

28

vosre Carrière

REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs életroniqueiens



hebdomadaire pour la formation professionnelle - 9 - 16 septembre 1965 - le numéro 1,60 F.

SUISSE 1,70 FS

BELGIQUE 23 FB

MAROC 1,85 Dh

ALGERIE 1,80 FA

TUNISIE 1,70 M

ALLEMAGNE 1,80 DM

GRANDE - BRETAGNE 3,5 sh

CANADA 50 cts

U.S.A. 50 cts

vosre Carrière

revue hebdomadaire

DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS: Editions CHIRON - 40, rue de Seine

Tél. 633.18-93 - Paris (6^e) - C.C.P. 53-35.



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

Directrice: *Mme Etienne Chiron.*

Secrétaire de rédaction: *J. Lavergne*

ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition. France - 1 an (52 numéros) = 70 F; 6 mois (26 numéros) = 38 F. - Etranger - 1 an = 90 F - Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire la somme de 1,20 F par numéro.

S'adresser aux Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris - C.C.P. 53-35.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire (1,60 F).

Aucun envoi contre remboursement.

RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse.

S'adresser: Editions CHIRON - rue de Seine, 40 - Paris.

PUBLICITE

PUBLEDITEC - 13, Rue C. Lecocq
Tél. 250.88-04 et 88-05 - Paris, 15^e.

Cette Revue sera contrôlée par l' O. J. D.

DISTRIBUTION

Nouvelles Messageries de la Presse
Parisienne - 11, Rue Réamur - Paris.

COPYRIGHT

Dépôt légal éditeur 34 - 2^e trim. '65
Periodique N. 42 905 à la Commission Paritaire de la Presse.

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

Sommaire

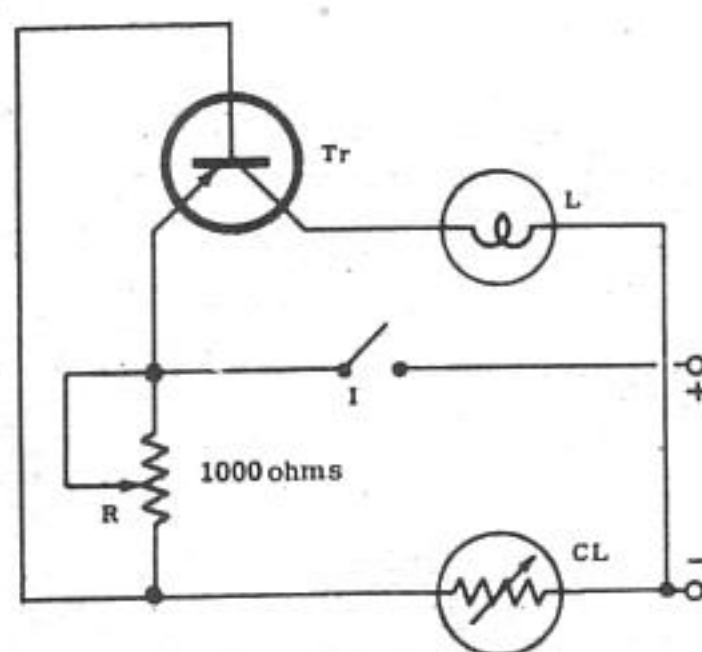
★ Courrier technique	page 2
★ L'équipement de la Maison de l'O.R.T.F. de Paris	» 3
★ Informations	» 4
★ Les semiconducteurs: la diode à cristal	» 5
★ Les transistors	» 14
★ Questions sur les 82 ^{ème} et 83 ^{ème} leçons	» 23
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 23
★ Caractéristiques des semiconducteurs professionnels « Cosem »	» 24
★ Symboles schématiques des principaux semiconducteurs	» 28
★ Dictionnaire Anglais-Français d'électronique	» 29

Courrier technique

M. BEQUART - Paris - nous demande comment réaliser un avertisseur optique qui fonctionne sous l'influence du rayonnement lumineux des phares d'automobile.

Si nous avons bien compris votre demande, vous voulez installer sur votre voiture un dispositif qui actionne automatiquement un signal optique quand une autre voiture vous suit de près et dépasse la marge de sécurité. La solution n'est pas difficile et il suffit de recourir aux types modernes de cellules photoélectriques et aux transistors.

Le schéma, comme on le voit, est très simple. En voici le fonctionnement.



La photocellule CL est branchée dans le circuit de la base de Tr. La résistance variable R est réglée de façon que le transistor se bloque quand la photocellule ne reçoit pas de lumière.

Quand la lumière des phares frappe la photocellule, sa résistance diminue et, en conséquence, la base du transistor devient plus négative: Tr conduit et la lampe L s'allume. La lampe allumée éclaire une inscription qui invite le chauffeur de la voiture qui vous suit à « tenir ses distances ». Pour ce montage, on pourra facilement installer la partie amplificatrice et la lampe dans un boîtier transparent avec le signal avertisseur, dans un endroit bien en vue et plutôt élevé. La photocellule, au contraire, sera installée à environ 60 cm au-dessus du niveau de la route, de façon à être exactement dans le champ des phares. Le transistor

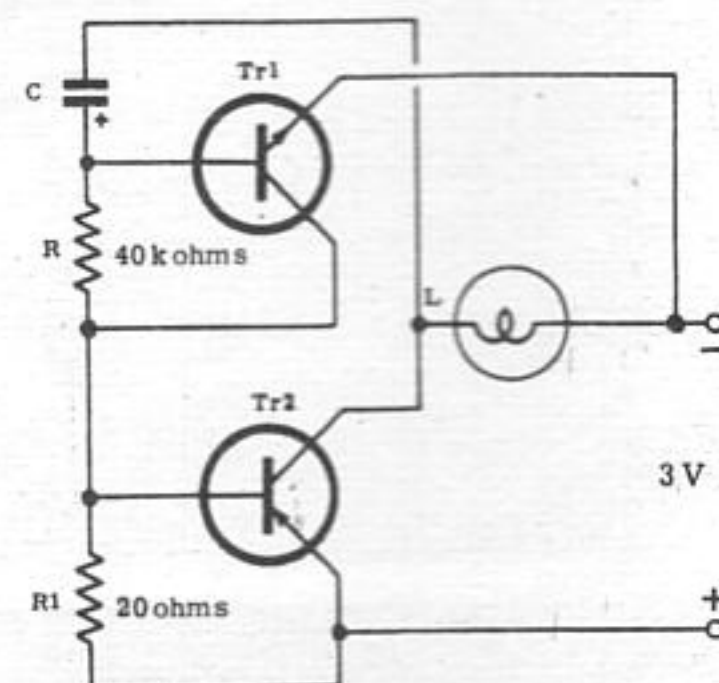
peut être le 2N256 ou son équivalent, et la photocellule, la RCA-6957.

L'HUILIER - Rennes - voudrait réaliser un clignotant, petit et sans bilame.

Nous vous conseillons d'utiliser des transistors. Le schéma suivant vous permet d'utiliser une batterie simple de 3 volts, et le montage peut prendre place dans un espace très réduit. Quand C est déchargé, il n'y a pas de différence de potentiel entre l'émetteur de Tr₁ et la base: le transistor se bloque donc. Tr₂ se bloque également au même instant.

Quand C commence à se charger, la base de Tr₁ devient positive et Tr₁ conduit. Le courant de Tr₁ passe à travers R₁ et provoque une polarisation favorable pour Tr₂ qui, de cette façon, conduit également. La lampe L s'allume parce qu'elle est alors alimentée par la batterie à travers Tr₂.

Le condensateur C commence alors à se décharger à travers Tr₁ et Tr₂ et la base de Tr₁ devient toujours plus négative jusqu'à ce que le transistor se bloque. Tr₂ se bloque aussi car il n'y a plus de chute à travers R₁: la lampe s'éteint et C se décharge complètement achevant ainsi un cycle.



Le même cycle se produit de nouveau et ainsi de suite. La durée des impulsions est en relation avec les valeurs choisies pour C et R. Nous conseillons pour C une valeur de 20 µF.

Chronique des métiers de la radio

L'équipement de la Maison de l'O.R.T.F. de Paris

(voir aussi N. 23 et 27)

EQUIPEMENT TYPE D'UNE CABINE DE PRISE DE SON

DESCRIPTION

Le préamplificateur de micro est réalisé dans un caisson normalisé type E de $160 \times 152 \times 400$ mm et il pèse 9 kg.

Sa face avant porte: l'interrupteur général et le voyant 6,3 volts, les fusibles de protection secteur et trois commutateurs à deux positions commandant la mise en service des trois correcteurs incorporés.

Le préamplificateur de micro s'insère dans les alvéoles des bâtis ou des armoires normalisés. Son raccordement électrique est effectué par deux connecteurs à 14 broches enfichables placés dans le fond du caisson.

Un soin tout particulier est apporté à la réalisation de cet appareil par Alcatel pour éviter la transmission des chocs aux éléments sensibles; par exemple, la manœuvre des commutateurs de commande des correcteurs ne produit aucun parasite gênant.

CIRCUITS

Le préamplificateur de micro SN 134 A est un amplificateur à deux étages doté d'une alimentation incorporée.

La modulation issue du microphone attaque, à travers un transformateur d'entrée symétrique, un premier étage EF 86. Trois correcteurs indépendants permettent, sur cet étage ou à la sortie de cet étage, de modifier la courbe de réponse globale du préamplificateur.

Après un second étage EF 86, la sortie se fait sur un transformateur symétrique.

Un relais de commande à distance, dont les contacts sont en parallèle sur ceux de l'interrupteur manuel, permet de télécommander l'alimentation des préamplificateurs depuis la console de prise de son ou depuis le pupitre de la Salle Technique.

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Impédance normale de travail à l'entrée: 200 ohms.

Impédance d'entrée: supérieure à 600 ohms de 40 à 15 000 Hz.

Impédance normale de travail à la sortie: supérieure à 600 ohms (égale à l'impédance d'entrée de l'amplificateur de mélange).

Impédance de sortie: inférieure à 200 ohms de 40 à 15 000 Hz.

Gain: $20 \pm 0,5$ à 1 000 Hz.

Courbe de réponse sans correcteur: $\pm 0,2$ dB de 80 à 7 500 Hz; $-0,4$ dB de 40 à 80 Hz et de 7 500 à 15 000 Hz.

Niveau normal d'entrée: 60 dB.

Niveau maximum de sortie: -5 dB quels que soient les correcteurs en service.

Distorsion d'harmoniques: inférieure à 0,3% pour un niveau de sortie de -20 dB - inférieure à 0,75% pour un niveau de sortie de -5 dB.

Bruit de fond: inférieur à -104 dB sans correcteur - inférieur à -98 dB quels que soient les correcteurs en service.

Microphonicité: lorsque ce préamplificateur est placé en tête d'une chaîne d'amplification dont le gain est inférieur ou égal à 135 dB, aucun accrochage ne se produit par effet LARSEN.

Stabilité: pour une variation de tension secteur de $\pm 7\%$, le gain à 1 000 Hz ne varie pas de plus de $\pm 0,2$ dB et les courbes de réponse ne varient pas de $\pm 0,1$ dB.

Alimentation secteur: 127 volts 50 Hz ou 220 Volts 50 Hz sur demande.

AMPLIFICATEUR DE MELANGE

Type RTF SN 312 F

Les amplificateurs de mélange type SN 312 F constituent l'équipement actif des consoles de prise de son ALCATEL. Ils permettent, à partir des sources de modulation: microphones (et leurs préamplificateurs), machines de lecture, d'élaborer le programme tel qu'il doit être diffusé ou enregistré pour émission différée.

Sur une console, les divers amplificateurs sont constitués en groupes qui permettent d'effectuer les dosages puis les mélanges des diverses sources acoustiques. L'amplificateur SN 312 F peut donc être utilisé comme amplificateur général de groupe (il est alors appelé amplificateur intermédiaire).

Il est à noter que l'entrée de chaque amplificateur peut être commutée, au choix, sur l'une des deux arrivées de modulation qui lui sont normalement raccordées.

Les amplificateurs de mélange s'encastrent côte à côte dans le pupitre de la console de prise de son. Chaque amplificateur formant un tout, le câblage de la console est réduit au minimum.

DESCRIPTION

L'utilisation particulière de ce type d'amplificateur a conduit à lui donner une forme spéciale dite « tranche ». De la sorte, on peut aisément placer côte à côte les divers amplificateurs d'une console en les répartissant par groupe.

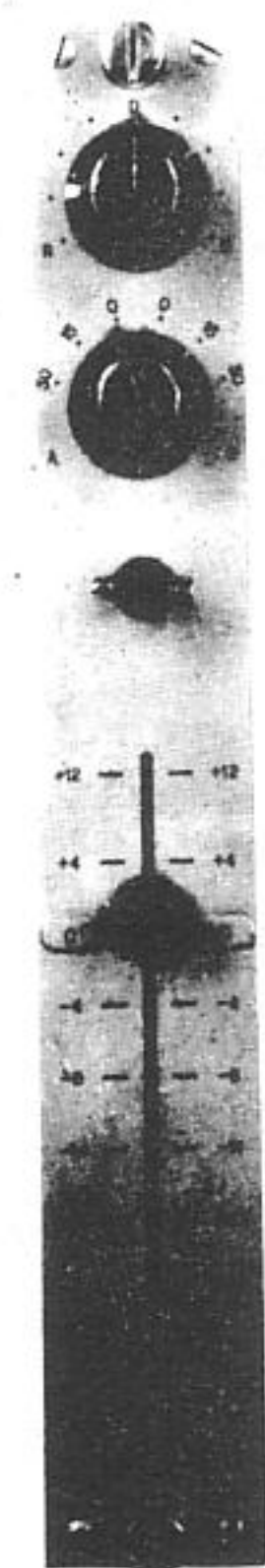
Une platine de 55 × 370 mm constitue la face avant de l'appareil. Celle-ci affleure sur la face inclinée du pupitre proprement dit. Sous la platine, la profondeur de l'amplificateur est de 140 mm. Son poids est de 4 kg.

Sur la platine on trouve:

- le curseur du potentiomètre de gain, à déplacement linéaire,
- la clé de court-circuit des sorties de l'amplificateur, qui comporte un contact pour une éventuelle télécommande d'une machine de lecture.
- Le bouton de commande de l'atténuateur desservant, l'une ou l'autre des deux entrées possibles, repérées A et B.

- le bouton de commande des niveaux de sortie, permettant un dosage relatif des sorties « directe », « réverbération » et « sonorisation ».

Le raccordement électrique est effectué par un connecteur à 14 broches enfichables placé sous l'amplificateur.



Amplificateur de mélange.

