

Un semi-conducteur

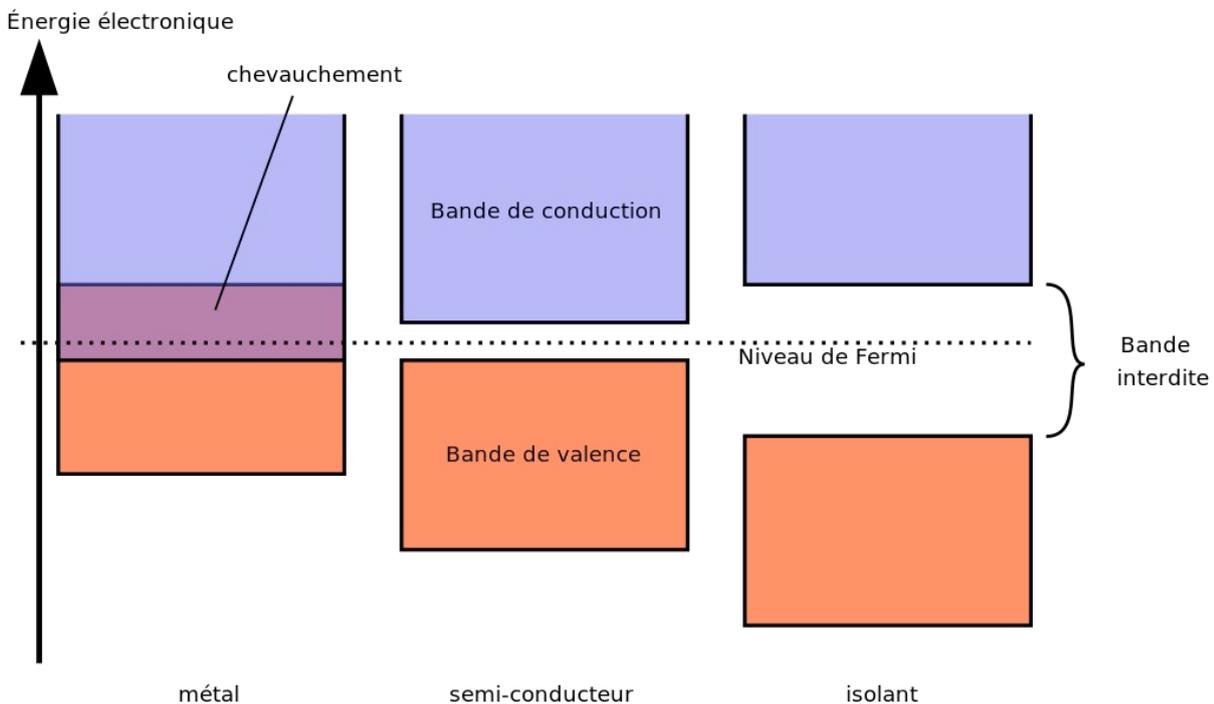
Un semi-conducteur, comme **le silicium**, c'est un matériau qui n'est ni tout à fait un conducteur d'électricité, ni tout à fait un isolant. Il peut être soit l'un, soit l'autre selon diverses conditions.

Le caractère conducteur ou isolant prend sa source dans la structure même des atomes : chaque élément du tableau périodique possède un certain nombre d'électrons qui sont agencés autour d'un noyau. C'est cet agencement sous la forme de couches d'électrons, différent selon les éléments, qui est responsable de la conductivité électrique.

Les électrons d'un atome peuvent avoir plusieurs rôles au sein d'une structure d'atomes :

- électrons de cœur : ceux-ci sont proches du noyau et n'interagissent pas vraiment avec les autres atomes ;
- électrons de valence : ceux-ci sont sur les couches externes de l'atome et permettent de créer des liaisons interatomiques et de former les molécules ;
- électrons de conduction : ceux-ci sont responsables de la circulation du courant électrique.

On peut schématiser l'ensemble sous la forme de couches. Sur le schéma suivant, on a représenté les couches d'électrons de valence et d'électrons de conduction :



On voit que dans un métal, certains électrons sont à la fois dans la bande de valence et dans la bande de conduction. Cela signifie qu'un métal peut conduire le courant sans autre forme de traitement physico-chimique.

Dans un isolant, par contre, les deux bandes sont séparées par un espace appelé « **bande interdite** » : cela signifie que les électrons ne peuvent pas s'y trouver. Dans le cas des isolants, les électrons externes sont tous dans la bande de valence et aucun ne se trouve dans la bande de conduction : ces matériaux ne peuvent donc pas conduire l'électricité.

Enfin, dans le cas des semi-conducteurs, au milieu, il existe une **bande interdite** aussi, mais cette dernière est **très fine**. Il suffit d'un petit quelque chose pour que les électrons de valence puissent passer dans la bande de conduction et ainsi rendre le semi-conducteur... conducteur. On parvient à faire ça en donnant de l'énergie aux électrons, en les excitant.

