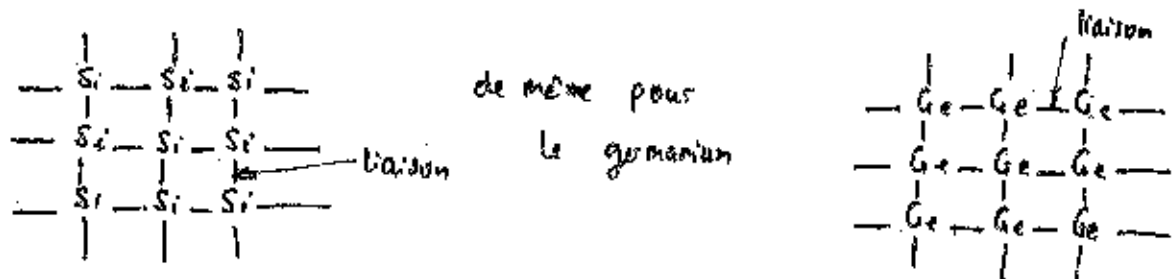


## Semi-conducteurs

Les atomes de certains éléments chimiques comme le germanium ou le silicium comportent 4 électrons sur leur couche la plus éloignée du noyau (les électrons gravitent autour du noyau de l'atome à différentes distances). De ce fait les atomes s'assemblent entre-eux de telle manière que chaque atome est relié à 4 atomes voisins. Ce sont les électrons périphériques qui créent ces liaisons entre atomes.

Ainsi les atomes de silicium s'assemblent pour constituer un réseau cristallin qui a l'allure suivante

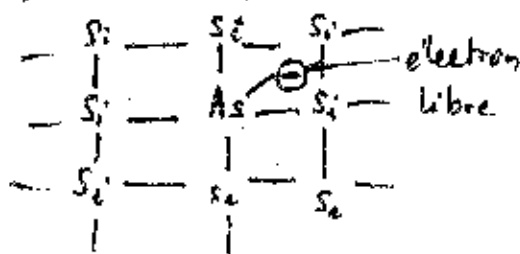


Les électrons périphériques servant à assurer la liaison entre atomes sont difficiles à arracher de leur atome ; il n'y a donc pas beaucoup d'électrons libres dans un cristal de germanium ou de silicium. Ces solides sont donc assez peu conducteurs : on les appelle semi-conducteurs.

## Dopage d'un semi-conducteur

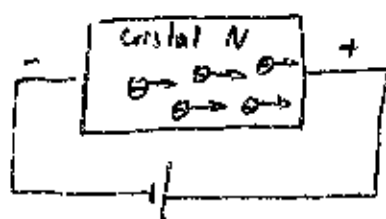
Si dans un cristal de silicium très pur (le silicium est très répandu dans la nature, c'est du sable de rivière), on ajoute des "impuretés"

constituées par des atomes ayant 5 électrons sur la couche périphérique (atomes d'arsenic par exemple), dans la structure cristalline du silicium on trouvera quelques atomes d'arsenic avec un électron libre puisqu'il fait seulement 4 électrons pour assurer les liaisons avec les atomes voisins.



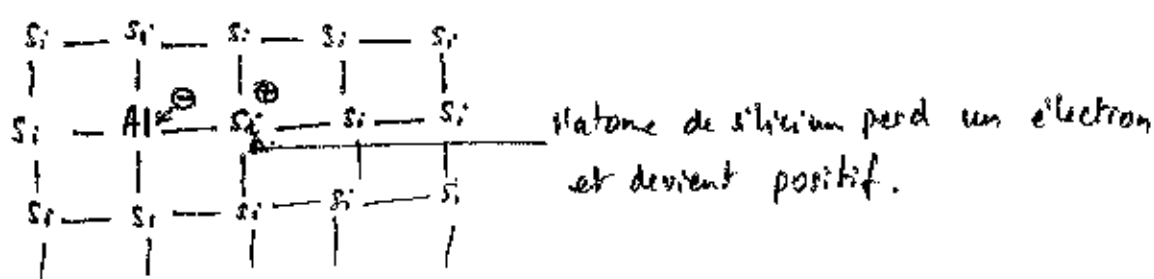
les électrons libres apportés par les impuretés peuvent se déplacer assez facilement d'un atome à l'autre