CIRCUITS

L'amplificateur de mélange SN 312 F est un amplificateur à trois étages, particulièrement étudié pour ses caractéristiques électro-acoustiques. Il ne comporte pas d'alimentation incorporée, mais reçoit les tensions nécessaires à son fonctionnement de coffrets d'alimentation extérieurs.

L'amplificateur peut être connecté, par l'intermédiaire de l'atténuateur d'entrée, à l'une ou à l'autre des deux arrivées de modulation.

Un potentiomètre de gain, à course linéaire, est intercalé entre les deuxième et troisième étages. Le dernier étage alimente trois sorties:

la sortie « directe », utilisée dans la suite de la chaîne d'amplification BF;

la sortie « réverbération », utilisée pour produire des effets d'échos;

la sortie « sonorisation », qui dessert soit les amplificateurs de puissance des meubles d'écoute du studio ou de la cabine, soit les circuits de sonorisation de l'immeuble.

Un commutateur à 9 positions permet de réaliser, par paliers discontinus, le dosage relatif des trois sorties selon les exigences de l'exploitation.

Enfin, un interrupteur permet de mettre toutes les sorties en court-circuit. Un contact supplémentaire de cet interrupteur assure éventuellement le démarrage à distance de la machine de lecture associée à l'amplificateur.

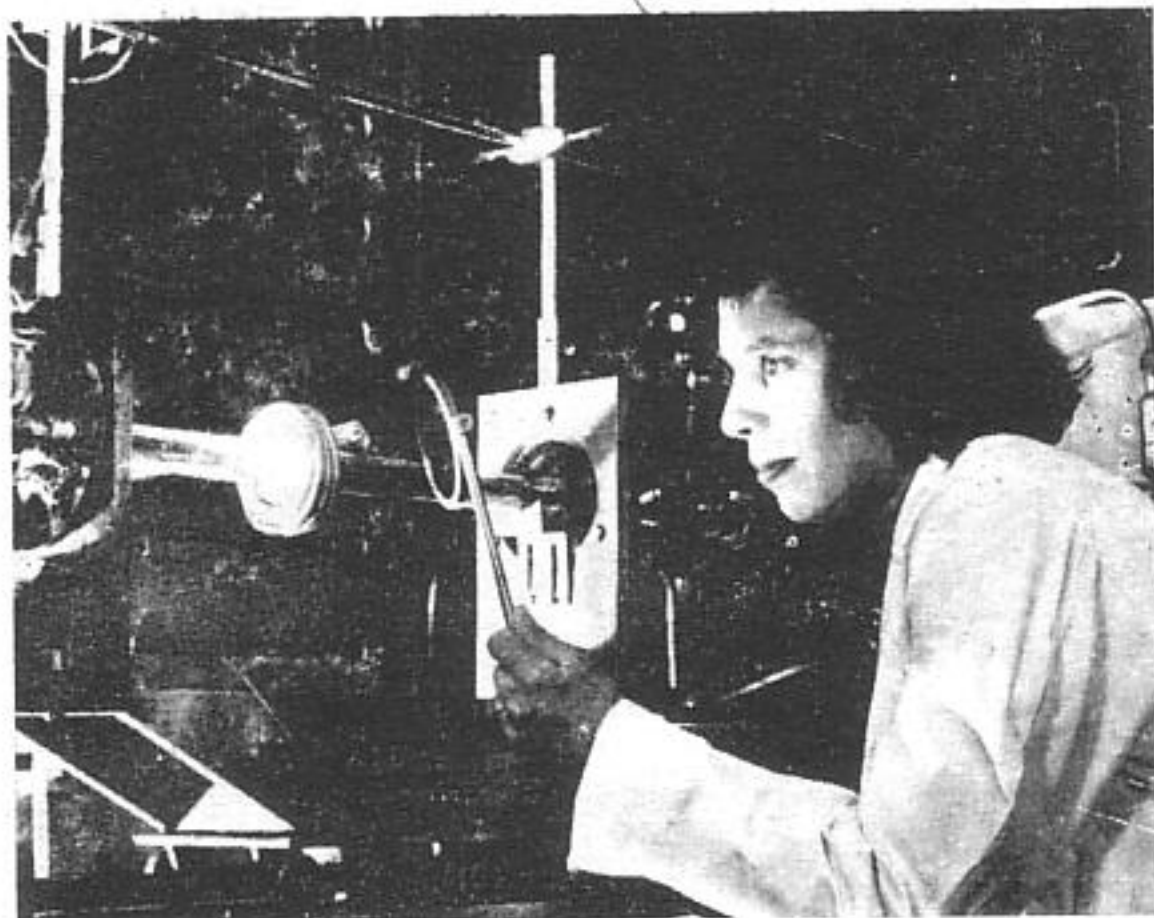
Informations

FUSION des METAUX DANS un CREUSET FROID

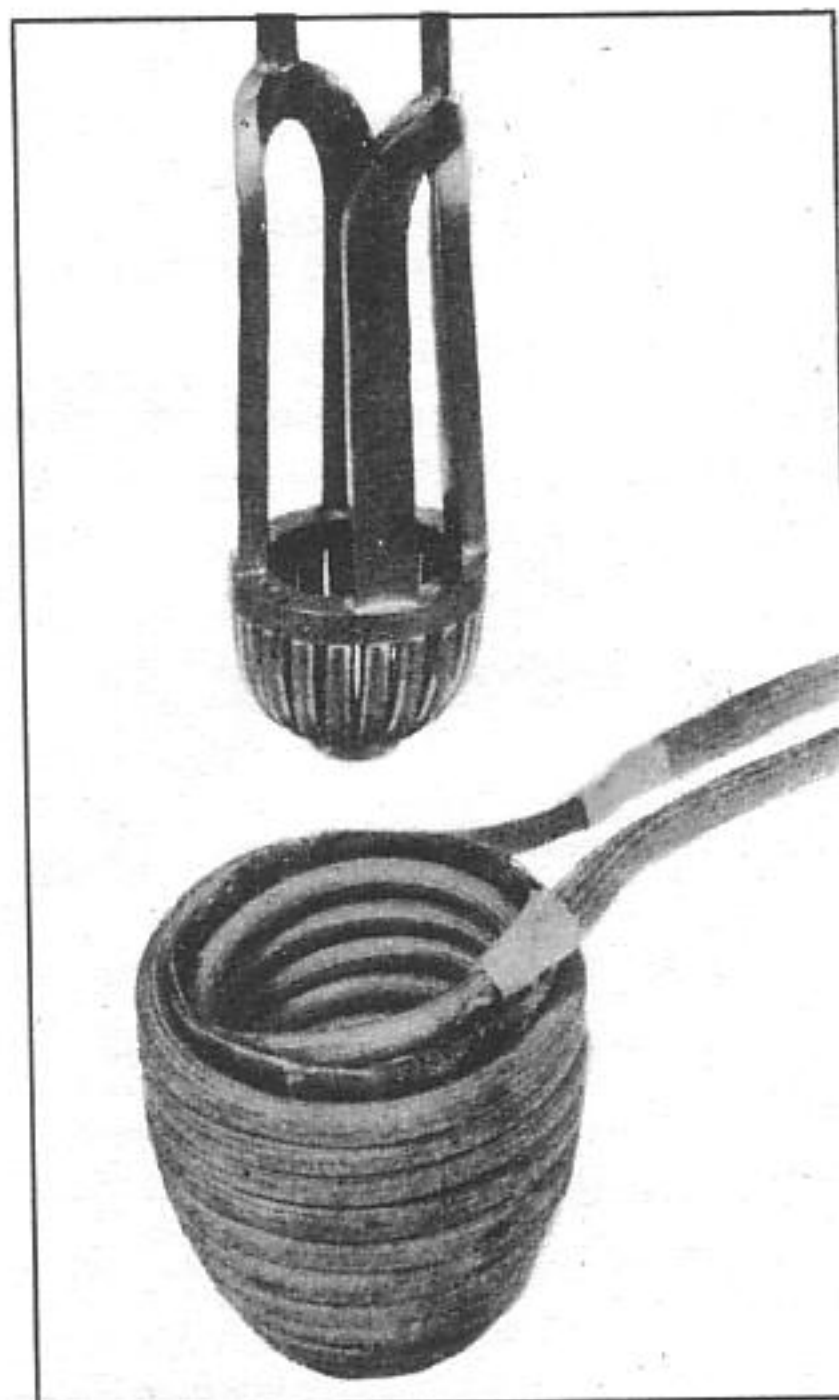
Les recherches effectuées aux Standard Télécommunication Laboratories pour la production d'un silicium de très grande pureté ont abouti à une nouvelle méthode de fusion et de traitement sans contamination à haute température de matériaux chimiquement réactifs. En employant le chauffage par haute

fréquence dans des creusets métalliques refroidis à l'eau placés dans le champ inducteur, il est possible de faire fondre des corps tels que le molybdène, le fer, le vanadium, le bore, ainsi que des matériaux tels que les ferrites, sans que la charge en fusion ne mouille la surface froide et sans formation de croûte solide.

L'équipement comprend un enroulement de chauffage par induction d'un type spécial avec un creuset adéquat et un mécanisme associé. Les creusets sont généralement en argent et peuvent avoir différentes formes. Pour le raffinage par zone, on utilise un creuset allongé en forme de nacelle avec un mécanisme de translation comme il est montré



a) Raffinage par zone dans un creuset en forme de nacelle.



b) Creuset d'argent en forme de cage.

(suite page 31)

LES SEMICONDUCTEURS: LA DIODE A CRISTAL

Tous les sujets que nous avons traité jusqu'ici, forment — en un certain sens — l'étude détaillée de l'histoire de l'électronique, tout au moins dans la partie de la radiotechnique qui concerne les télécommunications. Jusqu'ici nous avons suivi l'évolution de cette science en décrivant ses différents développements dans un ordre correspondant, à peu près, à leur réelle succession dans le temps, c'est-à-dire de la même façon que cette évolution s'est produite pendant ces dernières décades.

Nous sommes ainsi arrivés en un point où il nous est possible de pénétrer dans le domaine le plus nouveau, le plus avancé de l'électronique. Nous ne voulons pas dire par là, qu'un récepteur à modulation de fréquence puisse être actuellement considéré comme étant un appareil de conception périmée; cela serait d'autant plus faux que nous avons affirmé, que ce procédé de radiodiffusion avait pris un développement tel, qu'il remplacerait peu à peu la modulation d'amplitude. Nous voulons parler plus précisément de l'avènement des **transistors**, lesquels tendent de plus en plus à se substituer aux lampes thermioniques, aussi bien en ce qui concerne l'amplification, haute ou basse fréquence, que la détection des signaux modulés en amplitude ou en fréquence, et que toutes les autres applications de l'électronique (calculateurs et appareils de mesure divers) que nous étudierons par la suite.

Le principe et la caractéristique principale d'un corps semiconducteur ne sont pas nouveaux pour le lecteur: nous avons déjà vu comment un corps semiconducteur — l'oxyde de cuivre ou de sélénium, par exemple — permettait le passage du courant électrique dans une seule direction seulement, donnant ainsi la possibilité de redresser le courant alternatif.

Dans la 9ème leçon, nous avons appris, en outre, que d'autres corps semiconducteurs — le germanium et le silicium, par exemple — pouvaient être employés pour un autre genre de redressement, plus précisément pour la détection des courants haute fréquence. Cette application particulière a constitué, en fait, la première utilisation pratique des semiconducteurs; elle a été considérablement perfectionnée au cours des dernières années et l'on a réussi à obtenir des éléments redresseurs dont la stabilité et la constance des caractéristiques sont telles qu'une diode à cristal est préférable à une lampe pour la détection des courants haute fréquence, tels que ceux utilisés dans les télécommunications.

Les nombreuses applications qui ont donné naissance aux développements actuels de la technique des semiconducteurs, ont stimulé l'initiative des industriels et ont provoqué de nouvelles recherches de la part des savants et techniciens de tous les pays; ces études ont ouvert un immense domaine à la technique électronique.

L'objet principal de cette première leçon est donc d'expliquer les principes de base du fonctionnement des semiconducteurs. Cette étude fait appel à certaines conceptions nouvelles, car la théorie du fonctionnement des semiconducteurs, des transistors en particulier, est absolument différente de celle concernant les lampes; c'est pourquoi, si l'on ne possède pas une connaissance suffisante de la théorie de la structure atomique de la matière, il sera nécessaire de relire attentivement la leçon qui lui a été consacrée au début de ce cours (4ème leçon).

LES SEMICONDUCTEURS

Les transistors sont désormais universellement connus: ils ne constituent, toutefois, qu'une partie du vaste domaine d'application des semiconducteurs. Dans cette catégorie sont également incluses — elles ont constitué, en fait, les premières applications pratiques des semiconducteurs — les diodes au germanium utilisées comme détecteurs, redresseurs, interrupteurs, limiteurs, etc..., ainsi que les diodes au silicium qui sont également employées comme mélangeuses dans les étages changeurs de fréquence des récepteurs fonctionnant sur des fréquences très élevées (U.H.F.).

Les anciens récepteurs à galène, basés sur les propriétés bien connues du sulfure de plomb, ont constitué la plus ancienne application pratique des semiconducteurs dans le domaine de la radio.

Le fonctionnement des transistors, comme celui des diodes à cristal, dépend donc des caractéristiques électriques d'une certaine catégorie de substances, connues sous le nom de semiconducteurs. On désigne sous ce nom des corps solides dont la conductivité est plus grande que celle des isolants, mais beaucoup plus faible que celle des bons conducteurs.

Dans certains cas, les semiconducteurs se comportent exactement de la même manière que les corps isolants et ce n'est que dans des conditions particulières précises (introduction d'impuretés, influence d'un rayonnement lumineux...) qu'ils présentent les caractéristiques exceptionnelles utilisées en électronique.

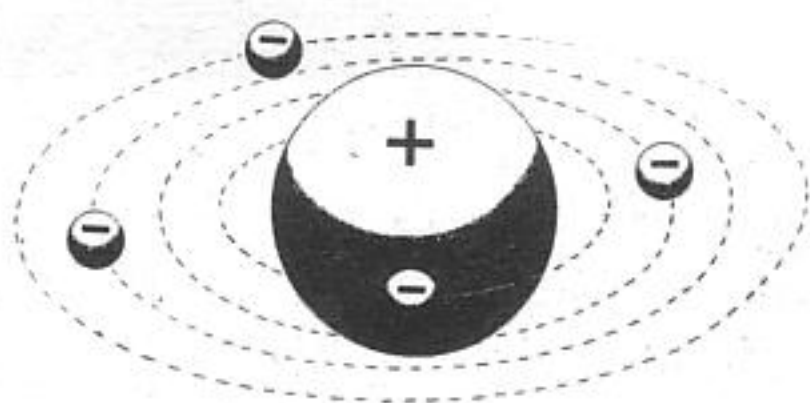


Fig. 1 - Les électrons, ou charges négatives, gravitent autour du noyau, constitué par des charges positives de même importance, en décrivant des orbites concentriques. Dans les corps conducteurs, les électrons de l'orbite extérieure (ou électrons périphériques) peuvent s'éloigner de l'atome sous l'effet de forces externes (d.d.p. électrique, par exemple). Dans ce cas, les électrons présents en abondance dans la structure atomique de la matière à proximité du point négatif, se déplacent vers le point positif constituant un courant.

