



# TRANSISTORS

Cours de radio par correspondance

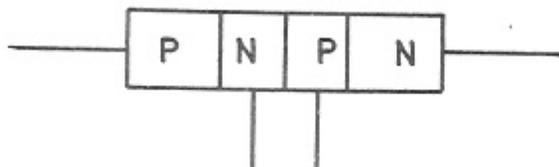
Voici la dernière leçon sur les transistors que nous achèverons en parlant des types nouveaux de transistors, du phototransistor et des piles solaires.

TYPES SPECIAUX DE TRANSISTORS

Les types spéciaux de transistors, dont nous verrons brièvement la constitution et les caractéristiques principales, sont les suivants:

a- Transistor P-N-P-N	inventé en 1950
b- Transistor tétrode	inventé en 1952
c- Transistor P-N-I-N et N-P-I-N	inventé en 1954
d- Transistor thyatron	inventé en 1955
e- Spacistor	inventé en 1952
f- Tecnétron	inventé en 1957

## SCHEMA D'UN TRANSISTOR P-N-P-N.



- Fig. 1 -

Les récentes études ont développé d'autres types de Transistors ou des appareils utilisant les propriétés des semi-conducteurs, mais nous n'étudierons que ceux cités précédemment, qui, d'autre part, sont ceux qui ont le plus d'importance.

a- Transistors P-N-P-N.

Ce type de transistor à jonction est caractérisé par le fait que son

coefficient d'amplification de courant  $\alpha$  est supérieur à 1. La valeur de  $\alpha$  est en général, pour ce transistor, de l'ordre de 10 à 20.

Pour sa constitution, voir Fig. 1-. Les deux sections internes ont une épaisseur de 0,05 mm.

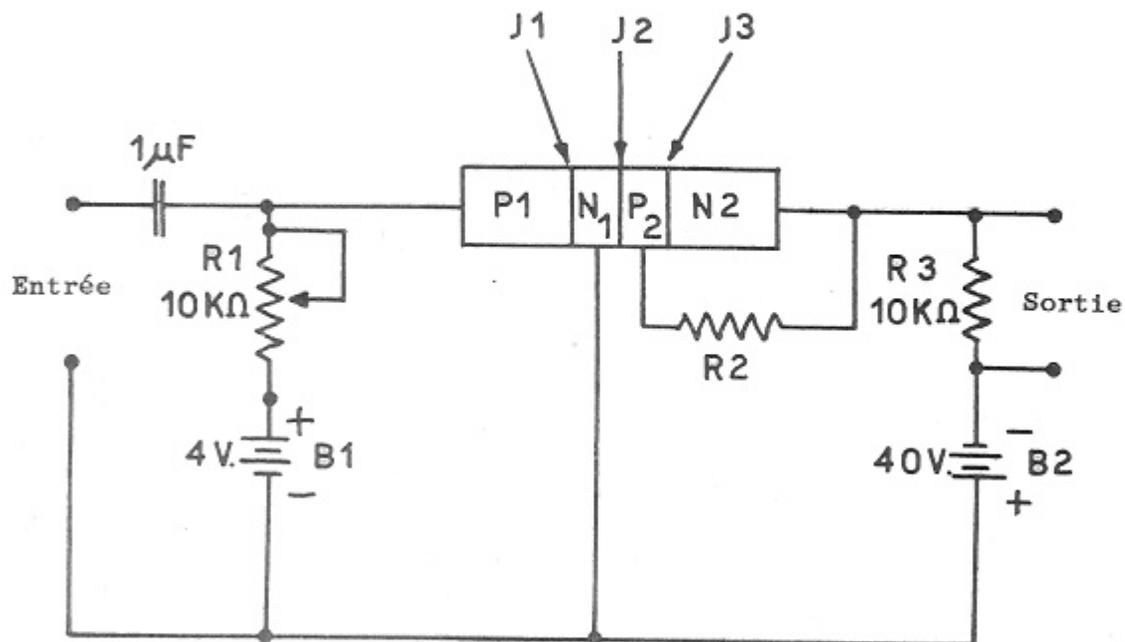
La Fig. 2- représente un circuit typique dans lequel est employé un transistor P-N-P-N.

Les sections "P2" et "N2" sont interconnectées au moyen d'une résistance "R2" qui a une influence réelle sur les caractéristiques du transistor.

La première jonction "J1" est polarisée dans le sens de la conduction tandis que la deuxième "J2" est polarisée dans le sens de la non conduction.

Si l'on ne considère que les sections "P1" "N1" "N2", on a un transistor normal PNP dans lequel chaque section est polarisée normalement. Si on regarde maintenant dans l'autre sens (N2, P2, N1) on a un transistor NPN dans lequel "N2" est l'émetteur, "P2" la base et "N1" le collecteur, ces trois sections sont aussi normalement polarisées.

Notez que l'émetteur est "N2" et non "N1" par le fait que dans un transistor "NPN" l'émetteur est négatif par rapport au collecteur et le pôle négatif de "E2" est précisément raccordé à "N2".



- Fig. 2 -

Dans cette combinaison d'un transistor "PNP" avec "NPN", le but final est d'utiliser une variation de courant dans un complexe (transistor "P1" "N1", "P2") pour produire une variation plus grande dans le deuxième complexe formé par le transistor "N2" "P2" "N1".

Quand le signal d'attaque est appliqué à "P1", on a des variations de courants correspondants à travers "P1", "N1" et "P2".

Le courant en "P1" est formé par des trous qui se déplacent à travers "N1" et "P2" et par conséquent la jonction "J3" vient à se bloquer.

Au même moment, de la section N°2 partent des électrons libres qui cherchent à se déplacer à travers "P2" pour rejoindre "N1" et à retourner ensuite vers "N2" à travers "B2" et "R3". La présence des trous à la jonction "J3" facilite ce flux électronique, en permettant à un nombre plus grand d'électrons de passer.

Puisque la quantité des trous bloqués près de "J3" varie en fonction du signal d'arrivée, le courant électronique variera suivant ce même signal.

La valeur du coefficient  $\alpha$  dépend en grande partie des valeurs de "R2"; plus grand est "R2", plus grand sera  $\alpha$ .

Ce transistor est également employé avec de bons résultats dans quelques circuits spéciaux, comme INTERRUPTEUR ELECTRONIQUE.

b- Transistor à tétrode.

Une des particularités les plus étudiées dans le transistor est la possibilité d'étendre la gamme des fréquences dans laquelle il travaille.