Si on soumet un cristal dopé négativement (c.a.d à qui on a rajouté des impuretés qui libèrent des charges négatives, les électrons) à une différence de potentiel les électrons attirés par le pôle + et repoussés par le pôle - vont se déplacer d'où apparition d'un courant électrique comme dans n'importe quel conducteur



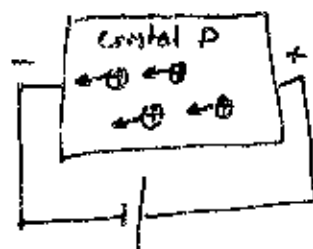
Par contre si on ajoute dans le cristal de silicium des impuretés constituées d'atomes n'ayant que 3 électrons à leur périphérie (comme l'aluminium par exemple), ces atomes à trois électrons périphériques vont avoir tendance à prendre un électron à l'atome voisin. Cet atome auquel il manque un électron devient alors chargé positivement (auparavant il était neutre car comportant autant d'électrons négatifs que de protons positifs)

Ce manque d'électron s'appelle un trou : c'est l'équivalent d'une charge positive. On dit alors que le cristal est dopé positivement.



Tout se passe comme si on avait rajouté des charges positives libres dans le réseau cristallin du silicium

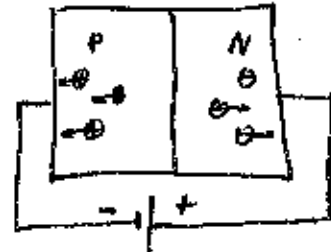
Si on soumet le cristal dopé positivement à une d.d.p les trous positifs seront attirés par le - et repoussés par le +



Des charges positives (les trous) vont circuler dans le cristal P du + vers le moins. Le déplacement de charges  $\oplus$  est un courant électrique, tout comme le déplacement des électrons en est un, la seule différence est que les trous se déplacent dans le sens conventionnel du courant.

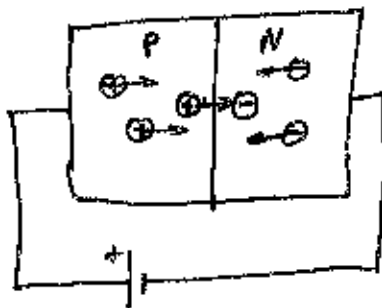
### Diode à jonction

Si nous accolons deux cristaux de silicium l'un dopé positivement et l'autre négativement, au voisinage de la jonction les électrons auront tendance à combler les trous (les charges positives et négatives se neutralisent)




Si on relie la zone P au moins et la zone N au + d'une source de tension, électrons et trous attirés respectivement par le + et le - vont s'éloigner de la jonction. Celle-ci ne comportant alors que très peu de trous et d'électrons libres ne conduira pas. Il ne passera pas de courant électrique.

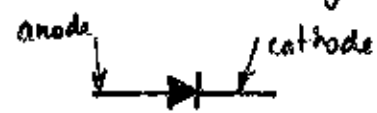
Si par contre on relie la partie P au plus et la partie N au moins, trous et électrons seront poussés vers la jonction où les électrons viendront combler les trous ; de nouveaux électrons



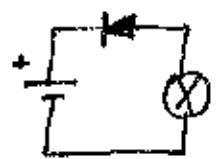
fournis par la source de tension, ainsi que de nouveaux trous se dirigeront vers la jonction pour s'annuler électriquement si bien que ce double mouvement de charges celui des électrons et celui des trous constituera un courant électrique de la zone P vers la zone N.

Enfinement cet assemblage P-N laisse passer le courant électrique dans un seul sens. C'est une diode à jonction

On la symbolise  la flèche indique le sens du courant. Par analogie à la diode à vide les deux extrémités de la diode à jonction sont appelées anode et cathode