Un semi-conducteur est donc un isolant mais qui peut devenir un conducteur très facilement en excitant les électrons de valence : on fait ça en chauffant le matériau, ou en l'éclairant, ou en le soumettant à une tension électrique bien définie.

Par exemple, si on éclaire une plaque photovoltaïque, la plaque devient conductrice et on crée un courant électrique : c'est l'effet photoélectrique.

On dispose donc ici d'une fonction bien intéressante : c'est un isolant qui devient conducteur quand on l'éclaire.

Dans un processeur d'ordinateur, c'est une tension électrique minimale qui permet de rendre le semi-conducteur isolant en dessous et conducteur au dessus.

Croyez-le ou non, c'est ce principe très simple qui est à la base de toute l'informatique.

Le dopage

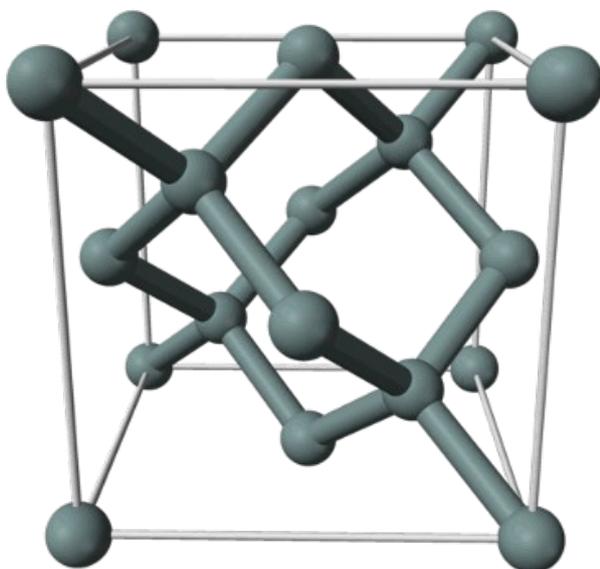
On a vu qu'il existe une bande interdite dans la structure des semi-conducteurs et des isolants. Un semi-conducteur possède une petite bande interdite que les électrons peuvent franchir si on leur donne l'énergie nécessaire. Plus cette bande est faible, plus l'énergie nécessaire est petite. Ceci est intéressant pour la consommation électrique de nos appareils, mais aussi d'un point de vu plus technique.

Dans un cristal de silicium (le plus commun des semi-conducteurs à ce jour), il faut une énergie de 1,12 eV (soit $1,79 \times 10^{-19}$ J) pour placer un électron de valence dans la bande de conduction.

C'est une énergie très faible, mais ça reste quand même beaucoup trop pour l'usage qu'on a actuellement des semi-conducteurs.

Le dopage, c'est une technique qui vise à modifier l'énergie nécessaire pour rendre le semi-conducteur plus ou moins conducteur. Il consiste à injecter dans les cristaux de silicium des atomes bien choisis pour le rendre soit un peu plus conducteurs, soit un peu moins.

Le silicium possède 4 électrons de valence (comme le carbone) : dans un cristal, il se lie donc de façon tétraédrique à 4 autres atomes de silicium :