Ces études ont porté, entre autre sur la découverte du transistor à "4 sorties" ou " transistor tétrode".

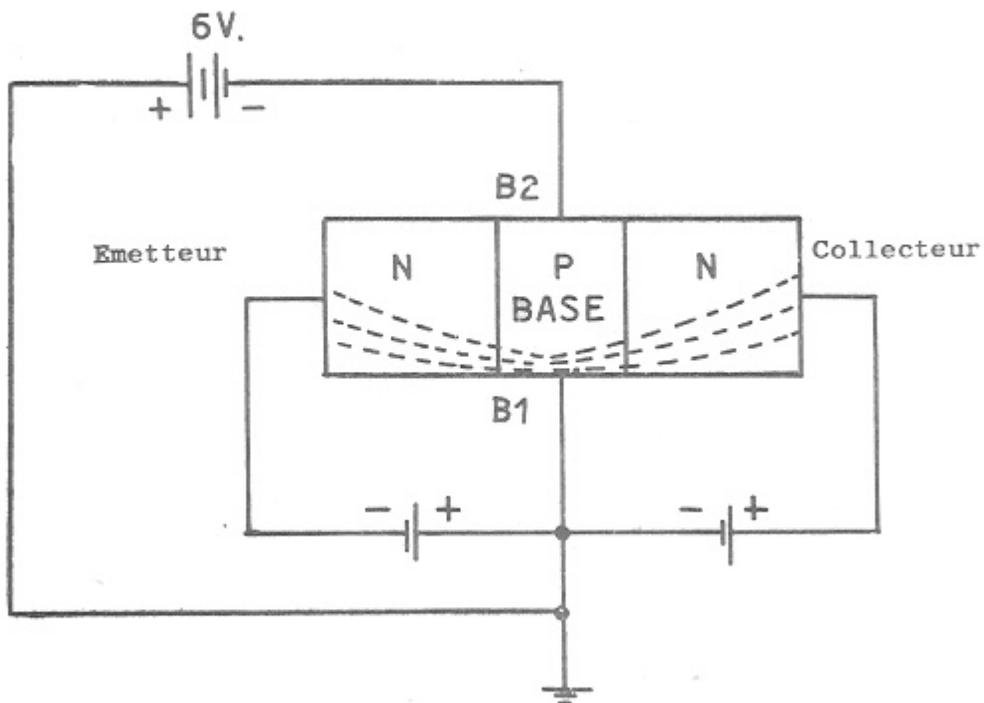
C'est essentiellement un transistor "NPN" dans lequel une quatrième électrode (indiquée par "B2") est connectée à la base, en opposition à la connexion originale de base "B1".

A ce deuxième conducteur de base est appliquée une polarisation inverse par rapport à "B1" de -6V environ.

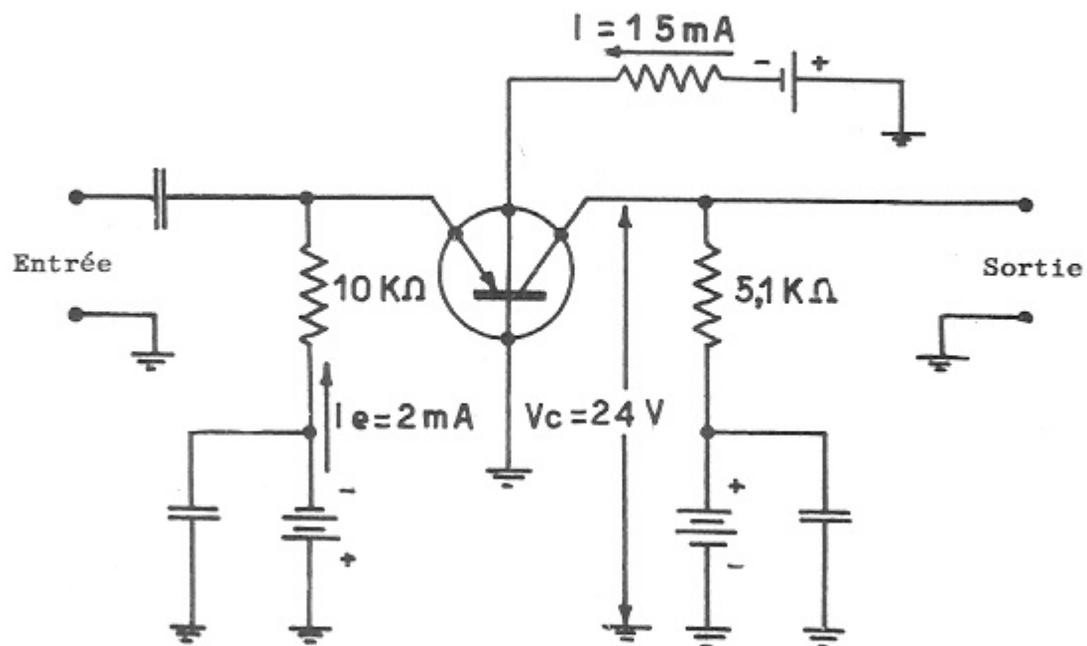
La tension est fixe et ne varie pas avec le signal, qui est appliqué entre l'émetteur et la base "B1" (Fig. 3-).

La présence de cette forte tension négative sur la base, modifie le parcours des électrons qui constituent le courant entre l'émetteur et le collecteur.

En effet, dans leur déplacement à travers la base, les électrons subissent une inflexion, vers la connexion "B1", par la présence du potentiel existant entre "B1" et "B2".



- Fig. 3 -



- Fig. 4 -

Cela représente une amélioration des caractéristiques du transistor aux fréquences élevées pour les raisons suivantes:

1- Réduction de la CAPACITE DU COLLECTEUR due à la diminution de la surface active dans la jonction du collecteur: cette capacité agit comme une ligne de fuite par le signal, de la même manière que la capacité de sortie des tubes électroniques.

Plus cette capacité est petite, plus la fréquence à laquelle son effet se fait sentir est élevée.

2- Réduction de la RESISTANCE ENTRE LA BASE DE L'EMETTEUR due à la diminution de la surface active de la base. Une faible résistance de base signifie une charge moindre pour les circuits d'entrée et une amélioration du fonctionnement aux fréquences élevées.

En Fig. 4-, on voit le schéma d'un amplificateur à transistor tétrode.

#### C- Transistors P-N-i-P et N-P-i-P.

Une augmentation de la limite de fréquence par rapport à des transistors normaux, est obtenue avec le type P-N-i-P ou avec son complément N-P-i-P.