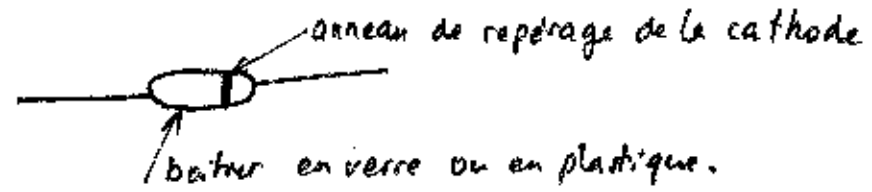


sens direct le courant passe la lampe s'éclaire



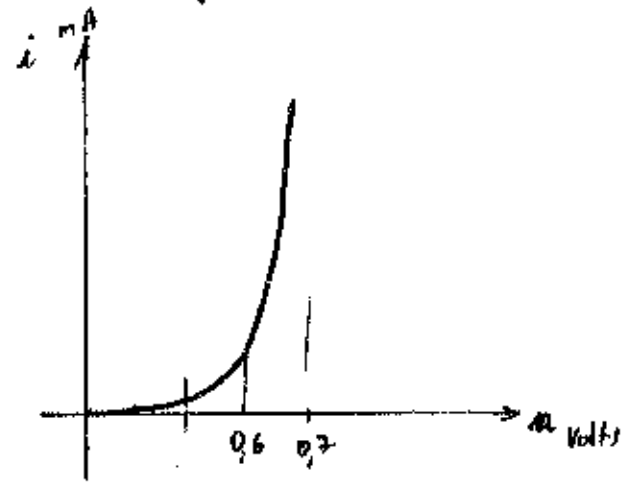
sens inverse le courant ne passe pas la lampe reste éteinte

Dans la pratique les diodes utilisées dans les montages électroniques se présentent sous différentes formes la plus commune étant la suivante :



### Caractéristiques d'une diode

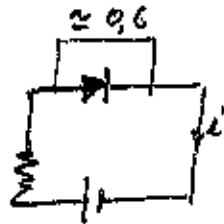
Dans le sens "passant" si on augmente progressivement la tension aux bornes d'une diode le courant augmente lui aussi mais très rapidement :



Au voisinage de 0 volt le courant est nul. A partir de 0,6 V pour les diodes au silicium (0,4 V pour celles au germanium) le courant croît extrêmement rapidement au risque d'ailleurs de détruire la diode si le courant devient trop important.

Cette tension de 0,6 V est appelée tension de seuil.

La tension de seuil pour les diodes électro-luminescentes (LED) qui émettent de la lumière quand elles sont parcourues par un courant est de 1,5 V pour les rouges, 1,8 V pour les oranges et 2,2 V pour les vertes.



Dès qu'une diode est parcourue par un courant non négligeable (quelques milliampères) la tension à ses bornes atteint 0,6 V (silicium) et n'augmente presque plus si on augmente le courant.

La résistance d'une diode est variable et d'autant plus faible qu'elle est parcourue par un courant important.

La puissance dissipée par la diode est  $u \cdot i$  soit 0,6  $\times i$

Si par exemple  $i = 10 \text{ A}$   $P = 6 \text{ W}$

Si la diode est trop "petite" l'échauffement la détruira.

Une caractéristique des diodes c'est le courant maximum qu'elles peuvent supporter.

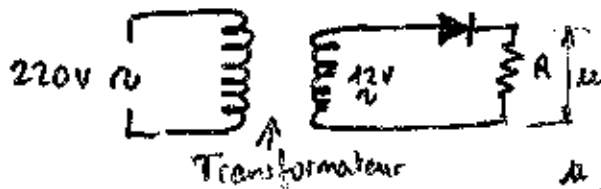
Une autre caractéristique importante c'est la tension inverse maximum. En effet montée en inverse une diode est isolante sauf si la tension qui lui est appliquée dépasse une tension appelée tension de claquage. Au delà la diode conduit en inverse et si on ne limite pas le courant inverse la diode est rapidement détruite.

Ex la diode de redressement du type 1N4007 supporte 1 A et accepte une tension inverse maximum de 1000 V

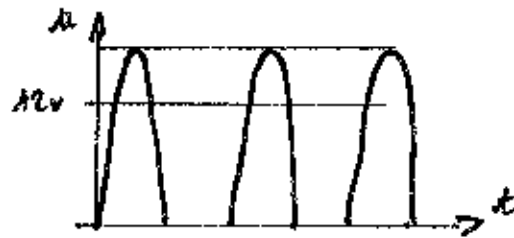
⑥

## Application des diodes au redressement des tensions alternatives

Plutôt que les diodes à vide on utilise maintenant toujours des diodes à jonction pour redresser le courant alternatif sinusoïdal.