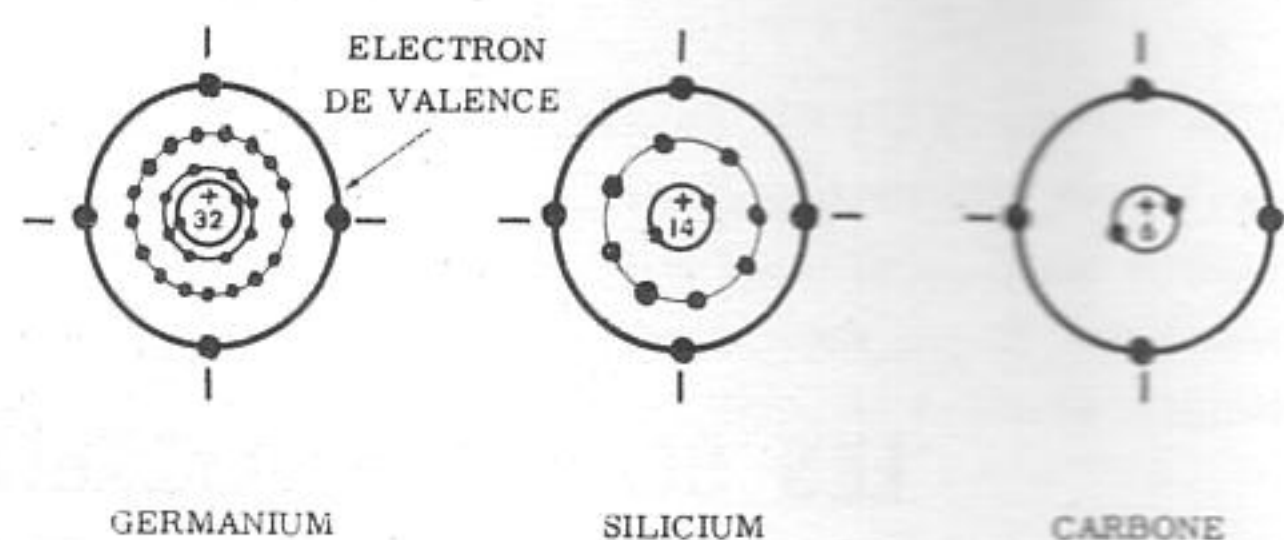


Fig. 2 - On voit que les atomes de germanium, de silicium et de carbone, bien que différents par le nombre total de leurs électrons, ont tous quatre électrons périphériques, il sont tétravalents. Ces derniers forment des éléments de liaison entre les atomes différents réunis en un rapport quantitatif déterminé pour former une substance donnée.

Le germanium et le silicium, combinés avec de faibles quantités de certains autres corps que l'on qualifie « d'impuretés », sont les plus courants des corps semiconducteurs. Il existe encore d'autres substances ayant des propriétés analogues, mais elles ne sont pas aussi largement employées que celles mentionnées ci-dessus. Comme les explications concernant les propriétés et le comportement de ces deux corps s'appliquent également à ces autres substances, il nous suffira de nous occuper, ici, uniquement des applications du germanium et du silicium.

ELECTRONS ET LACUNES DANS LES SEMICONDUCTEURS

Les idées les plus récentes émises à propos de la théorie du fonctionnement des transistors, font état de deux types de courants différents pouvant prendre naissance dans un transistor. L'un d'eux est constitué par le déplacement des électrons libres ou « en excès », sous l'influence d'un champ électrique: c'est le courant électrique, bien connu de nos lecteurs. On a, dans ce cas, la « conduction par excès », car les électrons libres ou électrons de valence, présents en abondance dans la structure atomique de la matière à proximité de l'extrémité négative de l'élément semiconducteur se déplacent vers l'extrémité positive où il en manque.

Le second type de courant constitue, par contre, la « conduction par défaut », dite également de « cavité » ou de « lacune », qui se manifeste dans le cas d'un élément qui manque d'électrons libres. Ce manque d'électrons laisse un vide, ou lacune, dans la structure moléculaire, d'où le nom de ce type de courant.

Rappelons à ce propos que les atomes d'un même élément, ou de plusieurs éléments différents, réunis dans un certain rapport quantitatif pour former un corps simple ou composé, se joignent étroitement les uns aux autres grâce aux électrons de valence, pour constituer les molécules. La valence chimique s'ex-

plique par la tendance qu'ont les électrons à se grouper par huit.

Si sur la couche externe d'un atome, il manque 1, 2 ou 3 électrons, on a à faire à un métalloïde mono, bi, ou trivalent. C'est un isolant.

Si, au contraire, la couche externe ne comporte que 1, 2 ou 3 électrons le corps est un métal mono, bi ou trivalent. C'est un conducteur.

Ainsi, par exemple, un élément comme l'oxygène, dont la couche externe ne comporte que 6 électrons, est un métalloïde bivalent, il manque en effet 2 électrons à cette couche pour être saturée à 8. De même, le calcium, dont la couche extérieure ne comporte que 2 électrons, est un métal bivalent.

Dans ces conditions, l'oxygène pourra fixer un atome d'un élément dont la couche extérieure n'aura que deux électrons de valence. Par exemple, il fixera un atome de calcium dont la couche extérieure ne comporte que deux électrons libres.

Les deux atomes se combinent pour former une molécule de chaux:



La molécule de chaux ainsi constituée possède une couche extérieure de 8 électrons.

On dit que la valence **électronégative** (parce qu'il ne manque que deux électrons extérieurs) de l'oxygène, a été complétée par la valence égale mais **électropositive** (parce qu'il n'y a que deux électrons extérieurs) du calcium.

Les deux « trous », dûs aux deux électrons manquant dans la couche extérieure de l'oxygène, peuvent être bouchés par les électrons libres de deux atomes dont la couche externe ne porte qu'un seul électron. Ce sera le cas de l'hydrogène, par exemple.

Ainsi, un atome d'oxygène s'unira à deux atomes d'hydrogène, pour former une molécule d'eau (H₂O):



Ces lois générales régissent également la formation des molécules des corps simples. Par exemple, deux

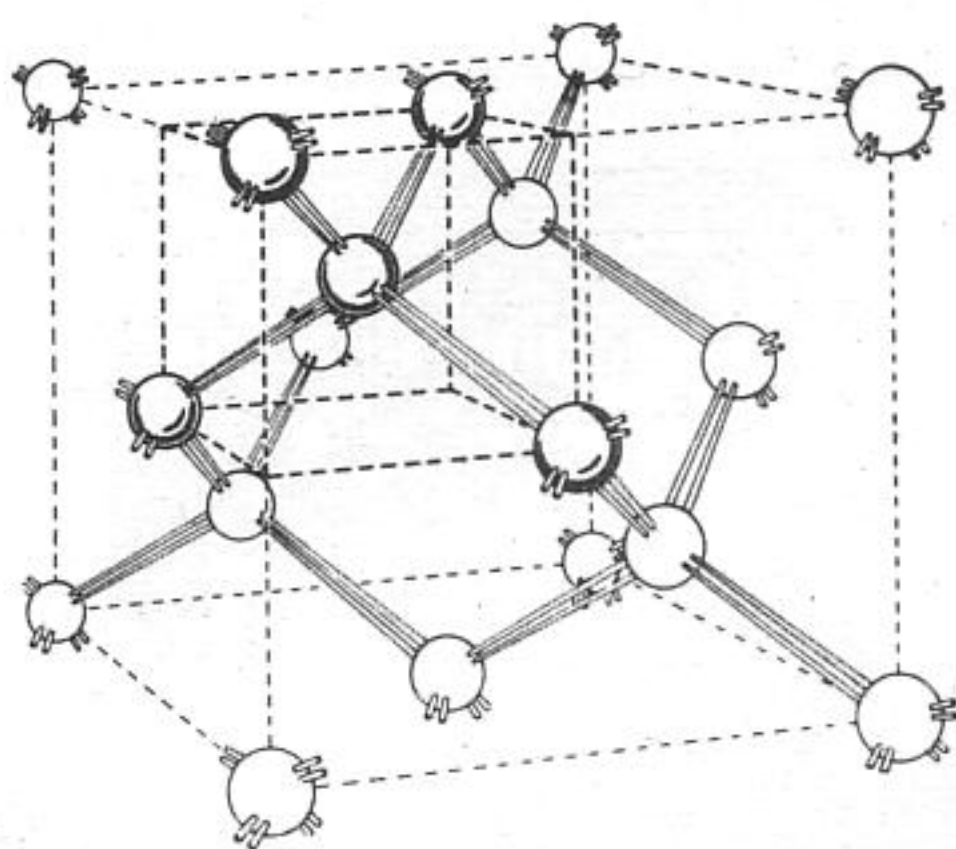


Fig. 3 - Représentation dans l'espace d'une structure cristalline de germanium ou de silicium. On remarquera les liaisons de covalence.

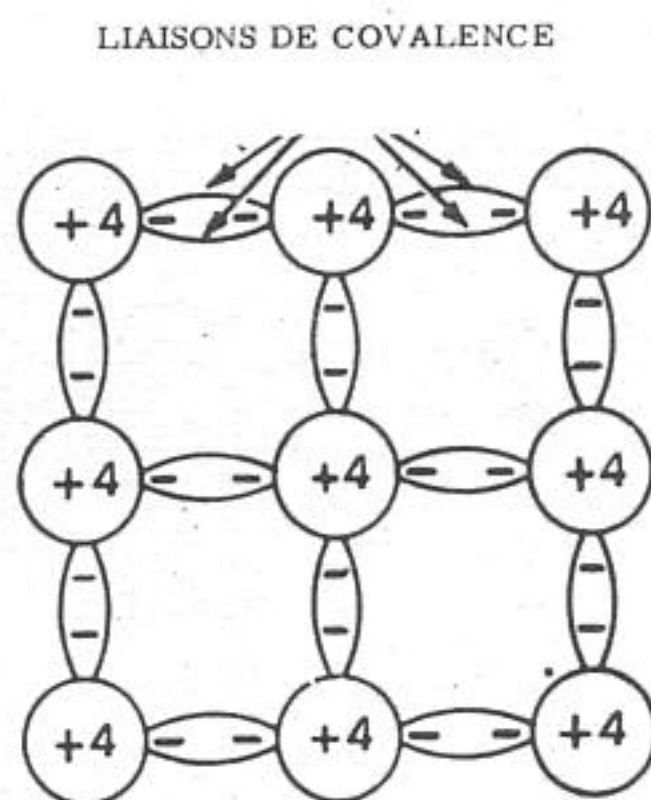


Fig. 4 - Représentation en plan de la structure cristalline de la figure 3. Les liaisons entre les atomes adjacents sont dues à 2 électrons.

atomes d'hydrogène s'unissent pour former une molécule d'hydrogène (H_2). De même, deux atomes d'oxygène se groupent pour constituer une molécule.

Par contre, le néon, dont la couche externe est **complète** avec 8 électrons a une **valence nulle**; c'est un élément chimiquement inerte. Il ne peut entrer dans aucune combinaison.

Enfin, lorsque pour le carbone, le germanium, le silicium etc..., la couche externe comporte en tout 4 électrons, l'atome est **tétravalent** (valence 4) et le corps peut se comporter, soit comme un métal (conducteur) soit comme un métalloïde (isolant).

Ces éléments sont des **semiconducteurs**.

Un atome de carbone (4 électrons de valence) s'unira à 4 atomes d'hydrogène (1 électron de valence pour chaque atome), pour former une molécule de méthane:



La molécule de méthane ainsi constituée, dont la couche externe possède 8 électrons libres, sera stable.

Voyons maintenant ce qui se passe dans une substance à base de silicium. Il existe un corps appelé **carbure de silicium**, dont la formule chimique est CSi .

En comparant cette formule avec celle du méthane nous constatons qu'un seul atome de silicium ($Si = 4$ électrons de valence) a été suffisant pour remplacer les 4 atomes d'hydrogène. Les deux atomes, carbone et silicium, s'équilibrent donc puisque chacun d'eux a une valence égale à 4.

Si nous créons volontairement un corps composé, formé de molécules dans lesquelles les atomes de silicium et de carbone ne sont pas en nombre égal, nous obtenons une substance incomplète, dans laquelle certains électrons de valence manquent, laissant des vides appelés « lacunes ». Si nous appliquons une différence de potentiel aux extrémités d'un fragment de cette substance, créant ainsi un champ électrique, les électrons se déplacent de lacune en lacune pour compléter la structure des liaisons entre atomes; de ce fait, puisque à tout déplacement d'un électron correspond le déplacement en sens inverse d'une lacune, on

obtient un déplacement apparent de ces lacunes dans le sens opposé à celui des électrons. Nos lecteurs se souviendront que tout cela a déjà été sommairement exposé à la page 323, figure 1.

Le mouvement apparent de ces lacunes (on dit aussi « trous ») présente une certaine analogie avec le mouvement des bulles de vapeur dans un récipient contenant un liquide en ébullition: en effet, chaque goutte d'eau qui s'évapore sur le fond du récipient monte à la surface sous forme de bulle et la place laissée libre est immédiatement remplie par une quantité d'eau correspondante. Il se produit donc deux mouvements simultanés, l'un de la bulle de vapeur vers le haut (comparable à une cavité ou lacune), l'autre de la goutte d'eau (comparable à un électron) qui vient remplacer, dans le bas, celle évaporée. C'est ainsi que le mouvement des lacunes, qui sont électriquement positives se fait en sens inverse de celui des électrons, qui sont des charges négatives.

Etant donné que la lacune n'est qu'une absence d'électrons, elle doit être considérée comme une charge positive; en outre, étant donné qu'elle se déplace dans une certaine direction elle forme un véritable courant. On peut donc parler d'un **courant de lacunes**, ou **courant lacunaire**, c'est-à-dire d'un **déplacement des charges positives** dans un semiconducteur.