De tels transistors sont constitués par un émetteur, une base et

un collecteur identiques aux transistors normaux, plus une couche de germanium pur insérée entre la base et le collecteur.

Le germanium employé ne contient ni électrons libres ni trous et pour le distinguer des autres types on l'appelle: "Germanium i" (i pour: intrinsèque).

Nous avons déjà parlé des inconvénients provenant de l'existence du temps de transit des électrons libres ou des trous qui forment le flux de courant dans le transistor.

Pour diminuer l'importance de cet effet à des fréquences toujours plus grandes, il est nécessaire de réduire au minimum le parcours des électrons (ou des trous). On obtient cette réduction en rendant très mince la section séparant les deux jonctions, c'est-à-dire la base.

Pourtant il y a une limite due au fait qu'il reste nécessaire d'éviter un court-circuit entre les électrodes à travers quelques points de la base.

Pour éviter en partie cet inconvénient, on peut augmenter la résistance électrique de la base en limitant en quantité les impuretés ajoutées afin de maintenir la résistance du matériel compatible avec le fonctionnement du transistor.

Mais l'augmentation de la résistance de base est un facteur qui tend à diminuer l'amplification.

Les facteurs déterminant le bon fonctionnement du transistor aux fréquences élevées sont, comme on le voit, souvent incompatibles entre eux.

Pour vaincre l'inconvénient d'une base trop épaisse, on a réalisé un transistor à couche intrinsèque P-N-i-P ou (N-P-i-N).

En insérant une section de germanium pur (i) entre la base et le collecteur, on augmente l'isolement entre ces deux électrodes: de cette façon on peut rendre la base très mince et avoir une faible résistivité, avec un rendement meilleur en "H.F".

La couche de germanium pur n'influence pas le fonctionnement du transistor, puisqu'entre la couche "i" et les couches "P" et "N", il ne se forme pas de jonctions.

Tout se passe comme si, malgré l'existence entre les deux électrodes de la couche de germanium pur, il n'existait qu'une seule JONCTION: celle de la BASE-COLLECTEUR.

Les transistors expérimentaux fabriqués en laboratoire, ont donné des amplifications élevées (100 fois) à des fréquences de 10 MHz; on a réalisé des oscillateurs fonctionnant à des fréquences de 95 MHz.

On prévoit de construire des transistors de ce type fonctionnant comme amplificateurs à 1000 MHz, avec amplification supérieure à 10 fois.

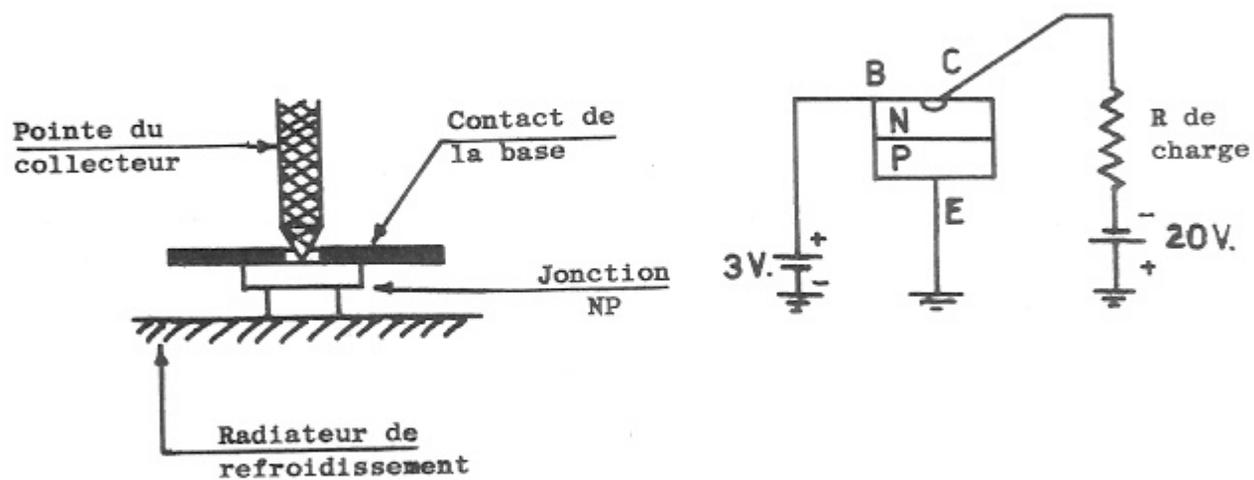
Il faut noter que la présence du germanium pur, en créant une grande résistivité, rend nécessaire, l'emploi de hautes tensions de l'ordre de celles qu'on emploie avec les tubes électroniques classiques.

#### d- Transistor à thyatron.

Ce type de transistor, réalisé dans les laboratoires de recherches "I.B.M", est intermédiaire entre le transistor à pointes et le transistor à jonction, sa structure et le mode de branchement sont indiqués à la Fig. 5-.

Les caractéristiques de fonctionnement de ce transistor spécial sont telles, que, lorsque commence le passage du courant collecteur, il se produit une action dit "d'emballement" du phénomène à l'infini.

Mais, à cause de la grandeur de la résistance de charge "R", le



- Fig. 5 -

courant du collecteur est limité à une valeur acceptable.

Quand on diminue le courant circulant dans le circuit de base (en ouvrant par exemple le circuit), on annule alors le passage du courant.

Il n'existe que deux conditions de fonctionnement; conduction et non conduction.

