



TRANSISTORS

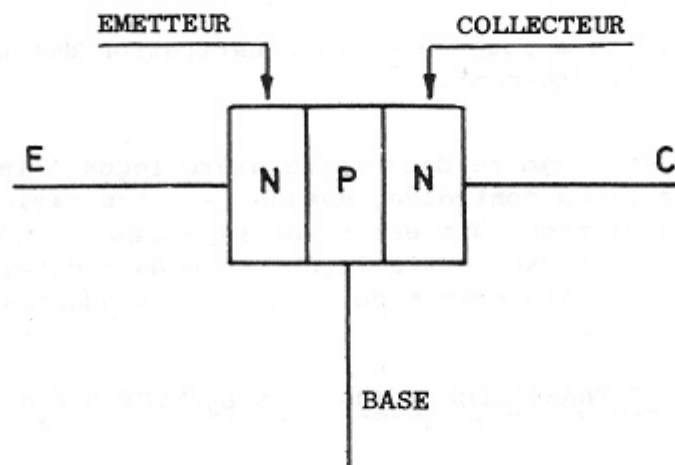
Cours de radio par correspondance

Cette leçon a pour sujet la constitution des transistors à jonction et à pointe et leur fonctionnement.

Nous avons examiné dans la dernière leçon l'influence que quelques impuretés, ajoutées de façon contrôlée, avaient sur les caractéristiques électriques du germanium. Ce que nous avons dit est d'une importance fondamentale pour comprendre ce qui va être illustré dans cette leçon, où nous étudierons l'étude des phénomènes qui se produisent à l'intérieur du transistor pendant son fonctionnement.

LE TRANSISTOR A JONCTION DU TYPE N.P.N

Il est formé par une couche de germanium du type "P" placée entre deux couches de germanium du type "N", comme le montre la Fig. 1-. En réalité, un simple contact ne suffit pas pour la constitution des jonctions, mais il faut que les atomes du germanium en contact étroit entre eux, forment un ensemble unique, comme s'il s'agissait d'un seul métal.



TRANSISTOR A JONCTION "N.P.N."

Bien qu'un polissage amène ces surfaces en contact, il existe toujours une certaine distance, entre les atomes de la surface, distance très grande par rapport aux petites dimensions des atomes.

Pour assurer une CONTINUITE parfaite de la jonction, on a recours à des procédés technologiques spéciaux de fabrication, que nous verrons ensuite.

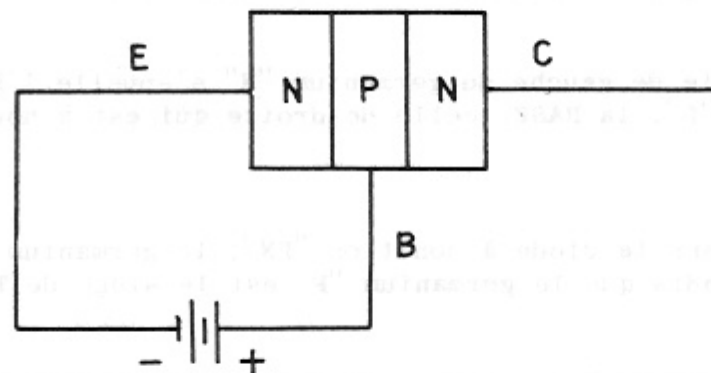
La partie de gauche du germanium "N" s'appelle l'EMETTEUR, la partie centrale du germanium "P", la BASE, celle de droite qui est à nouveau du germanium "N", le COLLECTEUR.

Comme dans la diode à jonction "PN", le germanium "N" est le siège d'ELECTRONS libres, tandis que le germanium "P" est le siège de TROUS.