STRUCTURE ATOMIQUE

Nous savons que chaque atome est formé d'un noyau positif, constitué par un certain nombre de protons et de neutrons, entouré d'un nombre égal d'électrons tournant sur des orbites concentriques (voir **figure 1**). Chaque orbite ne peut contenir d'électrons en nombre supérieur à un maximum qui dépend de la nature de l'élément.

Quand une orbite contient le nombre maximum d'électrons, elle peut être considérée comme complète. Dans de nombreux atomes, les orbites les plus internes, celles qui sont le plus près du noyau, sont toujours complètes, tandis que l'orbite extérieure peut,

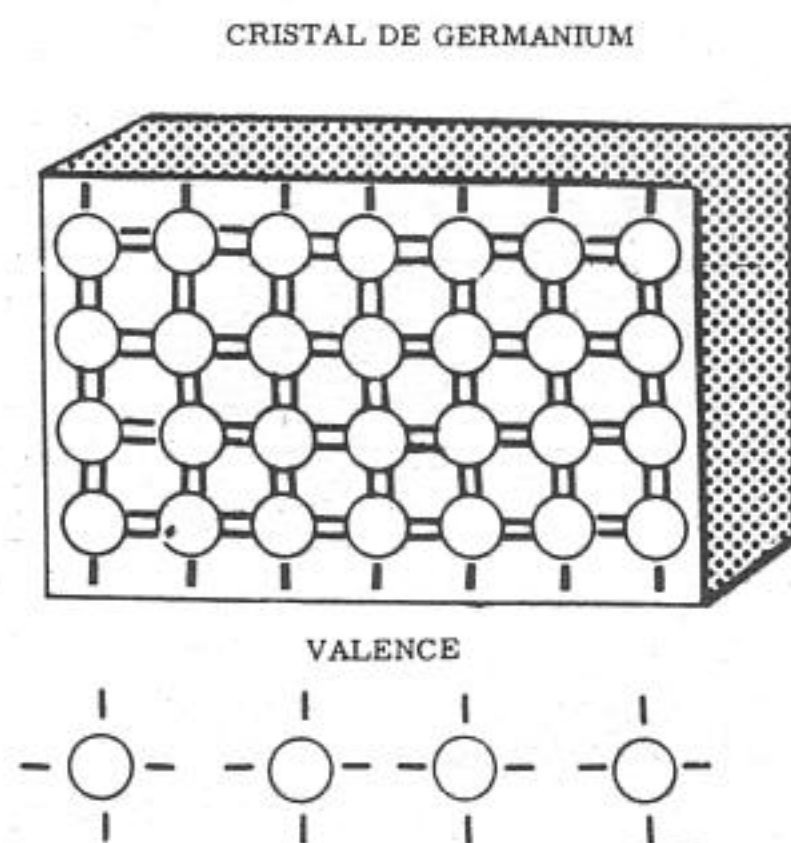


Fig. 5 - Représentation schématique d'un cristal de germanium pur. Comme on le voit, tous les atomes sont liés deux à deux.

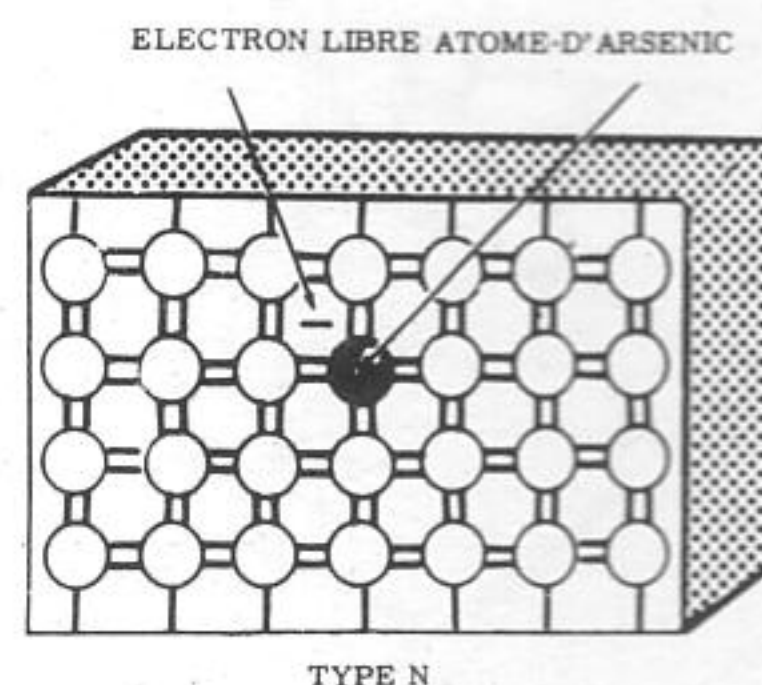


Fig. 6 - La présence d'un atome d'impureté, l'arsenic par exemple, dans le germanium donne un électron supplémentaire, libre de se déplacer à l'intérieur du cristal. Dans ce cas, le semiconducteur est du type « n ».

parfois, être incomplète. Le noyau peut être considéré comme étant complètement inactif en ce qui concerne les réactions chimiques et les phénomènes électriques. Les propriétés chimiques et électriques d'une substance donnée dépendent uniquement de la composition de l'orbite électronique externe, portant les électrons de valence.

STRUCTURE D'UN CRISTAL

Certains des électrons externes déterminent la caractéristique de « valence chimique » ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

L'atome de germanium, par exemple, a 32 électrons qui tournent autour de son noyau; 28 d'entre eux sont étroitement liés au noyau lui-même, tandis que les 4 autres prennent une part active aux réactions chimiques et présentent une importance considérable dans le fonctionnement des transistors. Les atomes de germanium, de silicium et de carbone sont représentés sur la figure 2.

Il convient de remarquer que le silicium et le germanium sont tous deux des corps **tétravalents**, c'est-à-dire que, pour tous les deux, seuls les quatre électrons périphériques peuvent participer aux réactions chimiques. Chacun des quatre électrons de valence de chaque atome constitue le lien avec un des quatre autres les plus proches. En d'autres termes, ces électrons, accouplés deux par deux forment ce qu'on appelle communément les liens de co-valence et forment l'anneau de liaison entre les paires d'atomes adjacents: ce sont eux qui constituent la force de cohésion mutuelle dans la structure cristalline qui est celle du germanium ou du silicium.

La représentation tri-dimensionnelle de la figure 3 montre les liens de co-valence unissant les atomes entre eux. L'ensemble est redessiné en plan dans la figure 4 où l'on peut constater que les liaisons entre les atomes adjacents sont dues à deux électrons, un pour chaque atome, ce qui produit un lien stable.

Pour la simplicité de cet exposé, et nous référant aux deux éléments dont nous avons parlé (le germa-

nium et le silicium), nous pouvons supposer, étant donné que les électrons des orbites internes sont inséparables du noyau, qu'ils constituent avec celui-ci un véritable noyau. Ce noyau a une charge positive égale à 4, compensée par une charge négative égale constituée par les 4 électrons périphériques. Cette condition est exactement celle de la figure 2.

PROPRIETES DU GERMANIUM

La figure 5 représente la structure cristalline du germanium pur. Il est facile de voir que deux atomes voisins du cristal sont réunis par une liaison à 2 électrons, qui s'échangent d'un atome à l'autre. Un atome quelconque du réseau cristallin est ainsi entouré par huit électrons. Cette structure externe à 8 électrons est celle des gaz rares de l'air (néon, argon, xénon), et l'on sait qu'elle est très stable.

Le germanium à l'état pur, se comporte donc comme un isolant. Toutefois, à cause de l'agitation thermique, certains électrons acquièrent une énergie suffisante pour rompre les liens qui les maintiennent et deviennent, ainsi, des électrons libres; ces électrons, pouvant se déplacer librement dans le réseau cristallin, sont disponibles pour constituer un éventuel courant.

Un électron ainsi libéré, laisse derrière lui un « trou » ou « lacune » dont la charge positive est égale, en valeur absolue, à celle de l'électron. Ce trou pourra être comblé par recombinaison avec un électron libre, ou par captation d'un électron de valence d'un atome voisin. En raison de ce phénomène, le germanium et le silicium sont classés dans les corps semiconducteurs, plutôt que parmi les isolants.

Presque tous les dispositifs dont le fonctionnement est basé sur les propriétés des semiconducteurs permettent le passage du courant plus facilement dans un sens que dans l'autre; c'est pourquoi ils peuvent être utilisés comme redresseurs pour le courant alternatif et comme détecteurs. En outre, le passage de ce courant peut être contrôlé et peut varier quantitativement sous l'effet de conditions physiques ou de forces

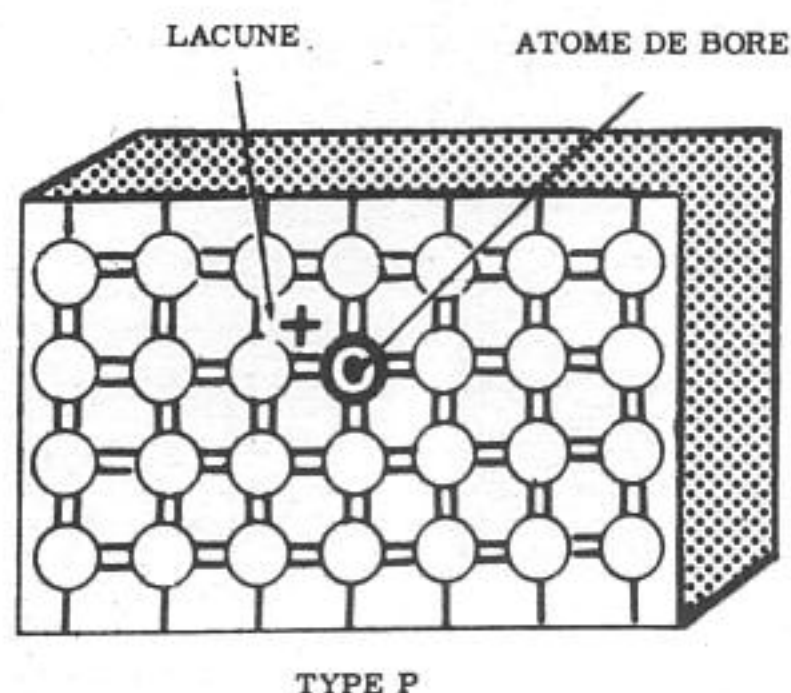


Fig. 7 - Si l'impureté ajoutée au cristal de germanium est un atome de bore, par exemple, au lieu de l'arsenic, on a une lacune libre au lieu d'un électron. Elle équivaut à une charge positive et, dans ce cas, le semiconducteur est du type « p ».

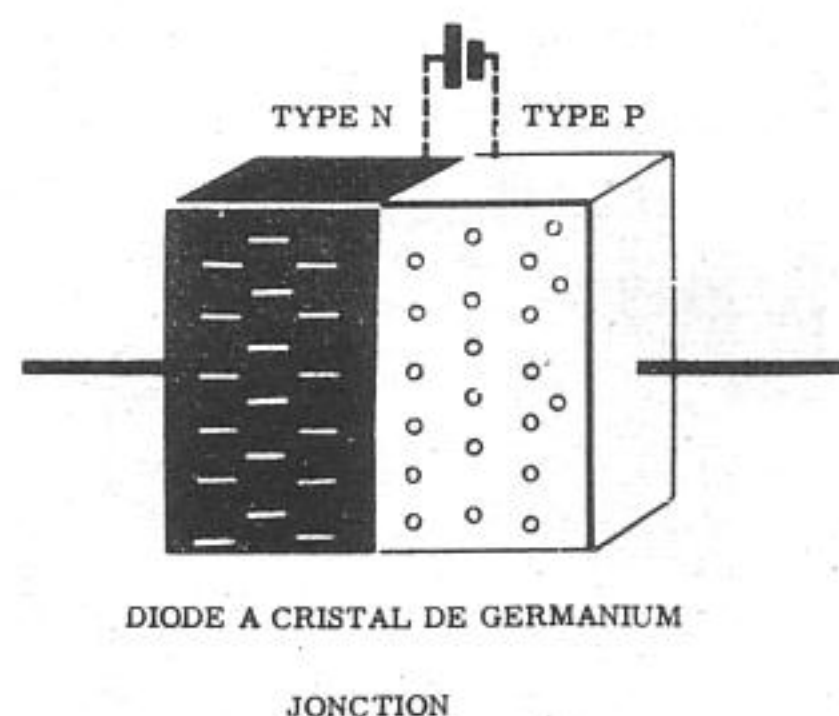


Fig. 8 - Une jonction est constituée par deux couches, une du type « n » et une autre du type « p ». Leur polarité différente forme une charge statique.

extérieures, comme la lumière, la chaleur ou les champs électriques. Cette dernière propriété a permis la réalisation des transistors.

Si un petit fragment de germanium ou de silicium, dans lequel les liaisons entre atomes ont été interrompues, est soumis à l'action d'un champ électrique, on constate la présence de **deux** courants différents. Le premier est constitué par les électrons qui se déplacent dans la direction du champ électrique appliqué, c'est le courant électrique bien connu; le second, par contre, est constitué par les lacunes qui se déplacent dans le sens inverse de celui des électrons.

En d'autres termes, un atome ayant une lacune (c'est-à-dire un manque d'électron), peut prendre un électron d'un atome neutre voisin et c'est ainsi que le premier se trouvant être complété, le second devient incomplet car il devient lacunaire, c'est-à-dire privé d'un tour d'un électron. Cette lacune peut donc se déplacer d'un atome à l'autre à travers la substance. En fait, elle se comporte exactement comme si elle était un électron chargé positivement.

L'effet d'un tel déplacement, considéré par rapport à tous les atomes constituant le cristal, peut donc être comparé à un courant de charges électriques positives. Comme nous l'avons dit, ces deux courants prennent respectivement le nom de courant électronique et courant lacunaire.

ELEMENTS DONNEURS ET ACCEPTEURS

Si une impureté, une faible quantité d'arsenic par exemple, est introduite dans un semiconducteur, germanium ou silicium, (voir **figure 6**), une différence de potentiel appliquée à cette substance ainsi constituée, donne naissance à un courant électronique plus intense que le courant lacunaire. Ceci se produit parce que chaque atome d'arsenic, qui possède 5 électrons de valence périphériques, lorsqu'il est introduit comme impureté dans le germanium ou le silicium, provoque le déplacement d'un atome de ces éléments et s'unit aux autres atomes voisins par quatre de ses

électrons de valence. L'électron périphérique restant inemployé, car il ne trouve aucun trou voisin à boucher, reste libre de se mouvoir à l'intérieur du cristal.