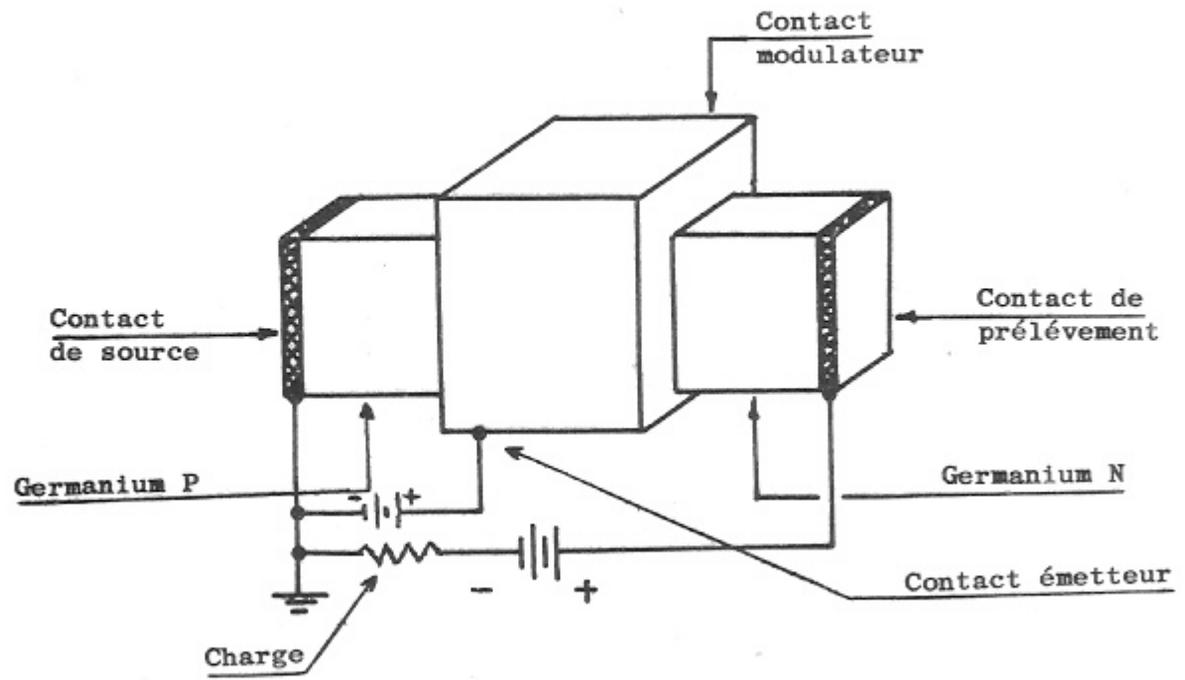
Ce phénomène est analogue à celui qui existe dans les tubes électroniques à gaz rares: avec l'ionisation du gaz il y a passage du courant, limité par la présence d'une résistance, tandis qu'en cas de non-ionisation il n'y a pas de conduction.

Ce transistor est employé dans les calculatrices électroniques, qui transforment les grandeurs numériques en séries de forme "BINAIRE"; c'est-à-dire en grandeurs définies par deux seules possibilités: le OUI et le NON, la conduction du thyatron ou la non-conduction, la présence d'une impulsion électrique ou sa non présence etc...

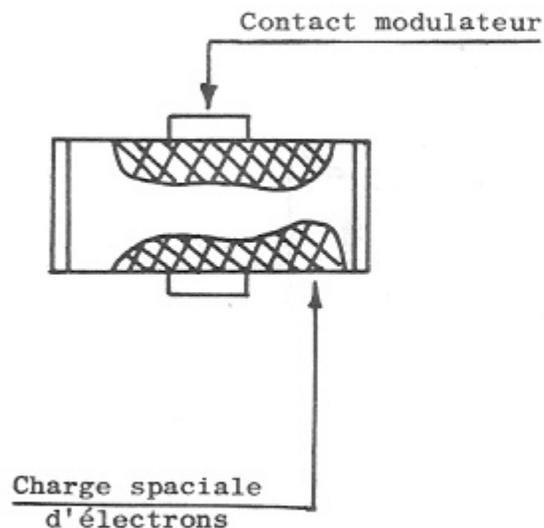
#### e- Spacistor.

La structure d'un tel élément est indiquée Fig. 6-.

SPACISTOR



- Fig. 6 -



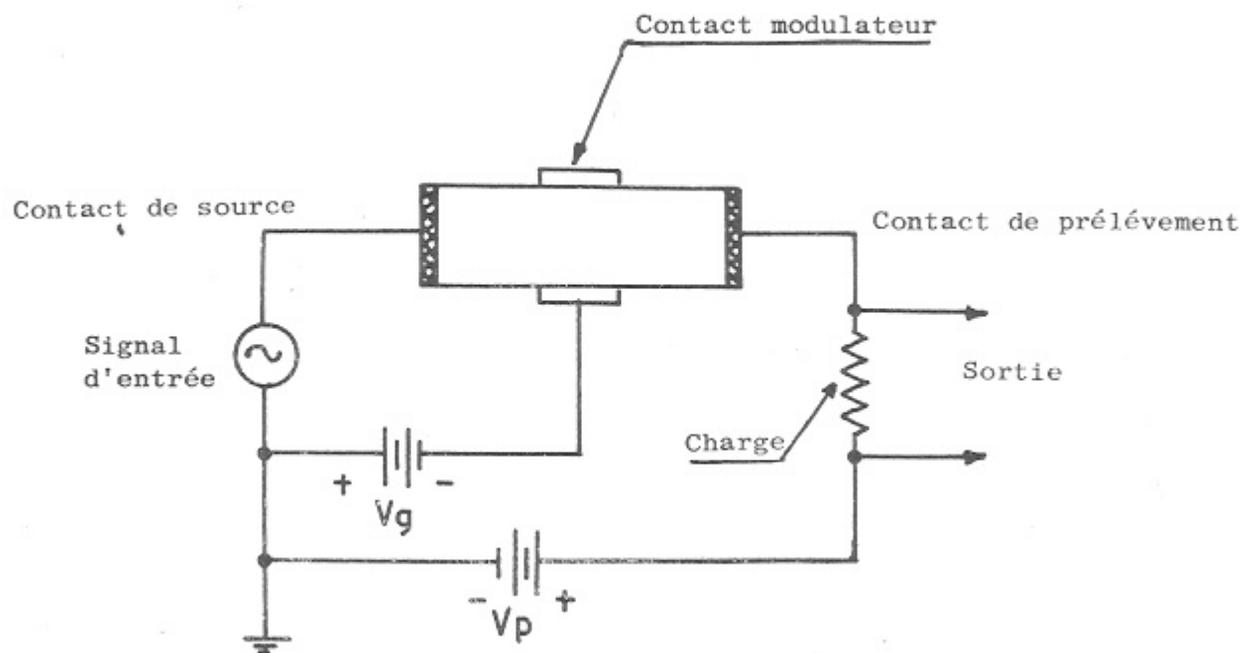
- Fig. 7 -

Le corps du spacistor est constitué d'un bloc rectangulaire de germanium "N"; la partie centrale représente une jonction du type "P", les extrémités portent les noms de contact de source, contact émetteur et contact de prélèvement (Fig. 6-).

"Spacistor" dérive du mot anglais "space", espace.