Rappelez-vous à ce propos, la règle mnémotechnique utilisée pour reconnaître l'effet des impuretés sur l'existence d'électrons libres ou de lacunes:

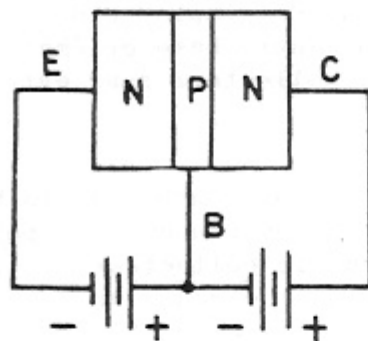
- dans le germanium "N" (négatif): on a des électrons libres (négatifs)
- dans le germanium "P" (positif): on a des trous (lacunes) (particules positives).

POLARISATION D'UN TRANSISTOR A JONCTION

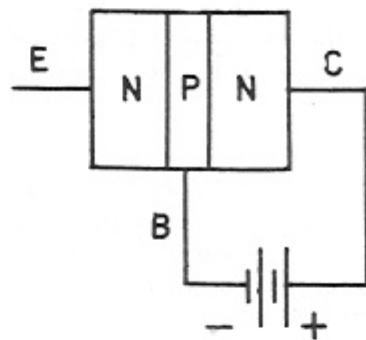


- Fig. 2 -

(A)



(B)



- Fig. 3 -

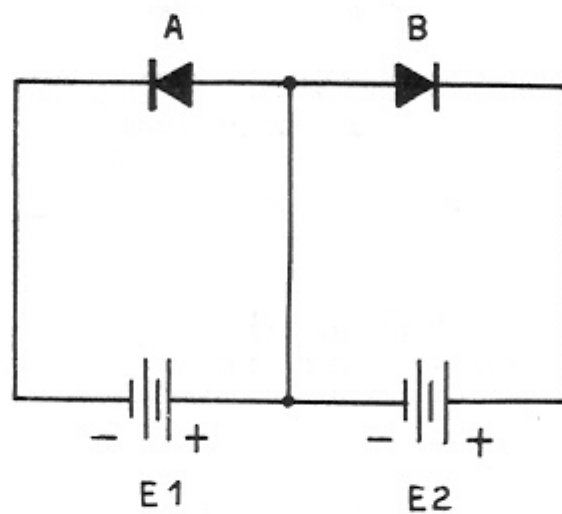
Revenons à notre transistor "N.P.N".

Lors du fonctionnement, l'on polarise l'émetteur et la base comme l'indique la Fig. 2- et la partie base-collecteur comme l'indique la Fig. 3 B-.

Les deux circuits de polarisation sont comparables à celui de la Fig. 4- où les différentes parties sont remplacées par de simples diodes cristal. Celui-ci met en évidence l'action de la polarisation: entre base et émetteur pour qu'il y ait circulation de courant, et entre base et collecteur pour éviter ce courant.

Dans le redresseur "A" circulera un courant fourni par la batterie " E_1 ", tandis que dans le redresseur "B" ne circulera aucun courant, la polarisation étant telle qu'elle empêche les électrons libres (dans le collecteur) et les lacunes (dans la base) de traverser la jonction. On dit qu'il circule un courant entre la base et l'émetteur, et que le courant qui circule entre base et collecteur est très faible.

J'AI DIT FAIBLE, car en réalité les choses ne sont pas aussi parfaites qu'on l'écrit, et il peut arriver que des électrons et des lacunes traversent la jonction pour se réunir, malgré la présence de la polarisation qui s'oppose à cet effet; en tout cas il s'agit d'un courant très faible et ce phénomène ne change pratiquement rien à ce qu'on vient de voir.



- Fig. 4 -

Il existera donc un COURANT D'EMETTEUR relativement grand et un très faible COURANT DE COLLECTEUR.

Ceci est exact si l'on suppose le transistor constitué par une section de germanium "P" pour base, assez épaisse pour pouvoir considérer les deux circuits, émetteur et collecteur, comme indépendants.

En fait, la base est TRES MINCE, et il se produit de nouveaux phénomènes qui sont connus sous le nom D'EFFET TRANSISTOR.