Un semiconducteur dans lequel on trouve un **excès d'électrons**, comme par exemple le germanium contenant de l'arsenic, est classé comme étant du type « n ». L'arsenic, le phosphore, l'antimoine, et d'autres corps encore, qui peuvent être ajoutés en très petite quantité au germanium et au silicium pour produire des semiconducteurs du type « n », sont appelés **donneurs** (chaque atome, **donnant** un électron libre supplémentaire).

Par contre, si d'autres impuretés, du bore par exemple, sont ajoutées à l'élément semiconducteur, on obtient un excès de lacunes positives. Ceci est dû au fait que le bore ne possède que trois électrons de valence, c'est-à-dire un nombre d'électrons périphériques insuffisant pour compléter la structure chimique du cristal. Il en résulte que si un atome de bore remplace un atome de germanium, une lacune, c'est-à-dire un manque d'électron se produit (voir **figure 7**).

Cette lacune, ou cette insuffisance de liaison entre les atomes voisins, peut être comblée par un électron de valence d'un atome adjacent, lequel, à son tour, laisse une lacune dans cet atome.

C'est pourquoi on peut dire que la lacune elle-même se déplace et contribue à donner une certaine conductivité au corps. Les semiconducteurs ayant un **excès de lacunes**, ou un **défaut d'électrons**, sont dits du type « p ». L'aluminium, le gallium, l'indium, le bore, et d'autres corps encore, permettant d'obtenir des semiconducteurs du type « p » sont appelés **accepteurs**, (chaque atome **acceptant** un électron de valence, afin de compléter sa couche externe).

Pour aider les lecteurs à se rappeler la classification des deux types de semiconducteurs, faisons remarquer que le mot « donNeur » contient la lettre N et les éléments donneurs confèrent au cristal une conductibilité du type « n » de même, le mot « accePteur » contient la lettre P, et les éléments accepteurs con-

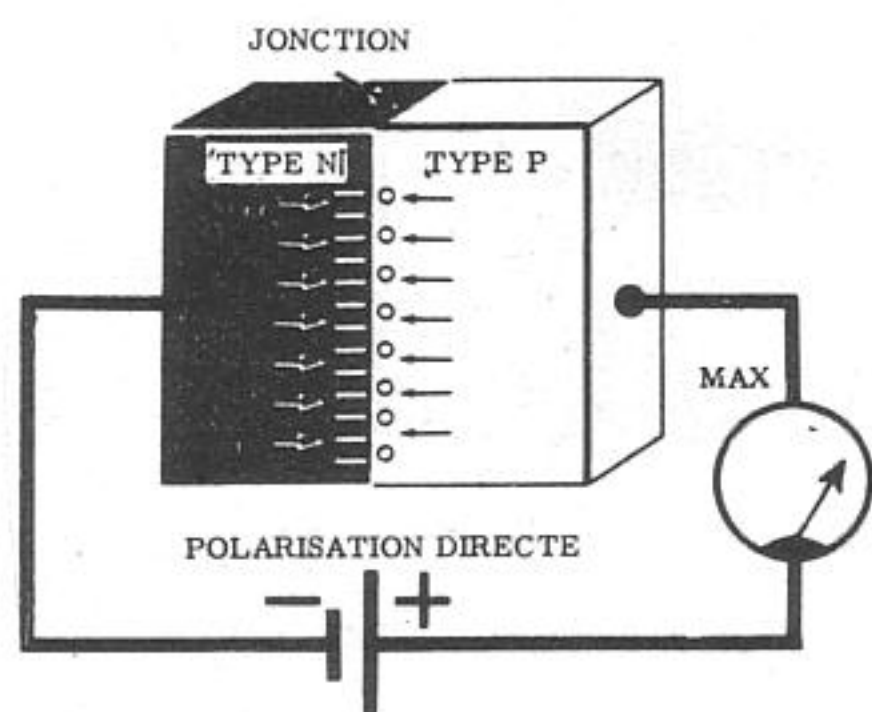


Fig. 9 - Si l'on applique aux bornes de la jonction une tension de polarité convenable, on constate le passage d'un courant d'intensité maximale (direct).

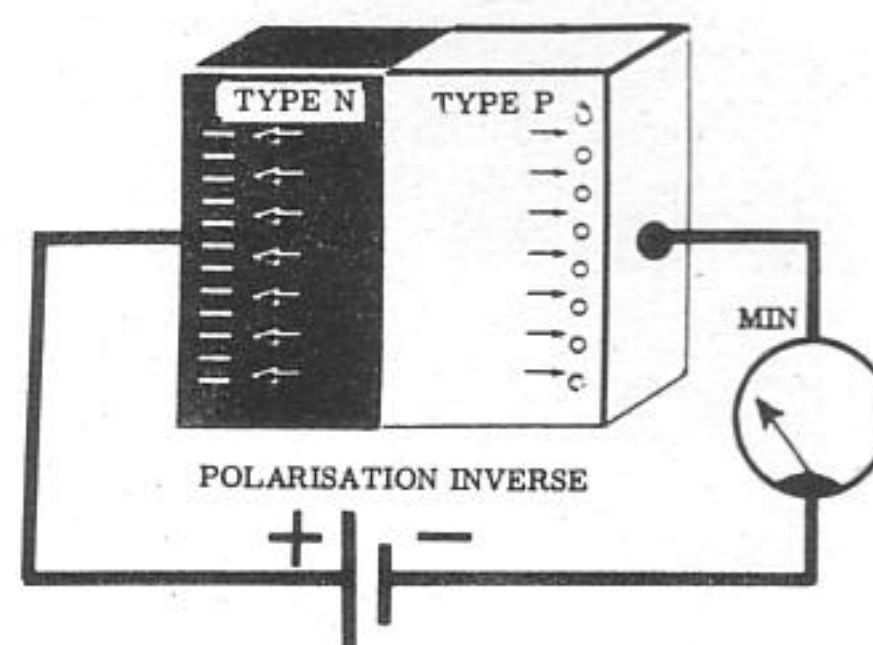


Fig. 10 - Par contre, si la tension appliquée n'a pas la polarité convenable, l'intensité du courant est très faible (inverse).

férent précisément au cristal une conductibilité du type « p ».

On remarquera, enfin, que si dans une lampe thermionique on a affaire simplement au courant des électrons, ceci n'est plus entièrement exact dans le cas des transistors; en effet, leur fonctionnement n'est plus exclusivement basé sur le mouvement des électrons, mais également sur celui des lacunes.

LA DIODE A JONCTION

La figure 8 représente la jonction de deux corps semiconducteurs, dont l'un est du type « n » et l'autre du type « p », aux bornes de laquelle n'est appliquée aucune différence de potentiel. Nous avons dans la région n une abondance d'électrons (charges négatives), tandis que dans la région p nous avons une abondance de lacunes (défaut d'électrons, ou charges positives).

Nous sommes en présence d'une diode classique à cristal de germanium du type à jonction.

En l'absence de tension extérieure, les électrons libres de la région N vont se déplacer (on dit qu'ils vont diffuser) vers la région P, en vertu de la loi de Coulomb régissant l'action mutuelle de deux charges électriques. De même, les trous de la région P vont diffuser vers la région N.

Comme dans la région P, les trous sont majoritaires, les électrons libres, provenant de la région N, vont, très vite, se recombiner avec les trous. De même, dans la région N où les électrons libres sont majoritaires, les trous en provenance de la région P vont se recombiner avec les électrons.

Comme d'autre part, les atomes donneurs (ionisés positivement) et accepteurs (ionisés négativement) sont fixes, il en résulte un déplacement de charges négatives (électrons) de N vers P et de charges positives (lacunes) en sens inverse.

Les ions négatifs fixes dans la région P (accepteurs) constituent une charge d'espace négative, tandis que les ions positifs fixes dans la région N (donneurs) constituent une charge d'espace positive. Ces deux

charges d'espace s'opposent à la diffusion des électrons de N vers P et des trous de P vers N. On dit qu'il existe, au niveau de la jonction, une **barrière de potentiel**, que l'on peut matérialiser par un élément de pile dont le pôle positif serait situé du côté N et le pôle négatif, du côté P.

Dans la zone de transition, située de part et d'autre de la jonction, au voisinage immédiat de celle-ci, il n'existe aucune charge électrique mobile; on peut donc la considérer comme un **isolant parfait**.

Ainsi, la diode peut être considérée comme un condensateur dont le diélectrique serait la zone de transition isolante et dont les deux armatures seraient constituées par les charges d'espace positive et négative.

Nous verrons plus loin que la barrière de potentiel peut être, soit renforcée, soit, au contraire, abaissée, au moyen d'une tension extérieure, selon le sens dans lequel cette tension est appliquée.

La fabrication d'une jonction p-n se fait au moyen de procédés très compliqués; en effet, on ne peut pas obtenir un résultat satisfaisant en mettant simplement en contact deux cristaux respectivement du type n et du type p. Du moment qu'il n'est pas possible de produire mécaniquement ces jonctions, on a dû recourir à deux procédés, l'un connu sous le nom de « jonction par fusion ou alliage » et l'autre sous le nom de « jonction par croissance ».

La jonction par croissance est obtenue en ajoutant des impuretés différentes au corps en fusion (c'est-à-dire au germanium ou au silicium extrêmement pur).

Au début de la cristallisation, on ajoute une impureté d'un type donné, tandis que vers le milieu de l'opération on ajoute une impureté de type opposé. On obtient la jonction lorsque le corps en fusion se convertit du type p au type n, et inversement.

La jonction par alliage par contre, est obtenue en introduisant une minuscule parcelle d'indium entre deux couches de germanium du type n et en faisant en sorte que ces deux couches fondent sous l'effet d'une température appropriée. Lorsque la fusion se produit,

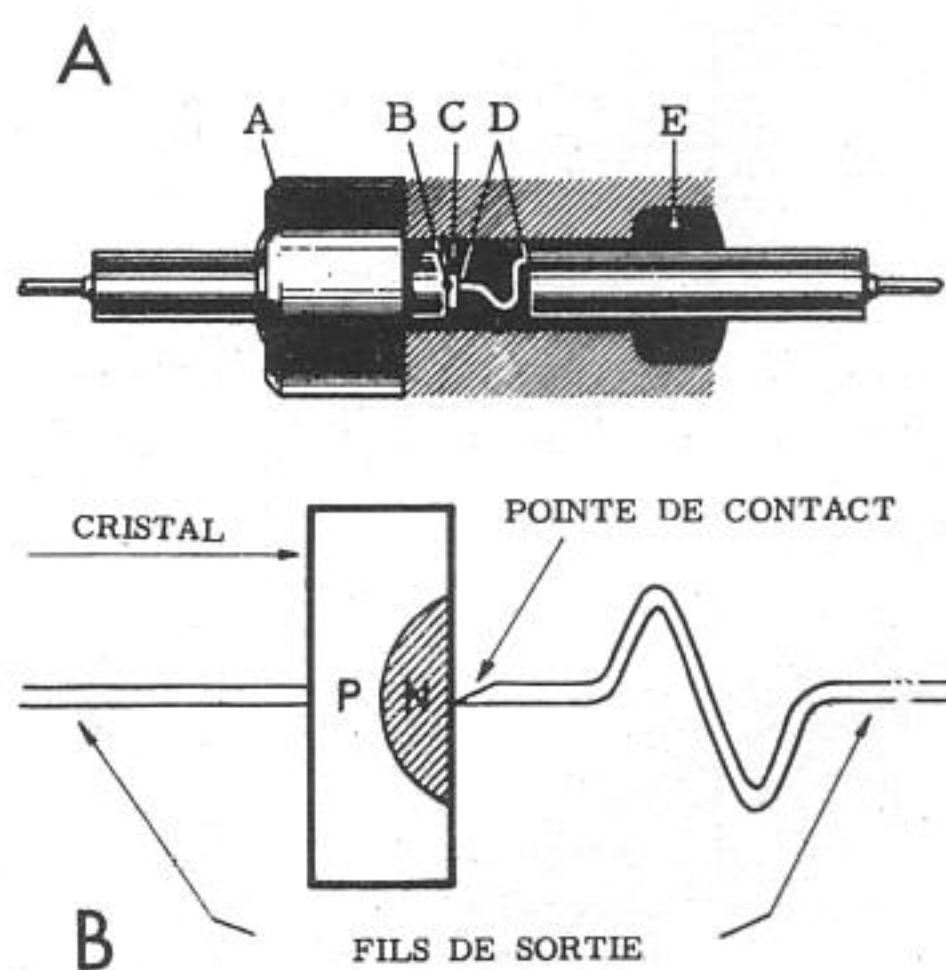


Fig. 11 - A) Vue en coupe d'une diode à cristal. (A) Enveloppe extérieure; (B) Support du cristal; (C) Cristal; (D) Pointe de contact; (E) Scellement hermétique. Les deux fils de sortie sont isolés du boîtier.

B) Aspect schématique de la jonction entre cristal et pointe de contact.

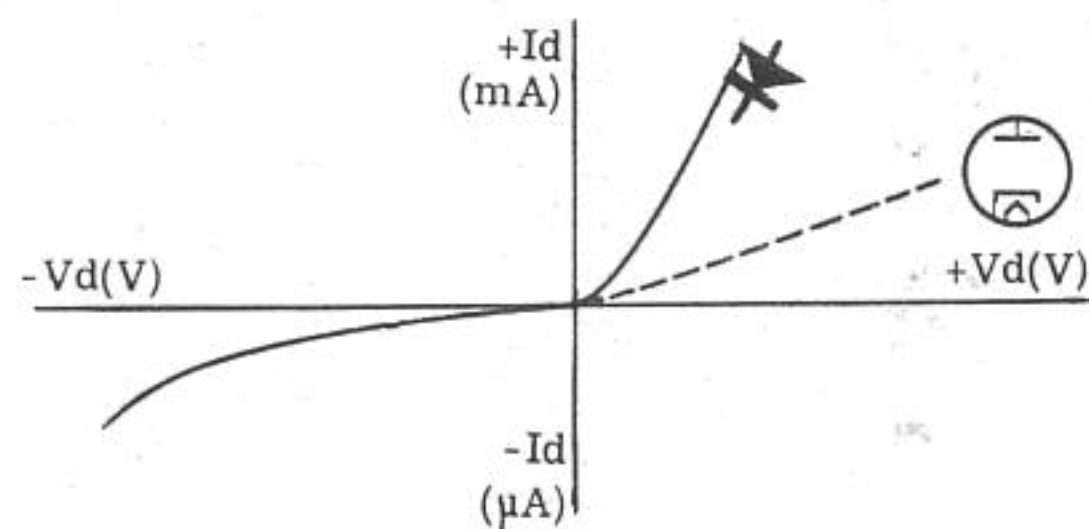


Fig. 12 - Comparaison entre les courbes caractéristiques d'une diode à cristal et d'une diode à vide. Comme on peut le voir, dans une diode à cristal l'intensité du courant augmente plus rapidement que la tension, contrairement à ce qui se passe dans une lampe diode, dans laquelle la variation est sensiblement linéaire.

la présence de l'indium provoque la formation du germanium de type p immédiatement sous la surface de la parcelle.