La jonction "P-N" étant inversement polarisée, il se produit une distribution de tension telle qu'il se forme une charge spatiale d'électrons dans la région centrale (Fig. 7-).

L'application d'une tension négative fixe, à laquelle on superpose la tension alternative du signal d'entrée, produit d'importantes variations dans la répartition de la charge d'espace et module par conséquent le courant qui circule (par unité de section) entre la



- Fig. 8 -

source et le contact de prélèvement (Fig. 8-).

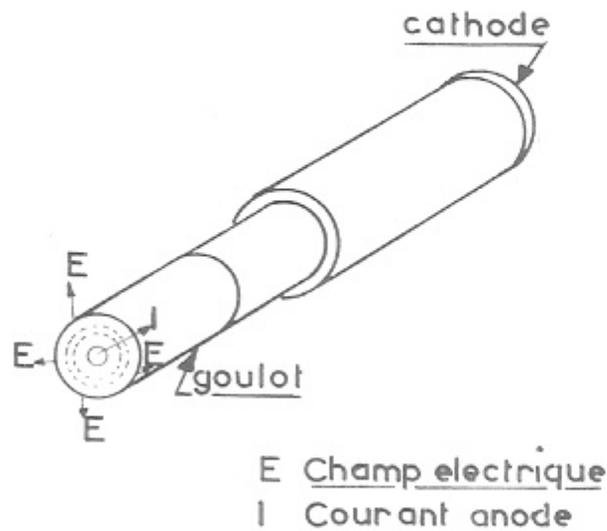
Les spacistors travaillent jusqu'à des fréquences de 140 MHz.

Ils ont en outre l'avantage de présenter des impédances d'entrée et de sortie élevées.

Par contre, ils ont un bruit de fond (souffle) important.

f- Tectnétron.

Le tectnétron: sensationnelle invention de l'ingénieur français TESZNER (1957), se présente sous la forme d'un petit bâtonnet cylindrique de germanium de type "N" d'une longueur de 2mm. et d'un diamètre de 0,5 mm. (Fig. 9-).



- Fig. 9 -

Dans ce bâtonnet est pratiquée une gorge qui réalise une sorte d'étranglement (ou "goulot") de sa section, lui donnant une forme voisine de celle des éprouvettes, utilisées en métallurgie.

Le fond de la gorge est entouré d'un anneau d'indium, de manière à constituer à la surface de l'étranglement, une COUCHE DE BARRAGE.

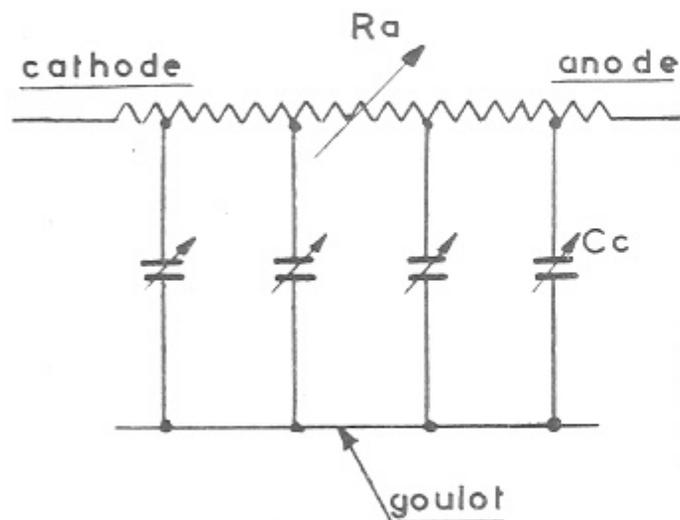
Aux deux extrémités sont soudées les électrodes. Le courant traversant le bâtonnet est formé d'électrons.

D'où, par analogie avec un tube à vide, il y aura une électrode qui s'appelera ANODE, l'autre étant la CATHODE, la grille étant le "goulot".

Si l'on applique au goulot une tension négative par rapport à la cathode, la PROFONDEUR DE LA COUCHE DE BARRAGE VA VARIER, et le flux d'électrons va diminuer.

Si l'on fait varier cette tension négative, alternativement autour d'une valeur nominale, l'intensité du courant va varier et aux bornes de la résistance de charge, ces variations seront reproduites fidèlement avec une amplitude supérieure.

Remarquons, que le "goulot" se comporte comme un réseau de résistances et de condensateurs, simultanément variables (Fig. 10-).

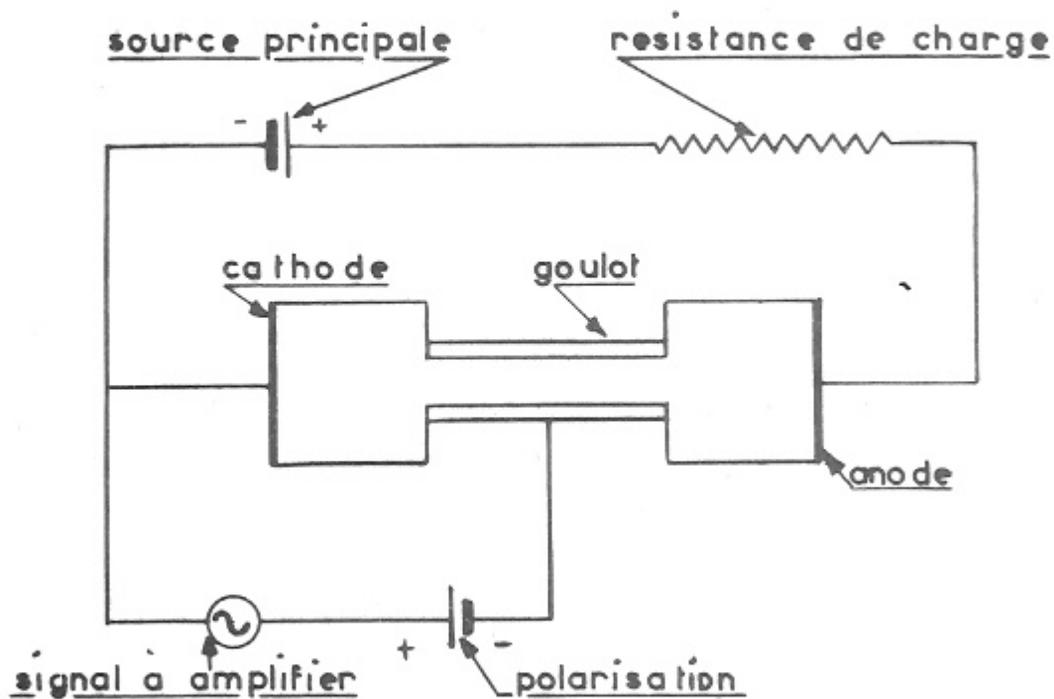


Un autre avantage est la valeur élevée de l'impédance d'entrée (plusieurs mégohms), son impédance de sortie étant de l'ordre de  $1\text{ M}\Omega$ .