Dans le montage ci-contre la tension aux bornes de la résistance  $R$  aura l'allure suivante

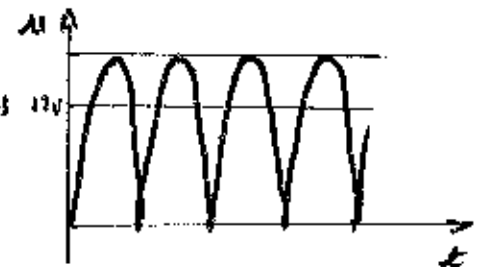


la diode ne "laisse passer" que les alternances positives de la sinusoïde. L'alternance négative n'est pas utilisée.

Avec le montage dit "en pont" utilisant 4 diodes on peut redresser les deux alternances :



la tension aux bornes de  $R$  a l'allure suivante :



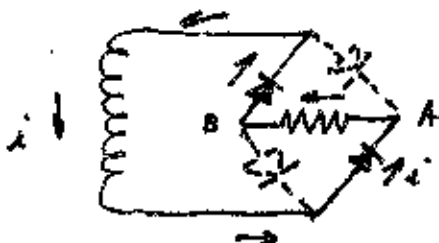
En effet pendant une alternance le courant a le trajet suivant :

(les diodes en pointillé se trouvent en inverse)



le courant "rentre" dans la résistance  $R$  par l'extrémité A et ressort par B

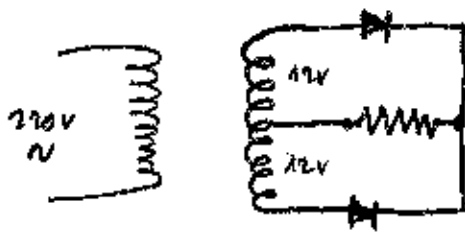
Pendant l'autre alternance le courant a le trajet suivant :



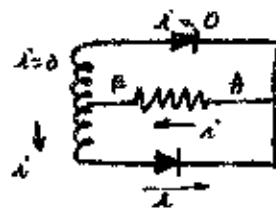
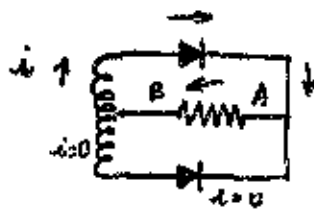
le courant "rentre" aussi par A et ressort par B

Quelque soit le signe de l'alternance le sens du courant dans  $R$  est le même

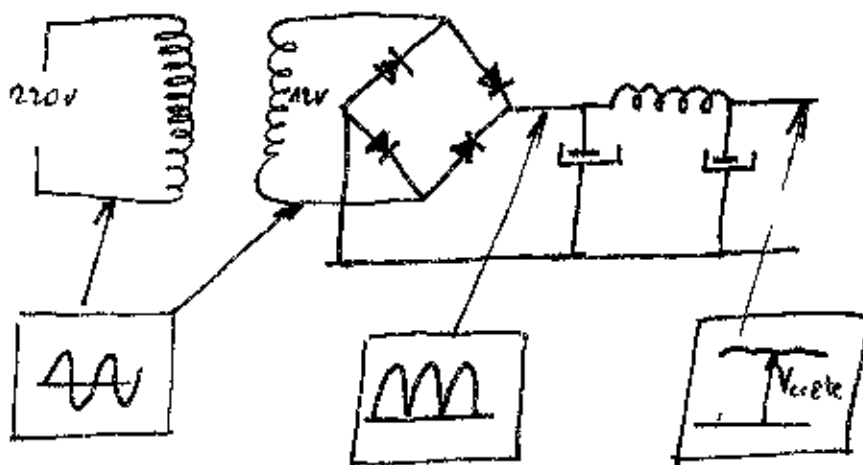
On utilise aussi parfois le montage avec seulement deux diodes mais un transformateur avec un point milieu au secondaire



A chaque demi-alternance c'est seulement un demi-enroulement du secondaire qui est parcouru par le courant, une diode bloquant le courant dans l'autre demi-enroulement



le courant ainsi redressé même s'il est devenu unilatéral (toujours le même sens) n'est pas pour autant continu  
Pour le rendre continu on le filtre avec des condensateurs et des selfs



les condensateurs et les selfs se comportent comme des "réservoirs" amortissant les brusques variations de tension