On obtient ainsi, une jonction du type p-n entre cette région et la partie restante des deux couches superposées de type n.

Lorsqu'une jonction du type p-n est reliée à une source de courant, de telle sorte que le pôle négatif soit en contact avec le matériau de type n (figure 9), les électrons libres se déplacent du pôle négatif vers la jonction où une partie se combinent avec les lacunes du matériau de type p (celles-ci se déplacent du pôle positif vers la jonction). La diffusion des charges mobiles est accentuée: la barrière de potentiel est abaissée.

Dans ces conditions, la jonction permet le libre échange des charges positives et négatives (lacunes et électrons) et un courant d'intensité relativement fort peut passer dans le semiconducteur. Une différence de potentiel ayant une telle polarité est appelée « tension de polarisation directe ».

Si la polarité de la tension appliquée à la jonction est inversée, les lacunes présentes dans la région P ne peuvent diffuser vers la région N. De même, les électrons de la région N ne peuvent diffuser vers la région P. La barrière de potentiel sera renforcée. Le terme barrière de potentiel ne doit pas être entendu dans le sens de l'existence d'une véritable barrière physique; il s'agit là d'une simple barrière potentielle. En effet, cette barrière n'est qu'un isolement temporaire, provoqué par l'absence, en ce point, d'électrons et de lacunes. Une différence de potentiel appliquée avec cette polarité est appelée « tension de polarisation inverse » (voir figure 10).

Dans ces conditions, la résistance interne de la diode devient très grande et l'intensité du courant qui la traverse est très faible, tandis qu'en même temps se développe un fort champ électrostatique. Le faible courant inverse ainsi produit s'appelle « courant inverse de saturation ». Il est dû aux porteurs de charges **minoritaires** (électrons dans la région P et trous dans la région N, en très petite quantité), dûs à la rup-

ture, (à température ambiante) des liaisons entre atomes de germanium. Ce courant **croît avec la température**.

LA DIODE A POINTE DE CONTACT

Si un semiconducteur du type p est mis en contact avec une pointe métallique, et si cette pointe est rendue plus négative que le semiconducteur (au moyen d'une source de courant extérieure), la pointe de contact cède des électrons au semiconducteur qui en contient très peu. Inversement, nous savons qu'un semiconducteur du type n possède un excès d'électrons; en conséquence, une pointe métallique portée à un potentiel positif mise en contact avec lui, enlèvera des électrons au semiconducteur, laissant la place à des lacunes.

Il existe de nombreux types de diodes à cristal à pointe de contact actuellement utilisées dans l'industrie électronique. Ce type de diode se différencie de celui dit « à jonction » par le fait qu'il n'utilise qu'un seul élément semiconducteur qui est, soit un fragment de germanium (type n), soit un fragment de silicium (type p).

Pendant cette fabrication, après application de la pointe de contact sur le cristal semiconducteur, on envoie à travers la diode plusieurs impulsions de courant de grande amplitude. Il se forme alors, à proximité de la pointe de contact, une région minime de conductibilité opposée à celle du semiconducteur. En d'autres termes, s'il s'agit d'un cristal de germanium, il se forme autour de la pointe de contact une petite zone de type p, tandis qu'une zone de type n se forme autour de la pointe en contact avec un cristal de silicium. Il se forme ainsi, autour du point de contact, une jonction PN minuscule appelée microjonction. La raison de cette transformation n'a pas encore été clairement expliquée et il est impossible de donner une théorie satisfaisante du phénomène concourant à la formation de cette zone. Nous nous bornerons donc à indiquer que la diode à pointe de contact est le fruit de nombreuses expériences de labo-

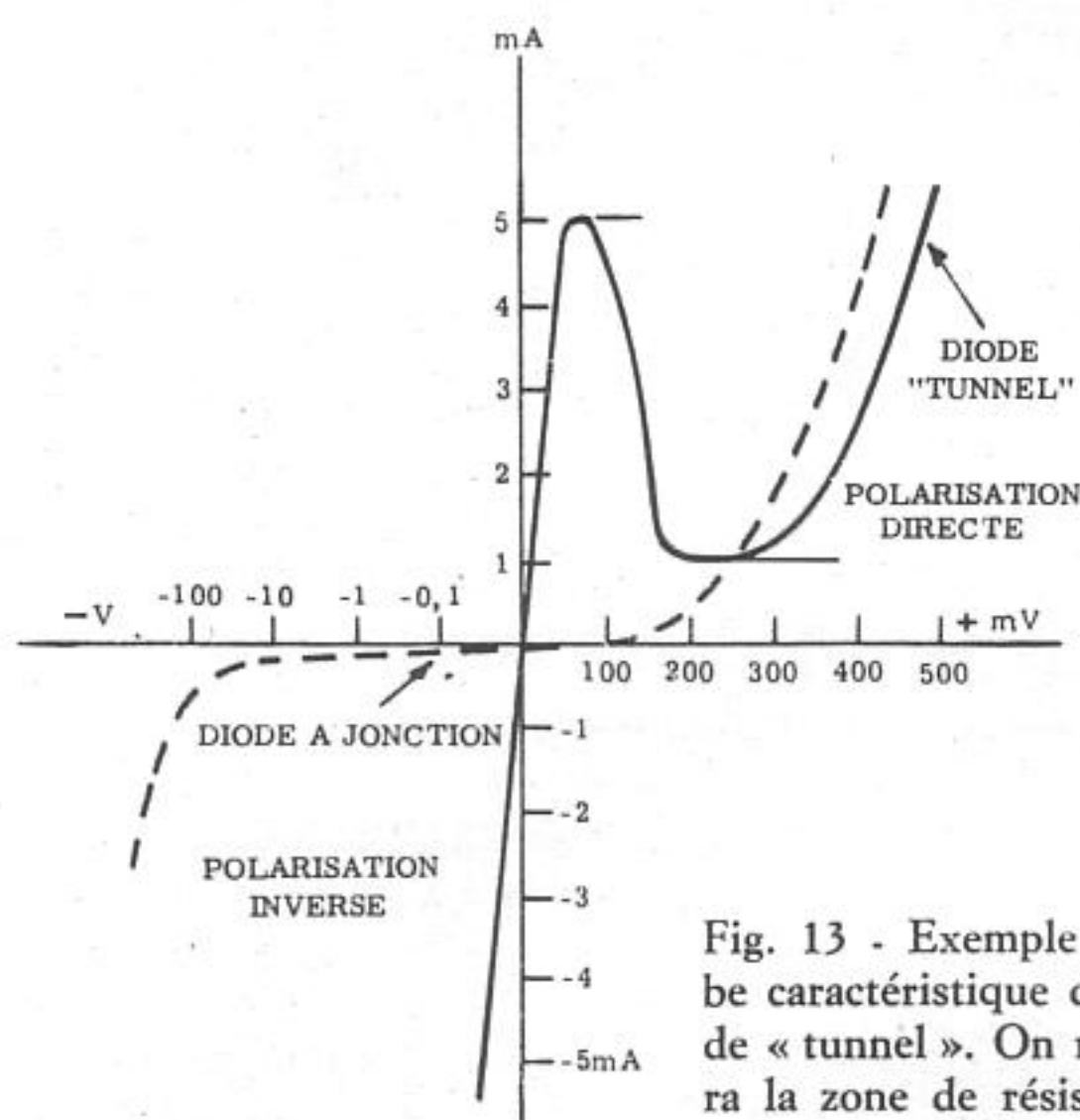


Fig. 13 - Exemple de courbe caractéristique d'une diode « tunnel ». On remarquera la zone de résistance négative (coude).

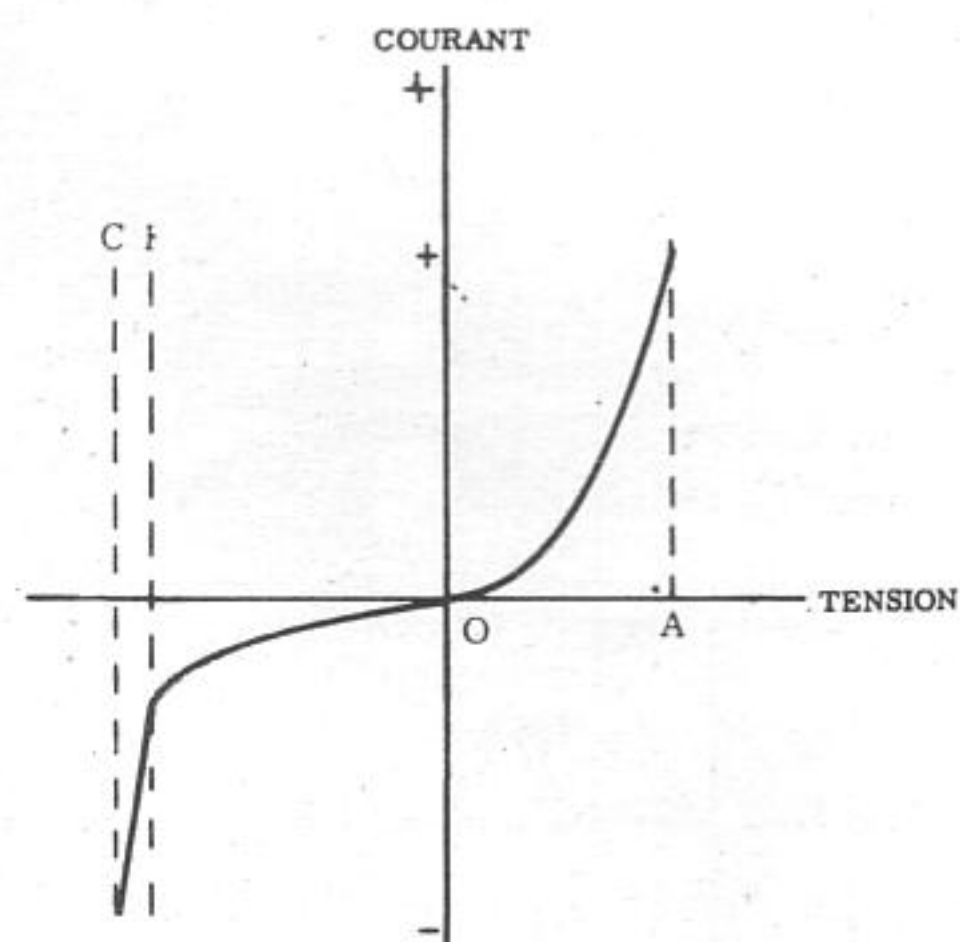


Fig. 14 - Courbe caractéristique d'une diode « Zener ». Au delà d'une certaine valeur de la tension inverse, le courant inverse augmente brusquement d'intensité et garde, ensuite, une valeur constante.

ratoire et qu'elle a été successivement perfectionnée au cours des années jusqu'à la rendre apte à remplir les fonctions de détecteur pour les très hautes fréquences. La structure interne d'une diode de ce type est représentée sur la figure 11.

UTILISATION DES DIODES A CRISTAL

La diode à cristal offre des avantages considérables par rapport à la diode à vide. Avant tout, la diode à cristal n'a pas besoin de tension de chauffage, puisqu'elle n'a pas de filament. En second lieu, particulièrement dans le cas de la diode à pointe de contact, elle a une capacité interne pratiquement négligeable. Enfin, particularité importante, elle est de dimensions tellement réduites que dans le volume d'une diode à vide, même petite, on peut en loger facilement une centaine (cas des diodes à pointe).

Dans son aspect extérieur, la diode à cristal se présente sous les formes illustrées sur la figure 14, de la page 62, qui en montre différents modèles. Le cristal est généralement enfermé dans une enveloppe de verre ou de métal, de laquelle sortent deux fils reliés soit aux deux éléments de la jonction, soit au cristal et à la pointe de contact.

Au cours de ces dernières années, les applications de la diode à cristal ont été de plus en plus nombreuses. Outre leur utilisation courante dans les radio-récepteurs, ces diodes sont également employées dans les instruments de mesure (voltmètre à lampe, ponts, etc...) et dans les autres branches de l'électronique industrielle.

Le principal avantage que la diode à cristal possède sur la diode thermoïonique, outre l'absence de filament et les dimensions réduites, réside dans le fait qu'elle supporte des tensions assez élevées, tout en permettant la détection de tensions si faibles que celles-ci ne pourraient engendrer un courant anodique appréciable dans une diode à vide, même pendant les pointes positives de la tension alternative à redresser.

La figure 12 permet de comparer la courbe caracté-

ristique U_d/I_d d'une diode thermoïonique avec celle d'une diode à cristal. Cette comparaison directe fait ressortir certaines différences évidentes qui revêtent une grande importance dans les applications pratiques.

Nous savons que dans une lampe diode, le courant anodique augmente avec l'augmentation de la tension positive appliquée entre anode et cathode à travers la

charge, suivant la puissance $\frac{3}{2}$ de la tension anodi-

que, donc suivant une loi presque linéaire, tout au moins sur une grande partie de la courbe caractéristique.

Dans une diode à cristal, par contre, si l'on double la tension appliquée à ses bornes, l'intensité du courant se trouvera plus que doublée. Cela signifie que la conductivité de la diode, dans le sens de la polarisation directe, varie selon une loi exponentielle et non linéaire.

Une autre différence très importante, dont on doit tenir compte dans certaines applications, est la suivante: lorsque la plaque d'une lampe diode est portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode, elle repousse absolument tous les électrons émis par cette cathode. Cela signifie que dans une lampe diode le courant inverse est nul. Par contre, dans une diode à cristal, malgré sa très faible conductivité dans le sens inverse, le courant inverse n'est jamais nul.

Evidemment, l'intensité de ce courant inverse est suffisamment faible pour être parfaitement négligeable, dans la grande majorité des applications.

Poursuivant ces comparaisons entre la diode à cristal et la lampe diode, nous citerons une autre différence digne d'être notée: les caractéristiques de fonctionnement d'une diode à cristal, qu'elle soit à jonction ou à pointe de contact, dépendent étroitement de la température de fonctionnement, ce qui ne se produit absolument pas avec une lampe diode. Ceci constitue une particularité extrêmement importante, surtout dans certaines applications utilisant plusieurs diodes dont le fonctionnement est interdépendant, comme dans les circuits symétriques, par exemple.