Les fréquences de travail sont extrêmement élevées: des tecnétrons travaillant à 454 MHz ont été réalisés et on espère atteindre bientôt des fréquences de l'ordre de 1.000 MHz. La puissance de dissipation maximum des tecnétrons actuels est de l'ordre de 125 mW (Fig. 11-).

#### TRANSISTOR AU SILICIUM

Les progrès techniques de ces dernières années ont permis récemment la construction de transistors utilisant comme matériau semi-conducteur le silicium.



- Fig. 11 -

Les transistors au silicium présentent des caractéristiques particulières qui permettent d'avoir une plus grande dissipation de puissance sur le collecteur; cela donne la possibilité de travailler à des fréquences très élevées (500-600 MHz).

### PHOTOTRANSISTORS

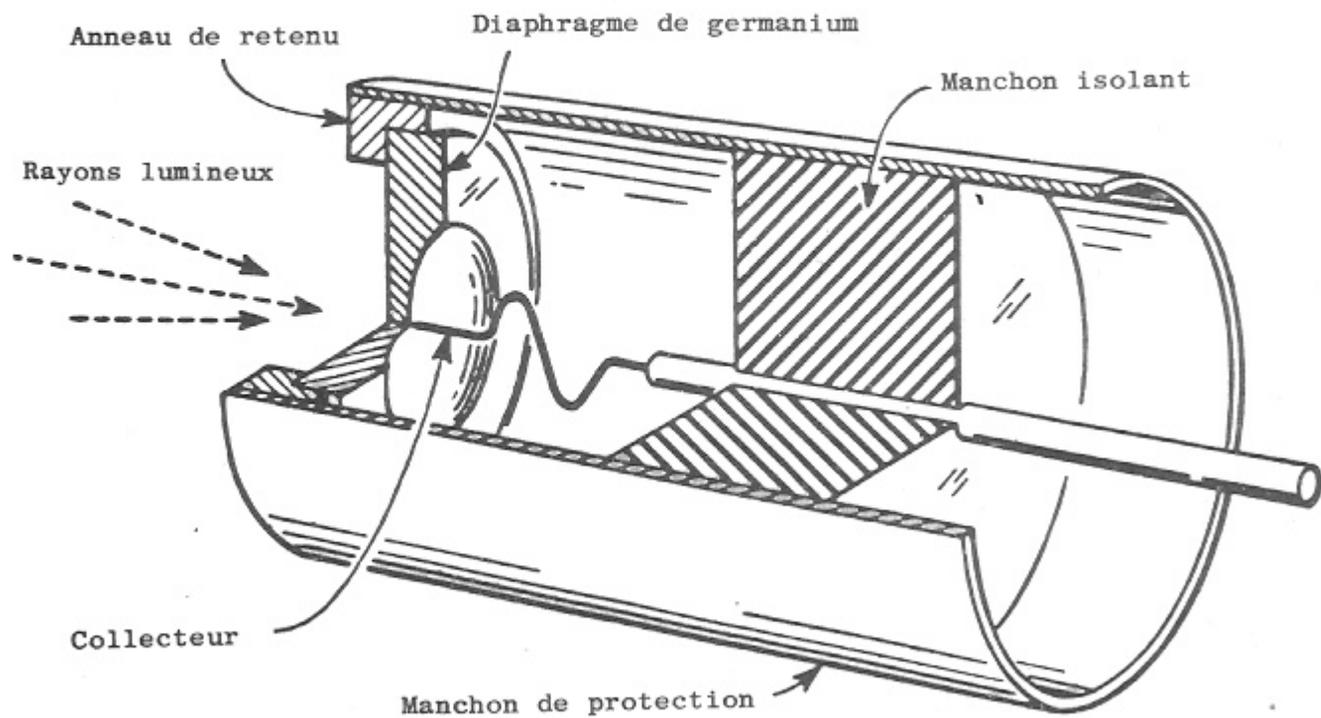
Le transistor est largement employé dans le domaine des applications PHOTOELECTRIQUES.

En effet, il est sensible à l'effet de la lumière, laquelle modifie ses caractéristiques de telle sorte que le "phototransistor" contrôle facilement des courants de l'ordre de quelques milliampères, alors que les cellules photoélectriques, appareils analogues, ne peuvent fournir que des courants de l'ordre de quelques microampères.

La Fig. 12- illustre un phototransistor.

La pastille de germanium du type "N" est amincie au centre et sur celle-ci est appliquée une pointe en bronze phosphoreux (collecteur).

Comme pour les diodes, il se forme une jonction "P.N", polarisée dans le sens de la non-conduction.



- Fig. 12 -

Quand la lumière est dirigée sur la pastille, le courant qui circule augmente en fonction de l'augmentation de l'intensité lumineuse.

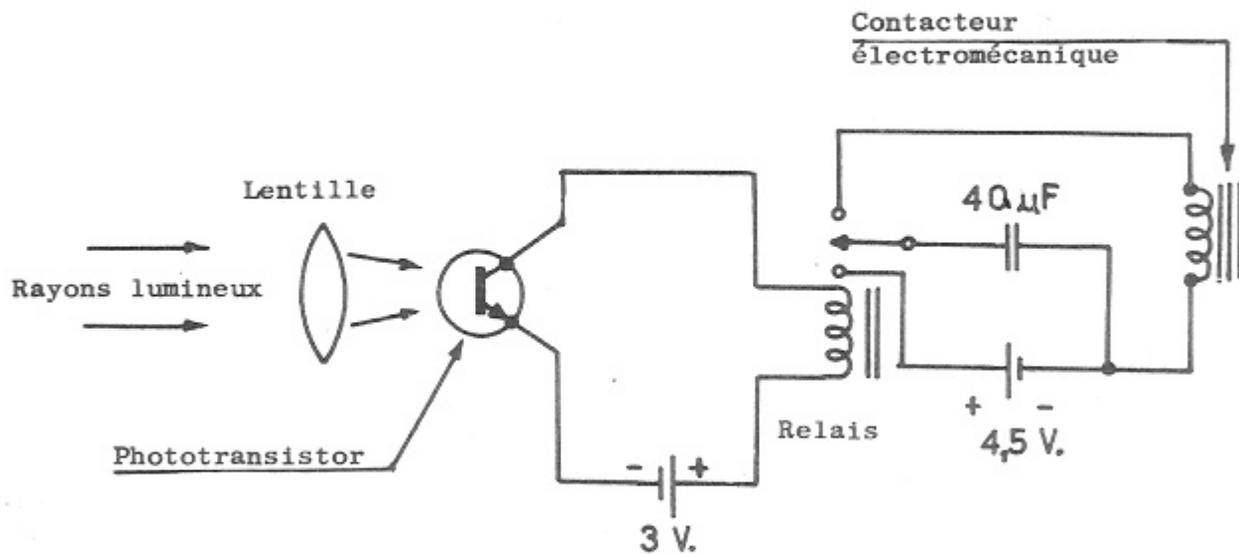
On peut également construire des phototransistors à jonction.