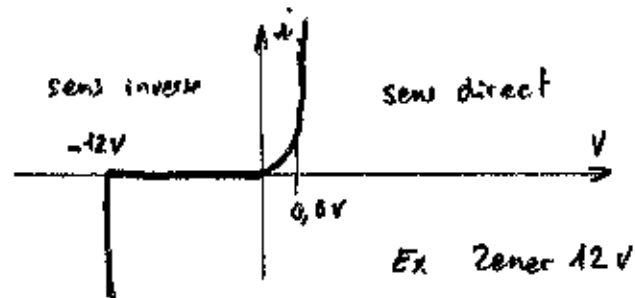
Après filtrage la tension disponible est à peu près continue et a la valeur de crête de la tension alternative soit ici  $12\sqrt{2} \approx 17V$  car le condensateur se charge à la valeur de crête, et conserve cette valeur tant qu'on ne consomme pas de courant

## Diode Zener

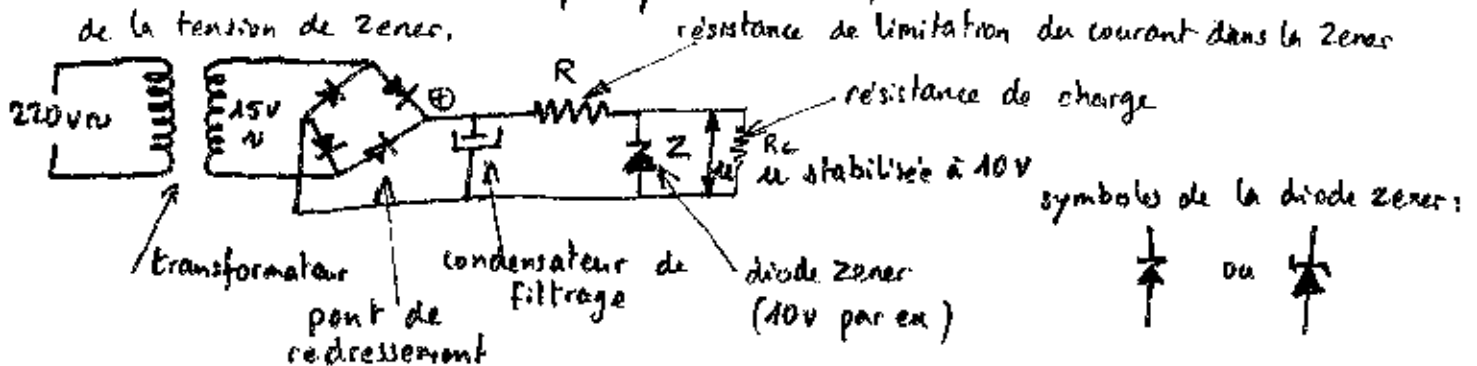
On a vu que les diodes soumises à une tension inverse d'abord totalement isolantes, se "mettaient" à "conduire" à partir d'une tension dite de claquage.

On réalise des diodes à faible tension de claquage (quelques volts ou dizaines de volts) ; La tension de claquage est appelée tension de Zener ; les diodes sont des diodes Zener. (prononcer "zénaïre")

Le courant dans la diode en fonction de la tension a l'allure suivante



On utilise les diodes Zener pour réguler du courant alternatif redressé et le rendre presque continu, en stabilisant la tension à la valeur de la tension de Zener.



En l'absence de résistance de charge  $R_c$  le condensateur de filtrage se charge à la valeur crête  $15V \times \sqrt{2} = 21,2V$  supérieure à la tension de Zener égale ici à  $10V$ . Il passe donc un courant dans  $R$  et  $Z$  qui vaut  $i_n = \frac{21,2 - 10}{R} = \frac{11,2}{R}$ . (Il y a  $10V$  aux bornes de la Zener tant qu'elle est traversée par un courant inverse) la courant ne peut être supérieur car la chute de tension provoquée par  $R$  ferait qu'on aurait moins de  $10V$  aux bornes de la Zener qui alors ne conduirait plus en inverse.

Si on branche la résistance de charge  $R_c$  il y passe un courant  $i_c = \frac{10V}{R_c}$  le courant dans la Zener est donc  $i_z = i_n - i_c$ . Tant que  $i_c$  n'est pas trop grand il passe un courant dans la Zener et il y a en permanence  $10V$  à ses bornes donc à celles de  $R_c$ . Au delà  $i_z = 0$ , il n'y a plus  $10V$