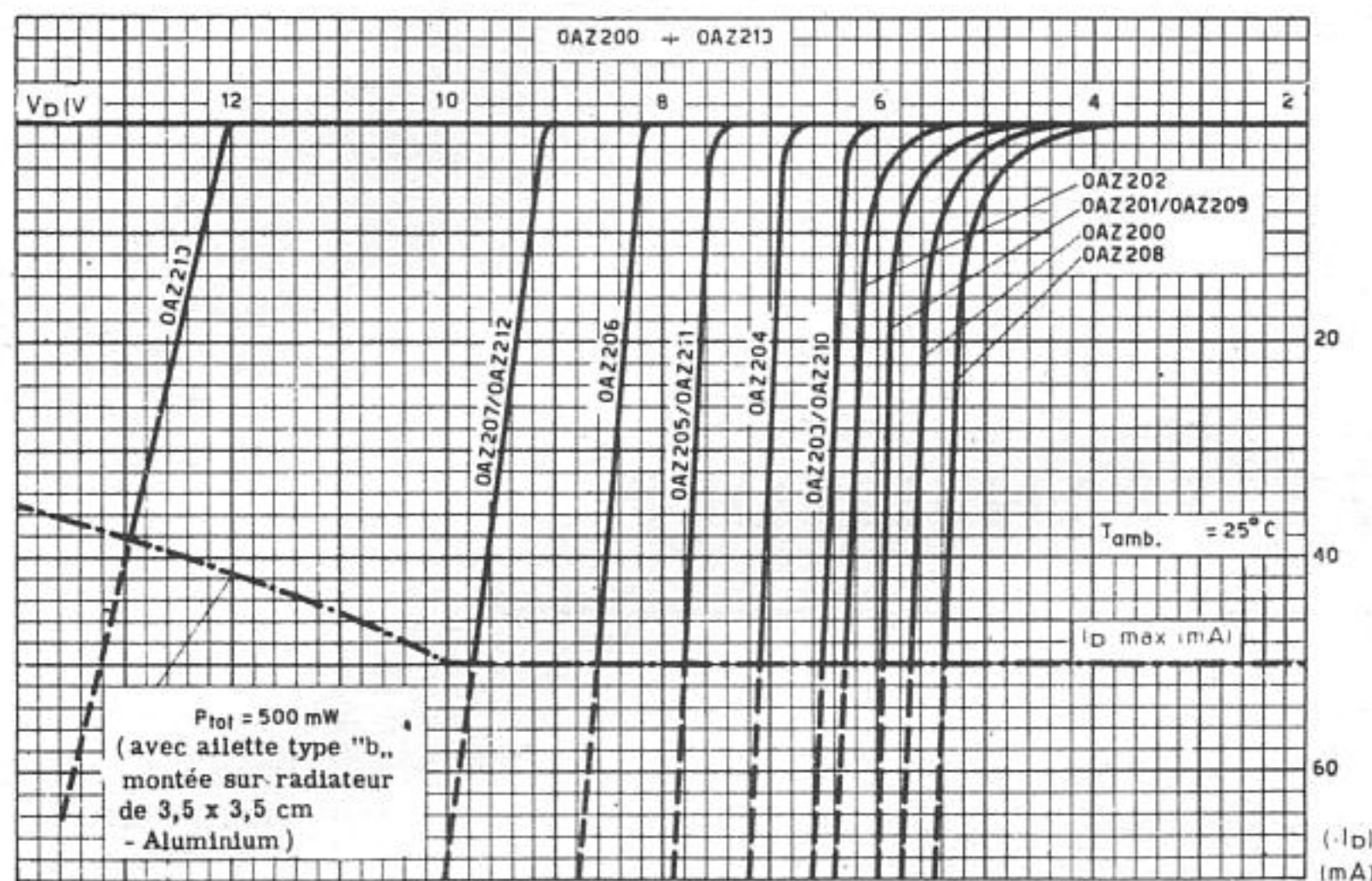


Fig. 15 - Les diagrammes représentés ci-contre montrent quelques caractéristiques inverses des diodes Zener de production « La Radio-technique », sous une température de 25°C. Les diodes peuvent travailler dans les conditions indiquées pour un temps indéfini si les conditions de dissipation établies par le Constructeur sont respectées.

Utilisation comme redresseur

Dans le cas où une diode à cristal est utilisée au redressement d'un courant alternatif — dans les instruments de mesure ou dans les circuits d'alimentation — il faut que le courant inverse qui se manifeste pendant les alternances négatives de la tension à redresser soit maintenu dans des limites raisonnables pour ne pas compromettre le bon fonctionnement du redresseur. Ceci impose certaines précautions dans l'utilisation de ces diodes à cristal dans les circuits d'alimentation prévus pour des tubes redresseurs à vide.

C'est ainsi qu'on ne peut employer la diode à cristal pour le redressement des tension très élevée (1), car, tandis que dans une diode à vide la tension inverse n'est limitée que par l'isolement entre les deux électrodes — isolement de valeur toujours très grande —, par contre, dans une diode à cristal la résistance inverse est beaucoup moins élevée et elle varie considérablement avec la température de fonctionnement.

Les constructeurs de diodes au germanium ou au silicium indiquent toujours, parmi les autres caractéristique, la tension inverse maximale que chaque type de diode peut supporter. Cette tension inverse limite évidemment l'amplitude de la tension alternative pouvant être appliquée à l'entrée du circuit de redressement.

Utilisation comme détecteur

Nous avons publié, à la page 68 de ce cours, un tableau groupant les différents types de diodes pouvant être employées à la détection des courants haute fréquence. Elles se répartissent en deux catégories principales: les diodes pour usages généraux, que l'on peut employer soit pour le redressement des courants alternatifs (les instruments de mesure, par exemple), soit comme détecteur pour les ondes HF jusqu'à une certaine fréquence (1 MHz, par exemple). La seconde catégorie concerne les diodes spéciales pouvant être utilisées pour la détection des signaux de fréquence élevée, c'est le cas des discriminateurs ou détecteurs de

rapport, dont la fréquence de travail est de l'ordre de 10 MHz. Evidemment, seuls conviennent à ces usages les types dans lesquels l'effet de la résistance inverse — c'est-à-dire la résistance offerte au passage du courant inverse — n'est pas neutralisé par la présence d'une capacité interne trop forte, susceptible de fournir un passage direct au signal à redresser.

DIODES SPECIALES

Diode « tunnel ». Ce type de diode présente également une propriété particulièrement intéressante: le courant direct (avec polarisation dans le sens passant augmente d'abord régulièrement lorsque la tension appliquée augmente, cela jusqu'à une tension déterminée. Passé ce point, à une augmentation de la tension correspond une diminution de courant de conduction: la diode présente une résistance négative, (figure 13). Si la tension augmente encore, la courbe reprend son allure normale. Etant donné la rapidité du passage d'un point à un autre de la caractéristique d'utilisation, cette diode convient particulièrement à la technique des micro-ondes et des impulsions, dans lesquelles les fréquences de fonctionnement sont très élevées.

Diode « Zener ». Cette diode présente une particularité extrêmement intéressante: si l'on augmente progressivement la tension inverse, la courbe d'intensité du courant inverse reste semblable à celle d'une diode ordinaire jusqu'à un certain point. Au delà de cette valeur (de la tension inverse), le courant inverse augmente si rapidement qu'il atteint son intensité maximale pour une très faible variation de la tension. Ce phénomène est représenté sur la courbe de la figure 14. Ces diodes, dites « Zener », sont utilisées pour la stabilisation des tension peu élevée (figure 15).

Photodiode. Nous avons dit, au début de cet exposé, que les caractéristiques de conduction d'une jonction étaient modifiées par un champ électrique ou par la lumière. Ce phénomène a été exploité pour la réalisation de photodiodes. Celles-ci présentent la propriété d'avoir une résistance qui varie avec l'intensité de la lumière tombant sur la jonction. Nous verrons, par la suite, quelques applications des photodiodes.

(1) Il est, toutefois, possible de brancher plusieurs diodes en série.

Leçon n° 83

LES TRANSISTORS

Le **transistor** est un dispositif électronique relativement récent, basé sur les propriétés de certains semi-conducteurs. On peut l'employer dans presque toutes les applications qui nécessitaient auparavant l'utilisation des tubes thermoïoniques: ainsi, on peut les monter dans les circuits électroniques destinés à l'amplification des signaux, à la production des oscillations, des impulsions, etc... Le mot « transistor » résulte de la combinaison de deux termes anglo-saxon: « transfert » (qui signifie transfert) et resistor (résistance).

Le transistor est plus petit, plus léger et beaucoup plus durable que n'importe quel tube; en outre, il fonctionne sous des tensions moins élevées. Cette dernière caractéristique importante résulte du fait que son fonctionnement ne nécessite qu'une faible quantité d'énergie électrique et que, surtout, cette énergie n'est pas dissipée en chaleur comme dans les lampes, où une partie importante de la puissance d'alimentation sert au chauffage du filament. Enfin, le transistor, grâce à ses dimensions réduites, permet la miniaturisation des circuits.

Ces remarquables qualités l'ont immédiatement rendu indispensable dans la construction des appareils électroniques fixes ou portatifs de faible encombrement car, avantage supplémentaire et non négligeable, il fonctionne dès la mise sous tension des circuits, sans qu'il soit nécessaire d'attendre le chauffage du filament ou de la cathode (comme dans les appareils à tubes).

L'étude des diverses applications des transistors doit se faire très progressivement, car les circuits d'utilisation, bien que basés sur les principes fondamentaux de l'électronique, diffèrent sensiblement de ceux normalement employés dans les montages à tubes.

Parmi les appareils utilisant les transistors nous pouvons citer: les amplificateurs de surdité, les tourne-disques portatifs, les récepteurs de radio portatifs, les mégaphones électroniques, certains modèles de stabilisateurs de tension et un grand nombre d'instruments de mesure.

Ils sont également très largement employés dans les appareils à usages scientifiques et militaires comme par exemple, les fusées, les radars et les émetteurs-récepteurs portatifs. Très récemment, les transistors ont fait leur apparition dans les récepteurs de télévision où ils présentent de grands avantages.

Bref, les transistors peuvent remplacer avantageusement les tubes dans toutes les applications où les di-

mensions réduites, la légèreté et la faible consommation d'énergie sont des facteurs très importants.

TRANSISTORS A JONCTIONS

Nous voulons, dans cette étude, donner un ensemble d'informations sur les différents modèles de transistors. L'un d'eux — le transistor à jonctions — est actuellement le plus courant. Etant donné que la théorie de son fonctionnement est également valable pour les autres types, nous pouvons nous contenter d'exposer seulement celle-ci.

Le transistor est essentiellement constitué par deux jonctions et il comporte trois couches superposées de semi-conducteur (**figure 1**). La couche centrale pouvant être soit du type **n**, soit du type **p**, tandis que les deux autres sont nécessairement du type opposé. Si la couche centrale est du type **p**, les couches extérieures sont du type **n**, et l'on obtiendra un transistor à jonctions du type **n-p-n**, comme le représente la figure 1. Inversement, si la couche centrale est du type **n**, les couches extérieures sont du type **p**, et l'on aura un transistor à jonctions du type **p-n-p**.

Dans les transistors, des connexions très peu résistantes sont soudées aux deux couches externes qui fonctionnent l'une comme **émetteur** et l'autre comme **collecteur**. Une troisième connexion est reliée à la couche centrale qui forme la **base**. Un boîtier à fermeture hermétique lui confère la robustesse voulue et un bon isolement des cristaux vis à vis des variations atmosphériques.

La **figure 2** représente une coupe schématique d'un transistor; on peut y voir que les connexions sont noyées dans un support en matière isolante et dépassent à l'extérieur comme les broches d'un tube; elles permettent ainsi, la mise en place du transistor dans un support auquel aboutissent les liaisons aux autres composants du circuit.

Lorsqu'on applique une tension continue de polarité convenable à l'**émetteur** d'un transistor, on constate le passage d'un courant; il y a effectivement **émission** de porteurs de charges qui se dirigent vers la région constituant la base; c'est pourquoi cette électrode est appelée émetteur. Si le collecteur est à son tour, polarisé dans le sens convenable il **recueille** tous ces porteurs de charges: il est évident que le nom de ces deux électrodes correspond parfaitement aux fonctions qu'elles remplissent.

Si l'émetteur est constitué par un semi-conducteur

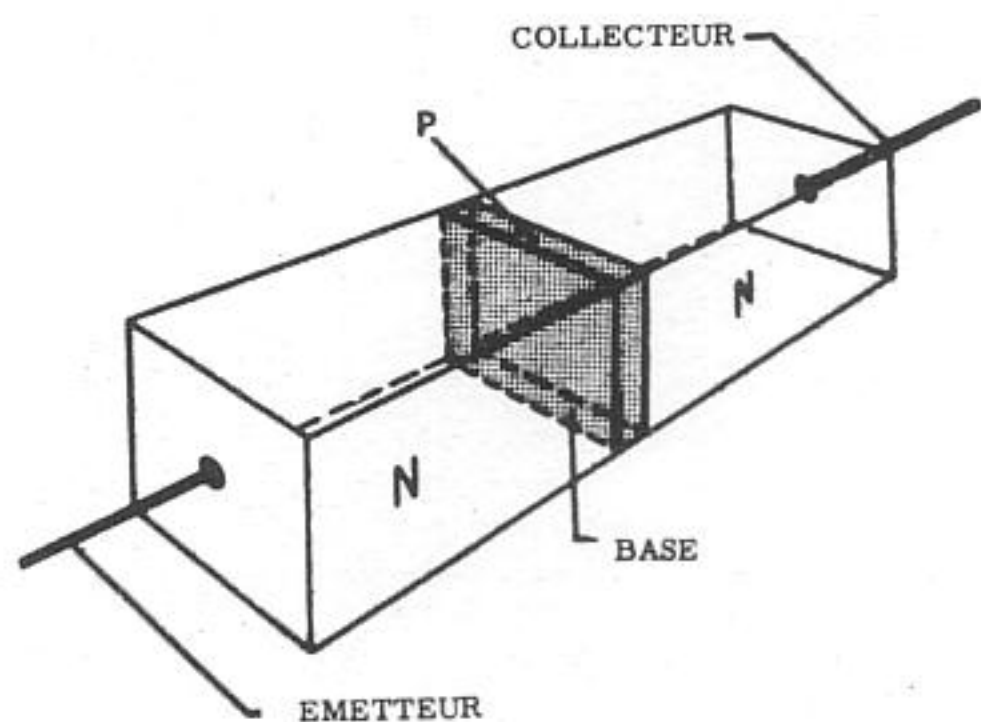


Fig. 1 - Un transistor à jonctions est constitué essentiellement par deux diodes à jonction, ayant une région « n » ou « p » commune.