La Fig. 13- représente un ensemble utilisant la phototransistor.

Lorsque le faisceau lumineux arrive sur le phototransistor, le courant de la pile de 3 Volts augmente et le relais se ferme en chargeant le condensateur de 40  $\mu\text{F}$ .

Quand un obstacle (par exemple un objet disposé sur un tapis roulant permettant le comptage) interrompt le faisceau, le relais se ferme et le condensateur se décharge sur le contacteur électromécanique pas à pas qui avance d'un cran en indiquant un numéro de plus.

Les applications des phototransistors sont très vastes: contrôle d'exposition des pellicules photographiques; système de codification et de décodification des grandeurs numériques dans les calculateurs électroniques; système d'alarme photoélectrique contre l'incendie ou le vol; contrôle de la précision d'usinages en série, etc...



- Fig. 13 -

• La Compagnie Générale de T.S.F. construit actuellement des cellules PHOTO-DIODES (PHG 1) au germanium qui peuvent être utilisées pour la détection de faibles signaux lumineux, modulés ou non, et actionner directement un relais sensible ou même un relais plus puissant par l'intermédiaire d'un amplificateur.

#### THERMO-PILE.

C'est une récente invention qui a déjà trouvé de nombreuses applications en dépit d'un prix de revient encore élevé.

Elle exploite l'énergie d'une source calorifique comme par exemple le rayonnement du soleil, pour la transformer en énergie électrique. Son principe est analogue à celui des piles thermoélectriques.

Dans la batterie solaire, le rendement de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique est relativement élevé et atteint des valeurs de 10% et même plus; ces valeurs permettent d'obtenir une quantité d'électricité suffisamment grande pour être utilisée en pratique, en exposant aux rayons du soleil une surface active relativement petite.

Ces couples qui, normalement, se recombinaient tout de suite, en présence d'une jonction "P.N" (qui agit comme un champ électrique) se trouvent

séparés; les trous sont envoyés vers la région "P" et les électrons vers la "N".

En fermant le circuit à travers une charge, on utilise le courant résultant.

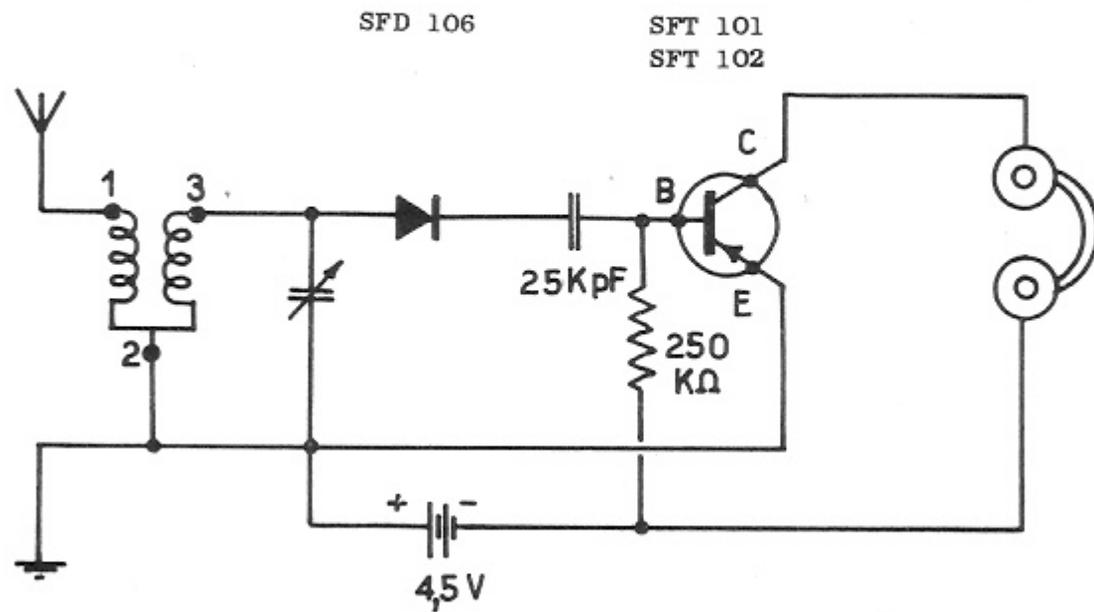
Des appareils à transistors alimentés par des batteries solaires, qui développent des tensions de quelques Volts avec des courants de plusieurs milliampères, ont déjà été réalisés.

La surface active (exposée au rayonnement) de cette batterie est de quelques centimètres carrés.

Des batteries plus grandes ( $1\text{m}^2$  de surface) ont été utilisées pour l'alimentation d'installations téléphoniques qui fonctionnent ainsi de manière autonome.

Souvent, on utilise le courant produit de cette manière pour charger des batteries en TAMPONS qui redonnent le courant quand il le faut, principalement la nuit lorsque la lumière électrique (artificielle) vient à manquer.

Des études de développement sont activement poursuivies dans les laboratoires de la Compagnie Générale de T.S.F.



- Fig. 14 -

EXERCICES PRATIQUES.

En conclusion de cette série d'exercices, nous exécuterons, le montage d'un petit récepteur à "P.O" pour l'écoute sur casque, composé essentiellement d'une diode au germanium et d'un transistor.

La diode fonctionne comme détecteur du signal et le transistor comme amplificateur de "B.F".

