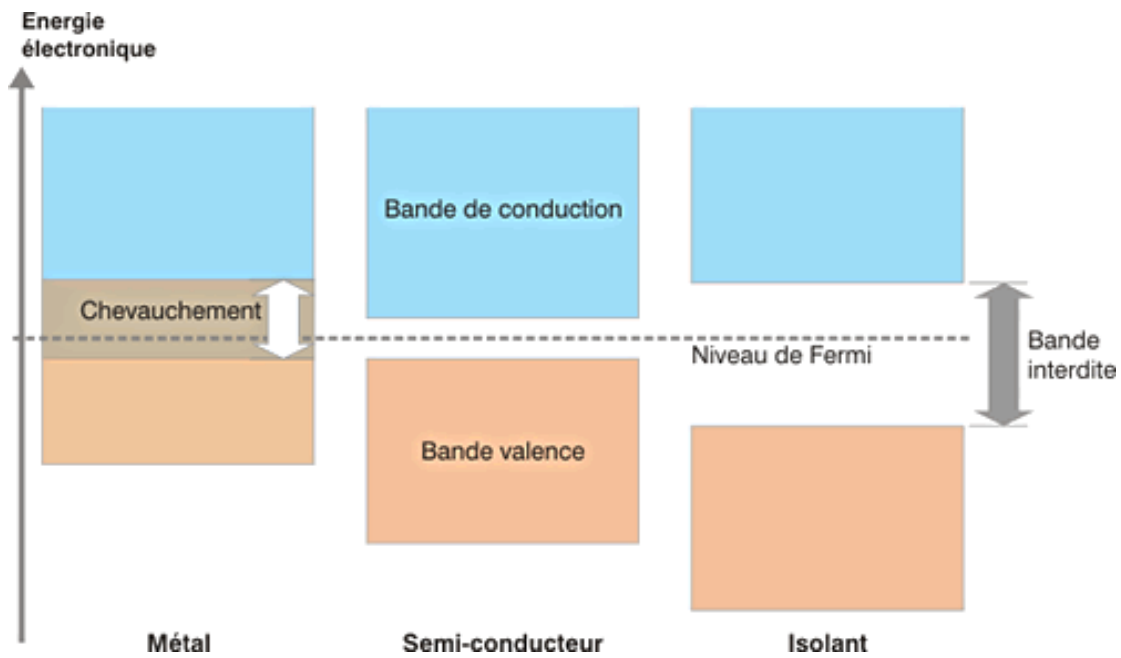
- La bande de valence BV, constituée des niveaux occupés par les électrons externes des atomes, par exemple ceux qui sont utilisés pour réaliser des liaisons entre atomes voisins.
- La bande de conduction dans laquelle on trouve des niveaux d'énergie possible à des valeurs plus élevées, signifiant que l'attraction du noyau y est moindre. Ainsi, sous l'effet de l'agitation dite thermique ou sous l'action d'un champ électrique, un électron se trouvant dans un niveau de cette bande pourra s'arracher à l'influence de son noyau, se mettre en mouvement et circuler librement (mais dans la direction imposée par la ddp, ou le champ) parmi l'ensemble des atomes constituant le matériau. Les énergies dans la BC sont suffisantes pour que l'électron soit facilement arraché à l'attraction de son noyau.

### 1) Isolants, conducteurs semi-conducteurs

Dans les conducteurs, les valeurs d'énergie des électrons de valence correspondent aux valeurs d'énergie permettant la conduction, c'est-à-dire que les électrons de valence sont suffisamment peu liés à leur noyau pour lui être facilement arrachés sous l'action d'une force électrique créée par une ddp. On dit qu'il y a des électrons de valence qui occupent aussi les niveaux d'énergies de la bande de conduction.

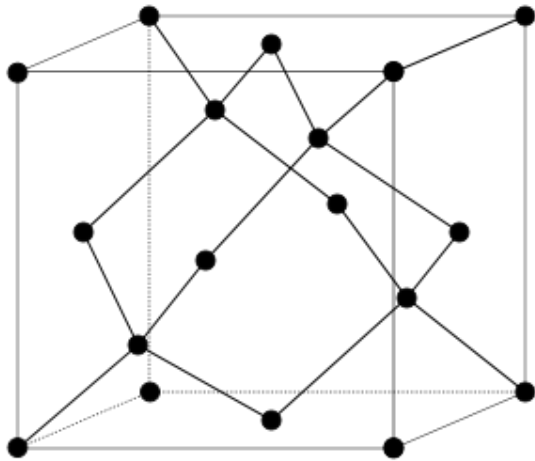
Dans les isolants, il n'y a pas d'électrons qui occupent la bande de conduction et l'énergie qu'il faut fournir pour exciter les électrons les plus externes afin de les faire passer dans la bande de conduction est très élevée, largement supérieure à l'énergie dite d'agitation thermique. Il y a une zone de valeurs d'énergie non permises (une « bande interdite ») qui a une largeur supérieure à 5 eV.

Pour les semi-conducteurs, la bande interdite est d'environ 1 eV et il est possible que certains électrons de valence acquièrent l'énergie suffisante pour accéder à un état correspondant à la bande de conduction.



Parentèse  $E_c = kT$  ... faire faire le calcul : 0,02 eV pour un électron à température ambiante.