Le transistor "N.P.N" doit alors être polarisé comme indiqué sur la Fig. 3 A-.

Entre l'émetteur et la base, il y a circulation d'électrons comme dans une jonction "N.P" à laquelle est appliquée une tension de polarisation convenable, ainsi qu'on la décrit dans la précédente leçon: le phénomène qui se produit en ce point est imprévu et curieux.

Les électrons qui partent de l'émetteur pour rejoindre la base, au lieu de se réunir avec les lacunes, continuent leur course et traversent la deuxième jonction.

Ces électrons se trouvent ainsi en présence de la polarisation positive du collecteur et se dirigent en augmentant leur vitesse vers le positif de la batterie qui polarise le collecteur.

Il arrive, pour ainsi dire, que ces électrons, dont la présence est due à la première jonction, sautent l'obstacle constitué par la base pour se retrouver sans aucun effort près du collecteur.

Cela peut fort bien arriver, car les lacunes sont plutôt rares, proportionnellement soit à l'épaisseur de la base (qui, comme nous l'avons déjà dit, est très mince), soit aux dimensions très réduites des électrons.

Les probabilités pour qu'un électron, venant de l'émetteur, rencontre une lacune de la base, sont très rares; en effet, on calcule qu'ordinairement il n'y a pas 5% des électrons partant de l'émetteur qui s'unissent avec les lacunes de la base. Le restant, c'est-à-dire 95% rejoint le collecteur.

Celui-ci étant positif, attire les électrons en favorisant le mouvement vers le pôle positif de la batterie qui lui est relié.

On peut alors dire que le nombre d'électrons qui partent de l'émetteur pour atteindre et traverser la base, ne dépend que de la tension existante entre l'émetteur et la base, tandis que le courant formé par ces électrons atteindra en grande partie (près de 95%) le collecteur.

C'est là une analogie évidente entre le comportement du tube électronique et celui du transistor "N.P.N."

Dans un tube électronique, les électrons qui quittent la cathode sont contrôlés par la tension existant entre grille et cathode, et c'est la plaque qui reçoit pratiquement tous ces électrons.

Dans un transistor "N.P.N", les électrons qui quittent l'émetteur sont contrôlés par la tension existant entre la base et l'émetteur et c'est le collecteur qui les reçoit pratiquement tous.

Dans un tube électronique, la quantité du courant PLAQUE qui le traverse est réglée par la variation de la tension GRILLE-CATHODE.

Dans un transistor, la quantité de courant EMETTEUR-COLLECTEUR qui le traverse est réglée par tension EMETTEUR-BASE.

Le fait que les électrons qui partent de l'émetteur ne se combinent pas avec les lacunes de la base, est très intéressant.

En effet, la base ne demandera que peu d'électrons à la batterie qui la polarise (comparés à l'émetteur) car les lacunes existant dans la base ne sont pas détruites par les électrons provenant de l'émetteur.

Par conséquent, la nécessité qu'il y aurait à rappeler de nouveaux

électrons de la batterie pour créer d'autres lacunes dans les atomes d'impureté du germanium "P" de la base n'existe pas.

Tout cela signifie que LA BASE NE CONSOMME PAS DE COURANT SUR SA BATTERIE DE POLARISATION.

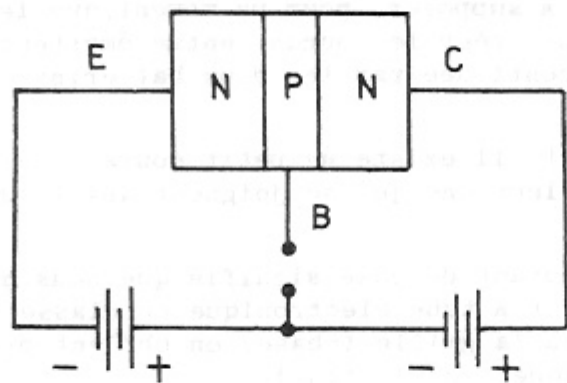
On peut alors supposer, pour un moment, que le schéma du circuit soit celui de la Fig. 5- où, pour créer le courant entre émetteur et collecteur, la batterie de polarisation est constituée par les deux batteries en série.