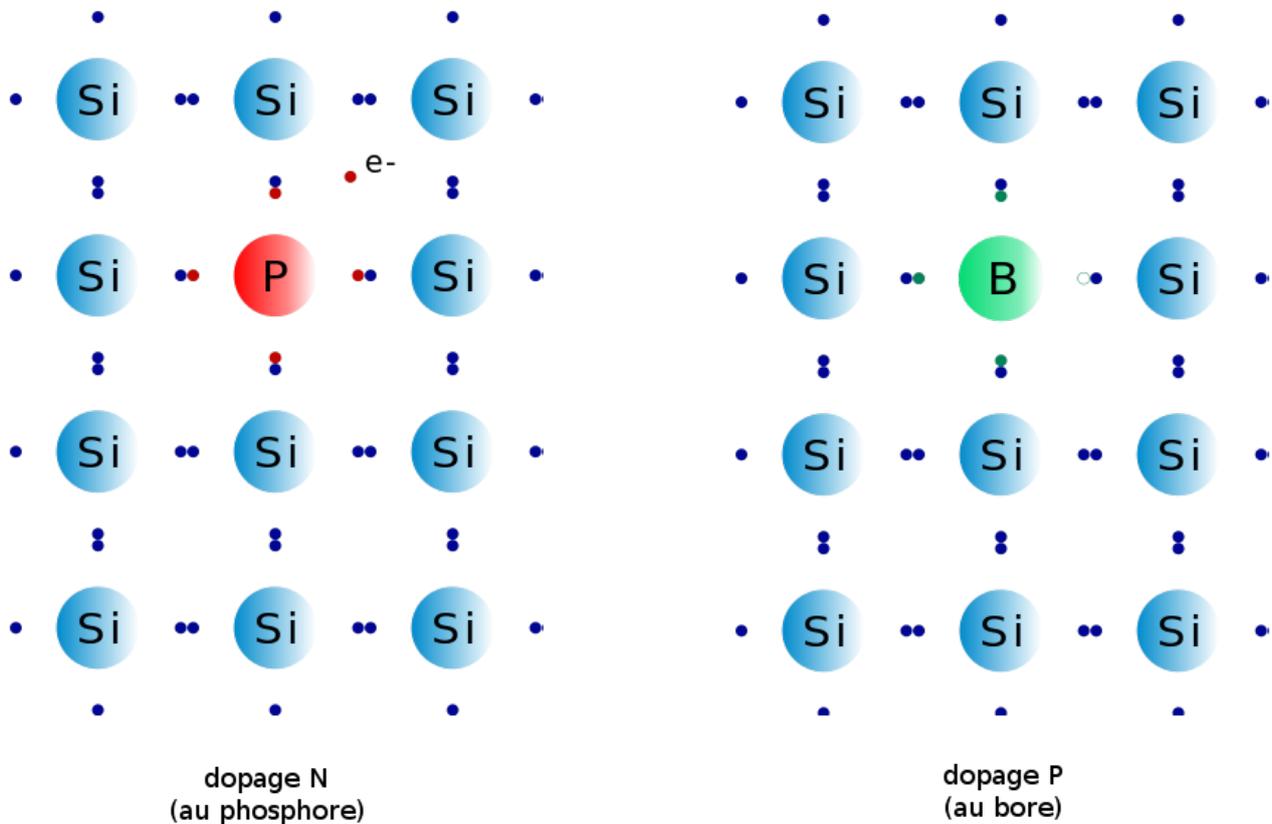
Structure cristalline du silicium

Il est possible de remplacer certains atomes de silicium par d'autres atomes, qui vont alors modifier la structure des bandes de conduction.

L'atome de silicium possédant 4 électrons de valence, on peut injecter un atome avec 5 électrons de valence : l'atome sera alors dans le cristal avec 4 liaisons mais possédera un électron supplémentaire. Pour ça, on utilise souvent du phosphore (symbole PPP).

Vu que ce type de modification apporte un électron en plus dans le cristal, la bande de conduction est alors globalement négative : on parle de dopage négatif, ou **dopage N** (le cristal dans son ensemble reste neutre, car le phosphore contient un proton en plus aussi ; c'est juste la bande de conduction qui est négative).

Une autre solution est d'utiliser un dopage au bore (symbole BBB), qui n'a que 3 électrons de valence : le bore sera là aussi bien pris dans un cristal avec 4 liaisons, mais une des liaisons manquera un électron : il sera donc comme « positif » (car il manque comme une charge négative), d'où le nom de **dopage P** :



Dopages N (avec l'électron en trop) et P (avec le déficit d'électron) — (sources [1](#) & [2](#))

- Grâce au dopage N, le silicium devient un peu plus conducteur : en effet, l'introduction du phosphore a pour effet de déplacer la bande de conduction vers le bas : les électrons du silicium sont donc plus rapidement conducteurs.
- Grâce au dopage P, le silicium devient également un peu plus conducteur : le bore apporte certes « un trou d'électrons », mais ce dernier peut recevoir un électron voisin qui laisse alors un trou derrière lui. Le trou s'est alors déplacé et ceci constitue bien une sorte de déplacement de charges (« virtuellement » positive) et augmente donc la conductivité du matériau également.

Ces **deux façons de doper** un semi-conducteur sont donc **antagonistes** : l'une apporte un électron en plus au cristal semi-conducteur et l'autre en retire un.

En combinant deux matériaux dopés de façon différente, on peut faire des composants électriques comme des diodes ou des transistors.

Pour l'instant, reprenez que le silicium est un semi-conducteur car il ne laisse passer le courant que si on excite ses électrons de valence. Il faut pour cela une tension électrique dépassant un seuil minimal propre au matériau.

On utilise le dopage N (négatif) ou P (positif) pour modifier légèrement le seuil de tension mais aussi pour modifier d'autres propriétés du semi-conducteur .

Enfin, juste pour la culture, sachez que le silicium n'est pas le seul semi-conducteur existant. Avant lui, les propriétés semi-conductrices du germanium (symbole GeGeGe) étaient déjà utilisées dans les tout premiers transistors. Depuis, d'autres composés ont aussi été découverts. Les plus connus d'entre eux sont l'arséniure de gallium (GaAsGaAsGaAs) et le nitrure d'indium (InNInNInN), bien qu'il en existe beaucoup d'autres.

Le silicium est aujourd'hui massivement utilisé principalement parce qu'il est très abondant sur terre : il représente 25% de la croûte terrestre, et est simple à extraire et à utiliser.