Le semi-conducteur le plus célèbre est le silicium (Si) : même colonne que C, ligne du dessous. Il y a 4 électrons externes. A l'état solide, il peut prendre la forme d'une structure tétraédrique qui se répète, chaque atome de silicium devant se lier 4 fois (par covalence, en partageant ses 4 électrons externes) de manière à réaliser son octet externe. Tous les électrons externes sont donc impliqués dans les liaisons.



(maille de silicium)

Le passage d'un électron dans la bande de conduction (seul état possible pour que cet électrons circule sous l'effet d'une ddp) a pour conséquence la rupture d'une liaison Si-Si, ce qui n'est pas très favorable...

(Ceci nous permet de soupçonner que dans les métaux, matériaux conducteurs, les liaisons ne sont pas des liaisons covalentes localisées et dirigées de manière claire)

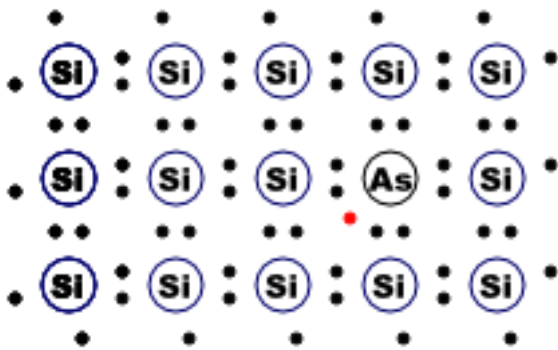
## 2) Des idées de génie

### a) Principe

Pour augmenter la conduction dans du silicium, on décide de doper le silicium, c'est à dire à substituer dans son réseau cristallin quelques atomes de Si par des atomes étrangers bien choisis (un sur

### a) Dopage N, conduction par électrons.

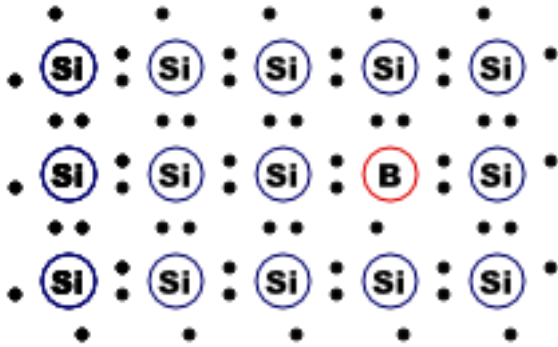
Le silicium est *dopé* en introduisant des impuretés dans le cristal. On distingue deux types de dopage suivant la nature des éléments ajoutés au silicium. On parle de semi-conducteur *de type n* lorsque le dopage est réalisé avec des éléments ayant 5 électrons de covalence comme le phosphore, l'arsenic et l'antimoine. L'atome avec 5 électrons de covalence forme 4 liaisons de covalence et garde un électron qui est alors relativement libre.



*animation*

b) Dopage P, conduction par trous

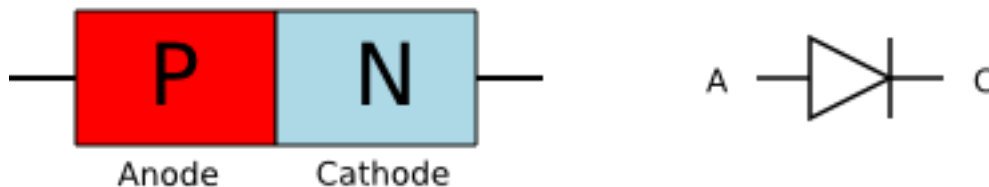
On parle de semi-conducteur *de type p* lorsque le dopage est réalisé avec des éléments ayant 3 électrons de covalence comme le bore, l'aluminium et le gallium. L'atome avec 3 électrons de covalence ne peut former que 3 liaisons de covalence. Il y en quelque sorte un trou d'électron (cf. figure ci-dessous).



*animation*

c) La jonction PN !

Une jonction entre un semi-conducteur de type n et un semi-conducteur de type p est appelée une *diode*. La partie de type n est appelée *cathode* et la partie de type p est appelée *anode*. Le courant électrique ne peut passer à travers une diode que dans un seul sens comme l'évoque son symbole en forme d'entonnoir.



Diode

Le principe de fonctionnement de la diode est le suivant. Les électrons libres du semi-conducteur de type n ont tendance à aller boucher les trous du semi-conducteur de type p. Il en découle une diffusion des électrons de la région dopée n vers la région dopée p. Chaque électron qui se déplace laisse un ion positif dans la région n. Il s'ensuit donc un champ électrique de rappel vers la région n qui conduit à un équilibre. Dans cet équilibre, il y a une zone, appelée *zone de charge d'espace* qui ressemble à du silicium non dopé et où il y a en outre un champ électrique.

Si on applique une ddp positive entre la cathode et l'anode, les électrons sont attirés vers le bord de la cathode et les trous vers le bord de l'anode. La zone de charge d'espace s'étend et la diode n'est pas conductrice. Si on contraire, on applique une ddp positive entre l'anode et la cathode qui est supérieure au champ à l'équilibre, les électrons peuvent circuler de la cathode vers l'anode et la diode est conductrice.