Effectivement, il existe un petit courant de base, et c'est celui qui est créé par les 5% d'électrons qui se joignent aux lacunes de la base.

Un faible courant de base signifie que nous nous trouvons dans les conditions de l'amplificateur à tube électronique en classe "A": avec une très petite puissance appliquée à la grille (=base) on obtient proportionnellement, une grande puissance de plaque (=collecteur).

Je vous rappelle les deux règles relatives au fonctionnement des transistors "N.P.N":

- 1- L'émetteur est polarisé NEGATIVEMENT par rapport à la base; la jonction émetteur-base conduit du courant et l'on dit que l'émetteur est polarisé dans le sens de sa FAIBLE RESISTANCE.



- Fig. 5 -

- 2- Le collecteur est polarisé POSITIVEMENT par rapport à la base. La jonction base-collecteur, ne conduit pas de courant et l'on dit que le collecteur est polarisé dans le sens de la RESISTANCE ELEVEE.

Ces règles serviront lorsqu'on doit raccorder les deux polarisations que l'on applique au transistor "N.P.N".

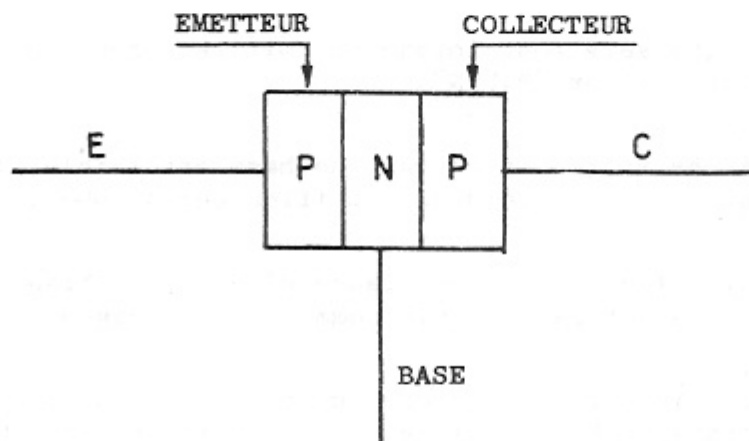
Nous avons vu que le courant de base est faible, il n'est pourtant pas nul, comme le courant de grille d'un amplificateur à tube en classe "A".

Cela signifie que la résistance d'entrée du transistor a une certaine valeur et qu'elle n'est pas infinie comme dans le cas du tube électronique.

Ce fait, et d'autres encore que nous verrons plus tard, nous portent à utiliser, pour le transistor, des circuits qui diffèrent légèrement de ceux correspondant aux tubes électroniques.

TRANSISTOR DU TYPE "P.N.P"

Le transistor "P.N.P" est constitué comme le montre la Fig. 6-; l'émetteur et le collecteur sont formés par du germanium "P", tandis que la base est une fine section de germanium "N".



TRANSISTOR A JONCTION "P.N.P"

Le fonctionnement est analogue à celui du type "N.P.N": les polarisations cependant sont inversées, comme cela est indiqué sur la Fig. 7-.

Ici, le courant à l'intérieur du transistor est formé par des lacunes qui, partant de l'émetteur, traversent la base et arrivent au collecteur.