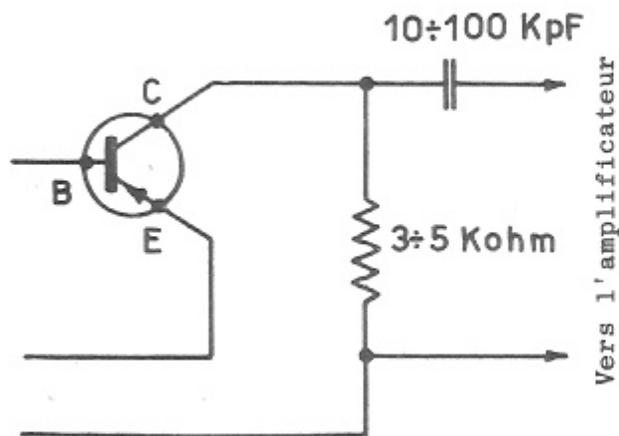
Comme on l'a déjà dit, la diode à cristal peut être l'un des types suivants: "SFD 106", "1N 34", "OA70", "OA71".

Le transistor sera du type: "SFT 101", "SFT 102", "OC 70", "OC 71",

Ce récepteur permet la réception de stations locales ou distantes de quelques dizaines de kilomètres.

L'alimentation du transistor est obtenue par une pile sèche de 4,5 Volts et, la consommation de courant étant minime, la durée en est pratiquement limitée par le vieillissement naturel de la pile.

Le schéma est représenté Fig. 14-.



- Fig. 15 -

Celui-ci est monté avec émetteur à la masse: le signal de "B.F" est détecté par la diode et appliqué sur la base, tandis que la tension négative est appliquée sur le collecteur à travers les enroulements de l'écouteur (de votre micro par exemple).

La diode est raccordée de façon classique et l'on doit faire très attention au raccordement du transistor.

Rappelez-vous qu'il est très délicat et qu'il ne supporte absolument pas de tensions inverses ni de liaisons erronées.

Pour une bonne réception il faut se servir d'une bonne antenne et d'une prise de terre correcte.

La première peut être réalisée par le "type secteur" c'est-à-dire un condensateur à papier de 2.000 - 5.000 pF raccordé sur un des fils du secteur.

La terre doit être raccordée à une canalisation d'eau après en avoir bien gratté la peinture.

Pour le cas où vous voudriez raccorder le récepteur ainsi construit à un amplificateur, vous devez remplacer l'écouteur par une résistance de 3.000 à 5.000  $\Omega$  et injecter le signal "B.F" sur l'entrée de l'amplificateur à travers un condensateur de liaison de 10.000 à 100.000 pF comme indiqué à la Fig. 15-.

Pour le cas où il vous manquerait un amplificateur "B.F", vous pouvez envoyer le signal arrivant du récepteur à la prise "P.U" d'un appareil normal de radio, comme on l'a dit dans la leçon précédente.

=====

REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA 9ème LECON TRANSISTORS

- 1- Le signal "M.F" est détecté par le transistor qui, ne laissant passer le courant que dans une direction, élimine une alternance.
- 2- Le circuit de réaction dans le récepteur à un transistor est connecté en série avec le collecteur.
- 3- La sélectivité s'améliore en insérant un 2ème circuit accordé entre l'émetteur et le collecteur et en l'accordant comme celui de l'entrée. Il faut éviter l'accrochage des oscillations entre les deux circuits accordés, en se rappelant que la sensibilité maximum du récepteur s'obtient lorsque le fonctionnement est à la limite de l'accrochage.
- 4- L'antenne magnétique est une antenne incorporée pour récepteurs, formée par une bobine enroulée sur un bâtonnet de matériau magnétique à grande perméabilité et dont la longueur est d'environ 20 cm.
- 5- L'étage changeur de fréquence peut être constitué par un seul transistor qui se nomme alors auto-oscillant; le transistor "SFT 108" qui a une fréquence de coupure de 10 MHz, pourrait servir.
- 6- La prise sur le primaire des transformateurs "M.F" (Moyenne Fréquence) sert à adapter l'impédance d'entrée et de sortie des transistors. Ceci est rendu nécessaire pour obtenir les meilleures conditions de fonctionnement des transistors comme amplificateurs.
- 7- Elle est obtenue avec une diode au germanium qui suit les étages amplificateurs "M.F".

=====

EXERCICE DE REVISION SUR LA 10ème LECON TRANSISTORS

- 1- Qu'est-ce qu'un transistor P-N-P-N ?
- 2- Qu'est-ce que le Transistor Tétrode ?
- 3- Comment sont constitués les transistors spéciaux P-N-i-P et N-P-i-N et quelles caractéristiques particulières présentent-ils ?
- 4- Quelles sont les fréquences maxima de travail des transistors ?
- 5- Quelles sont les caractéristiques du transistor à thyatron ?
- 6- Quels avantages présente le phototransistor ?

=====

REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA 10ème LECON TRANSISTORS

- 1- C'est un nouveau type de transistor à jonction caractérisé par un coefficient d'amplification de courant égal à 10 ou 20 fois.
- 2- C'est un transistor "N-P-N" auquel a été ajouté une électrode sur la base. Cette électrode est portée à un potentiel négatif par rapport à la base, ce qui rend le transistor apte à fonctionner sur des fréquences élevées par la diminution de la capacité inter-électrodes dont dépend la fréquence de coupure du transistor.
- 3- Ils sont tous les deux formés par des transistors classiques "P-N-P" et "N-P-N" auxquels on a ajouté une couche de germanium pur intrinsèque entre la base et le collecteur, pour augmenter l'isolement et permettre la réduction de l'épaisseur de la base elle-même. Il sont tous les deux adaptés à un fonctionnement sur fréquences élevées.
- 4- Des transistors expérimentaux ont été construits pour osciller à 95 MHz, un dérivé du transistor, le tecnétron fonctionne à plus de 400 MHz et est prévu pour atteindre 1.000 MHz.
- 5- C'est un transistor qui n'a pas qu'un mode de fonctionnement : en tout ou rien. En effet, le courant s'établit et continue de circuler tant que la tension à ses bornes reste au-dessus d'une certaine valeur, puis il s'annule pour ne reprendre que lorsque le potentiel à ses bornes dépasse une autre valeur de tension, pour laquelle le phénomène se reproduit. C'est le fonctionnement du thyatron à gaz rare déjà connu.
- 6- Les phototransistors contrôlent sous l'effet de l'intensité lumineuse un courant beaucoup plus grand, que ne le peuvent les cellules photoélectriques classiques.

-----