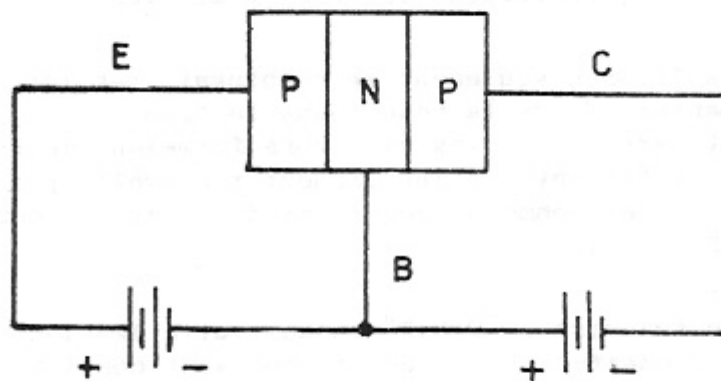
10% des lacunes seulement se combinent avec les électrons libres contenus dans le germanium "N" de la base. Dans le transistor "N.P.N" que je vous ai décrit au précédent paragraphe, les électrons formaient le courant entre l'émetteur et le collecteur et étaient continuellement renouvelés par la batterie de polarisation qui est constituée, comme je vous l'ai dit, par les deux batteries montées en série entre elles Fig. 5-.

Dans le transistor "P.N.P" au contraire, les lacunes qui forment le flux de courant entre l'émetteur et le collecteur sont continuellement reformées dans l'émetteur par des électrons provenant de la batterie de polarisation.

Le phénomène décrit ci-dessus s'explique par la présence dans le germanium "P" d'atomes d'impureté.

A leur tour, ces lacunes ayant traversé les jonctions, arrivent au collecteur et atteignent le pôle négatif de la batterie où les électrons, fournis par la batterie, les neutralisent: ainsi, bien que la conduction du courant dans le transistor "P.N.P" soit complètement due aux lacunes, le courant à travers les fils de liaison et la batterie est constitué exclusivement par des électrons.

POLARISATION DES TRANSISTORS "P.N.P."



- Fig. 7 -

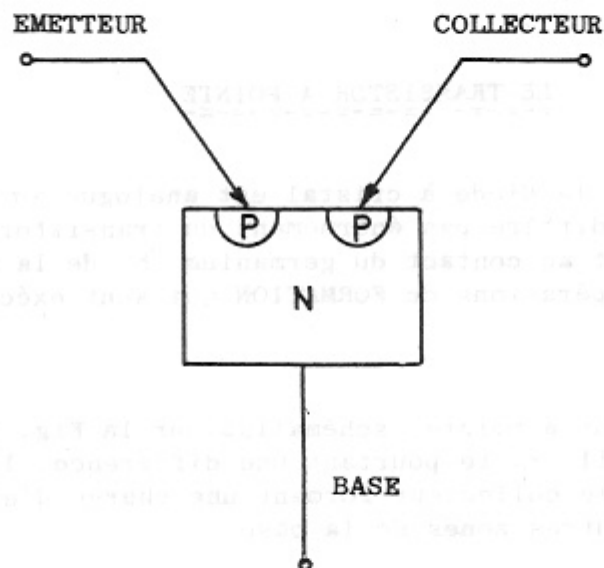
La seule différence essentielle entre les transistors "P.N.P" et "N.P.N" est donc en somme, la polarisation inversée; les autres différences n'intéressent que les caractéristiques de fonctionnement.

LE TRANSISTOR A POINTE

De même que la diode à cristal est analogue au transistor à jonction, le transistor à pointe ne diffère pas énormément du transistor à jonction, les zones de germanium "P" se formant au contact du germanium "N" de la base; ces zones apparaissent pendant les opérations de FORMATION qui sont exécutées lors de la fabrication du transistor.

Le transistor à pointe, schématisé sur la Fig. 8- fonctionne comme le transistor à jonction; il existe pourtant une différence: les lacunes de l'émetteur qui se dirigent vers le collecteur forment une charge d'espace positive qui attire des électrons des autres zones de la base.

Ces électrons accélèrent leur vitesse et tombent sur le collecteur en créant une augmentation du courant de collecteur, telle que le courant de collecteur ne soit plus 90 à 95 % celui de l'émetteur, mais bien 200 à 300 % environ, c'est-à-dire beaucoup plus grand.



REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UN TRANSISTOR A POINTE

Ces données ont le seul caractère d'information. Vous verrez mieux plus tard les relations qui lient les courants de chaque électrode aux tensions qui leur sont appliquées.

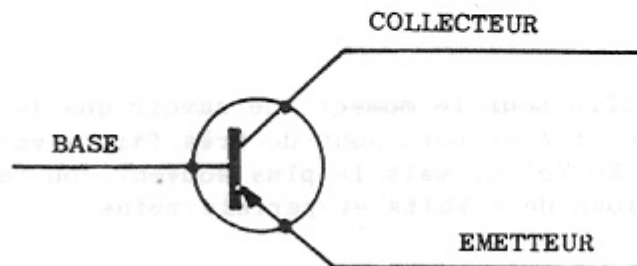
Il vous suffit pour le moment, de savoir que les tensions que l'on applique aux électrodes des transistors sont de très faible valeur. Elles dépassent en certains cas les 10 ou 20 Volts, mais le plus souvent, on fait fonctionner les transistors avec des tensions de 6 Volts et parfois moins.

Dans l'état actuel de la technique, on n'a pas encore construit de transistors à pointe dont la base soit constituée par du germanium type "P", car il existe des difficultés pratiques dues aux instabilités physiques des surfaces de germanium du type "P". En tous cas, au moins théoriquement, on peut dire qu'un transistor quelconque à pointe avec base de germanium type "P" se comporte comme un transistor à jonction "N.P.N". En outre, on devra se souvenir ici, qu'il est nécessaire d'inverser les polarisations des batteries, comme avec le transistor à jonction correspondant.

SYMBOLE ELECTRIQUE DES TRANSISTORS

Le symbole de base des transistors est représenté Fig. 9-.

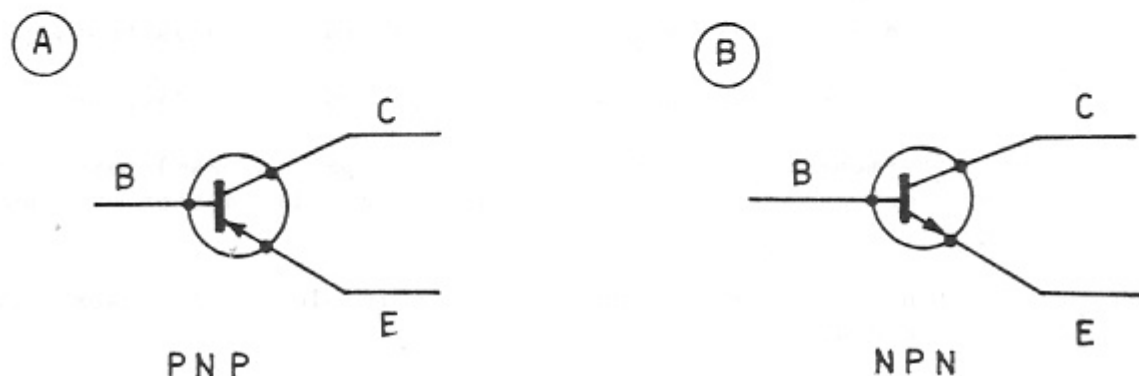
SYMBOLE DE BASE DES TRANSISTORS



- Fig. 9 -

L'émetteur est indiqué par une flèche, la base par une ligne droite et le collecteur comme l'émetteur mais sans flèche.

Ce symbole est utilisé soit pour les transistors à pointe, soit pour les transistors à jonction et peut être placé dans les schémas en n'importe quelle position: avec la base vers le bas ou vers le haut, etc...



- Fig. 10 -

Pour distinguer les transistors "N.P.N" et "P.N.P" on adopte le système indiqué sur la Fig. 10- la flèche vers la base pour les transistors "P.N.P" et la flèche vers l'extérieur pour les transistors "N.P.N".

Voici un résumé de ce que je vous ai exposé dans cette leçon:

- 1- Constitution du transistor à jonction "N.P.N".
- 2- Liaison de l'émetteur à une polarisation négative par rapport à la base.
- 3- Liaison du collecteur à une polarisation positive par rapport à la base.
- 4- Phénomène du franchissement de la barrière (constitué par la base) par les électrons qui, de l'émetteur arrivent à la base grâce à la polarisation existant entre ces deux électrodes.
- 5- A cause de ce phénomène, le courant de base est très faible et la consommation du circuit de base est donc réduite.
- 6- Le courant du collecteur est fonction de la tension entre l'émetteur et la base.
- 7- Avec une très petite puissance appliquée à la base (circuit émetteur-base), on obtient une puissance relativement grande sur le collecteur.
- 8- Résistance d'entrée du transistor plus faible que celle du tube électronique équivalent.
- 9- Constitution du transistor "P.N.P".
- 10- Polarisation des électrodes de façon inverse au transistor "N.P.N"
- 11- Fonctionnement du transistor "P.N.P" analogue à celui du transistor "N.P.N".

- 12- Courant émetteur-collecteur constitué, dans le transistor "P.N.P", par des lacunes; dans le transistor "N.P.N." par des électrons libres.
- 13- Constitution du transistor à pointe .
- 14- Fonctionnement du transistor à pointe semblable à celui du transistor à jonction sauf le fait que le courant base-collecteur est 2 ou 3 fois plus grand que le courant émetteur-base.
- 15- Le transistor à pointe est actuellement fabriqué avec une base constituée par du germanium "N".

=====

REPONSES AUX EXERCICES DE REVISION SUR LA 2ème LECON TRANSISTORS

- 1- Ce sont les électrons les plus extérieurs au noyau, en nombre fixe pour chaque atome, et ce sont ceux qui prennent part aux phénomènes chimiques et électroniques.
- 2- Le germanium et le silicium ont 4 électrons de valence.
- 3- Le germanium est un matériau rare; on le tire comme sous-produit du zinc; le silicium, qui au contraire est très répandu, se trouve toujours sous forme de composés chimiques parmi lesquels le quartz: il faut procéder à une opération difficile et coûteuse de séparation et de purification.
- 4- La lacune est la charge électrique positive qui se forme dans l'atome auquel est enlevée une charge électrique négative; les lacunes peuvent se comparer aux petites bulles d'anhydride carbonique qui se forment dans l'eau gazeuse.
- 5- Le passage du courant électrique se produit par l'intermédiaire d'électrons dans les éléments conducteurs et par les lacunes dans les éléments semi-conducteurs. Dans les deux cas le flux du courant se présente de la même façon.
- 6- Le germanium "P" est un monocristal où l'on a mis des impuretés du type à 3 électrons (par exemple de l'indium). Le germanium "N" est au contraire un monocristal où l'on a mis des atomes d'impureté du type 5 électrons par exemple de l'arsenic. Dans ce dernier on trouve des électrons libres et des atomes d'impureté chargés positivement. Dans le germanium "P", au contraire, on trouve des lacunes et des atomes d'impureté chargés négativement.

- 7- La différence, qu'il faut accepter comme une donnée de fait, entre les électrons et les lacunes est que ces dernières se déplacent à travers la matière avec une vitesse nettement plus faible que celle des électrons.

=====

EXERCICE DE REVISION SUR LA 3ème LECON TRANSISTORS

- 1- Comment le transistor type "N.P.N" doit-il être polarisé et comment le transistor type "P.N.P" doit-il être polarisé ?
- 2- Pourquoi les électrons libres dans le transistor "N.P.N" traversent-ils presque tous la base pour rejoindre le collecteur ?
- 3- Pourquoi la résistance d'entrée du transistor est-elle plus faible que celle du tube électronique utilisé dans un circuit analogue ?
- 4- Comment sont constitués les courants qui vont de l'émetteur au collecteur dans les deux types de transistors à jonction ?
- 5- Pourquoi dans le transistor à pointe le courant entre la base et le collecteur est-il plus grand que celui entre l'émetteur et la base ?

=====