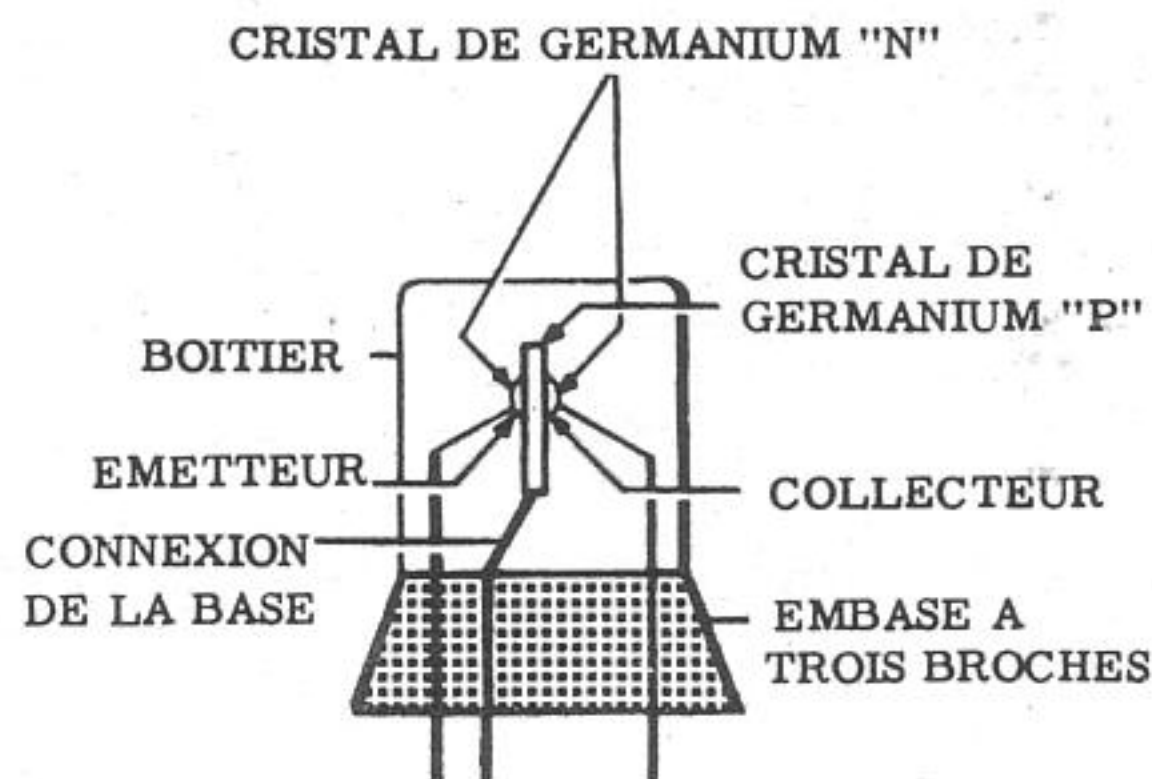


Fig. 2 - Structure interne d'un transistor à jonctions: on peut voir le cristal, les zones latérales du type « n » et les connexions.

du type **n**, les porteurs sont des électrons; inversement, s'il est constitué par un semiconducteur du type **p**, ce sont des lacunes.

Etant donné que le transistor peut être considéré comme formé par **deux** jonctions, le couple émetteur-base et le couple base-collecteur peuvent être considérés respectivement comme deux jonctions du type **p-n**.

La **figure 3** montre le principe de branchement des deux types de transistors. Chacun d'eux est représenté schématiquement de la façon conventionnelle. La base est figurée par un trait horizontal (qui peut d'ailleurs être vertical, selon les exigences du dessin, comme nous l'avons déjà vu), tandis que l'émetteur et le collecteur sont représentés par des traits inclinés par rapport à la base. Pour distinguer ces deux électrodes l'une de l'autre, celle figurant l'émetteur porte une flèche. Lorsque cette flèche a sa pointe tournée vers la base, le transistor est du type **p-n-p**, tandis que si elle indique que le courant sort de la base, il est du type **n-p-n**.

Il très important de noter que **cette flèche indique la direction du courant positif** que l'on a lorsque la polarisation est dans le sens direct, c'est-à-dire favorable. Ce courant circule dans le sens inverse de celui des électrons. C'est là une particularité qui demande un maximum d'attention, car dans de nombreux textes, on remarque que la direction indiquée est opposée à celle que nous connaissons.

Il existe une certaine tendance à employer les mêmes symboles pour les deux types; pour cette raison, en cas de doute sur le type de transistor représenté sur un schéma, il convient de vérifier soigneusement le numéro d'identification porté sur le boîtier avant de procéder à un remplacement éventuel.

Dans la **figure 3-A**, la jonction **p-n**, formée par l'émetteur et la base, est polarisée dans le sens favorable (c'est-à-dire dans le sens de la plus faible résistance). L'autre jonction **p-n**, constituée par la base et le collecteur, est par contre polarisée dans le sens inverse (c'est-à-dire dans celui de la plus forte résistance). En d'autres termes, dans le transistor du type **n-p-n** l'émetteur est porté à un potentiel négatif par rapport à la base, tandis que le collecteur est à un potentiel positif.

Dans la **figure 3-B**, représentant un transistor du type **p-n-p**, les sens des courants sont inversés: en outre, dans la **figure 3-A**, le courant constitué essentiellement d'électrons, passe principalement de l'émetteur au collecteur. En effet, les électrons après avoir abandonné l'émetteur, traversent le semiconducteur positif constituant la base. Comme cette base est formée par une très mince couche de substance, sa teneur en trous mobiles est faible et la plus grande partie des électrons pourra rejoindre le collecteur, porté à un potentiel positif, grâce à l'intense champ électrique qui existe dans la jonction du collecteur lui-même; le risque de recombinaison des électrons libres de E avec les trous mobiles de B étant minime. Le courant de la base est très faible, car il est constitué seulement d'un petit nombre d'électrons qui se combinent avec les lacunes de cette base. Les courants de l'émetteur et du collecteur sont donc presque égaux.

Il faut noter que l'intensité du courant du collecteur est fonction de l'intensité du courant de l'émetteur, bien plus que de la tension appliquée au collecteur lui-même. En faisant varier l'intensité du courant passant dans le circuit de l'émetteur, on fait donc varier l'intensité du courant du collecteur. En pratique, cette variation du courant de l'émetteur est obtenue en superposant un courant alternatif de faible amplitude au courant continu de polarisation. Dans le circuit de la **figure 3**, si l'on réduit à zéro la tension de l'émetteur, on aura, à travers la haute résistance de la jonction du collecteur, le passage d'un courant résiduel très faible (appelé courant de saturation inverse, ou de coupure). Ce courant de coupure, est représenté par le symbole I_{co} . Ce courant dépend de la rupture à température ambiante des liens entre atomes de germanium (ou de silicium). Le nombre de ruptures étant d'autant plus grand que la température est élevée le courant résiduel croît considérablement avec la température.

LES PARAMETRES DES TRANSISTORS

Dans la **figure 3-A**, le circuit base-émetteur est polarisé dans le sens favorable, il forme donc un circuit à

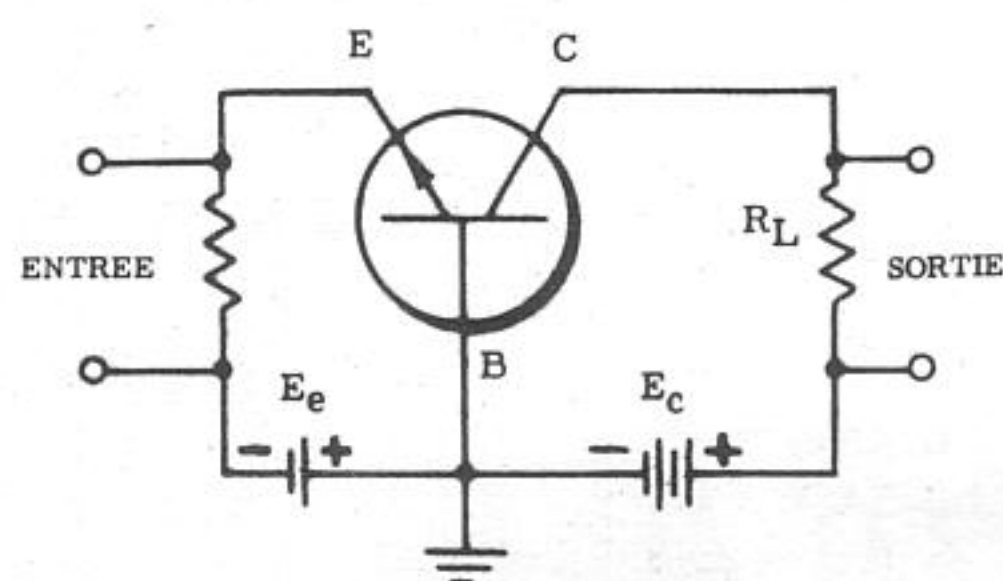


Fig. 3-A - Schéma d'utilisation d'un transistor du type « n-p-n ». La base est positive par rapport à l'émetteur, mais négative par rapport au collecteur. Le montage est du type avec base à la masse ou « base commune ».

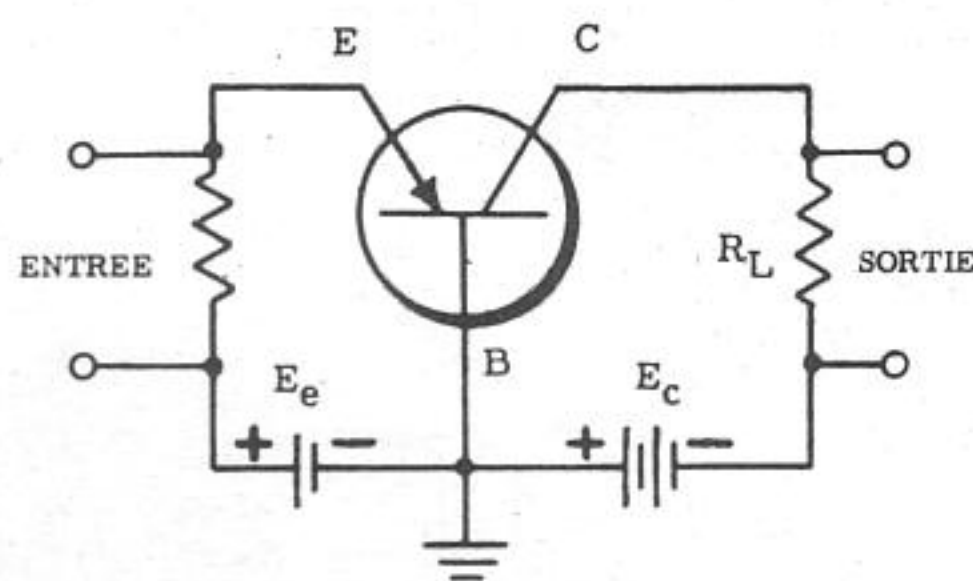


Fig. 3-B - Schéma d'utilisation d'un transistor du type « p-n-p ». Comme on le voit, les polarités des deux sources de tension sont inversées.

basse impédance. Inversement, le circuit du collecteur (ou de sortie) est à haute impédance, étant polarisé en sens inverse. Le gain (amplification) que l'on peut obtenir d'un transistor, résulte précisément de cette différence entre l'impédance d'entrée et celle de sortie, ce qui permet d'utiliser le transistor comme étage amplificateur. Bien que les courants de l'émetteur et du collecteur soient à peu près égaux, il est possible d'obtenir une amplification de puissance appréciable.

Dans le transistor à jonctions du type p-n-p de la figure 3-B, les polarités des tensions d'alimentation sont inversées, le courant est donc constitué par le déplacement de lacunes et non plus par le déplacement d'électrons. Ceci mis à part, le fonctionnement des deux types est tout à fait identique, car dans les deux cas on a une basse impédance d'entrée (base-émetteur) et une haute impédance de sortie (base-collecteur).

Le courant du collecteur est pratiquement indépendant de la tension du collecteur. Par exemple, dans un circuit classique dans lequel le transistor est monté avec sa base à la masse, une variation de 40 volts de la tension du collecteur provoque une augmentation du courant de 30% seulement de sa valeur initiale.

En outre, puisqu'une faible tension appliquée à l'émetteur provoque dans celui-ci le passage d'un courant important, le circuit émetteur-base se comporte comme une résistance de faible valeur par rapport aux signaux d'entrée. Il en résulte que la résistance d'entrée d'un transistor est de très faible valeur.

Les courbes caractéristiques de la figure 4 sont les courbes statiques de tensions et de courants relatives à un transistor à jonctions du type n-p-n, employé dans un circuit avec base à la masse, comme celui de la figure 3-A. Ces courbes ressemblent à celles d'un tube pentode et, elles peuvent servir comme celui-ci à déterminer le fonctionnement du transistor dans les circuits amplificateurs. En effet, en traçant sur ces courbes, la droite de charge, comme nous l'avons fait sur cette figure, on peut déterminer exactement les conditions de fonctionnement du circuit étudié. Ces courbes montrent les variations du courant du collecteur (i_c) en

fonction de la tension appliquée à ce collecteur (u_c) et du courant de l'émetteur (i_e).

L'examen de ces courbes nous montre que le courant du collecteur est pratiquement indépendant de la tension appliquée à ce collecteur, pourvu que cette tension soit suffisante pour attirer tous les porteurs de charge qui atteignent la jonction.

Dans un transistor à jonctions, si tous les porteurs de charge émis par l'émetteur atteignent le collecteur, les courants de ces deux électrodes seraient égaux. Dans ces conditions, l'amplification en courant entre émetteur et collecteur serait égale à l'unité.

Le gain en courant, ou amplification en courant, d'un transistor est représenté par le symbole α (lettre grecque « alfa »), il correspond au facteur d'amplification μ d'une lampe. Par α on désigne le rapport entre une variation du courant du collecteur et une variation donnée du courant de l'émetteur, tandis que le potentiel du collecteur est maintenu à une valeur constante.

Dans un transistor à jonctions du type n-p-n, certains des électrons émis se combinent avec des lacunes de la base et sont acheminées vers l'électrode correspondante. De même, dans le type p-n-p, certaines lacunes se combinent avec les électrons qui abondent dans la base et sont acheminées vers l'électrode correspondante. Il en résulte que l'augmentation du courant du collecteur sera légèrement inférieure à une augmentation correspondante du courant de l'émetteur. C'est pourquoi le coefficient α d'un transistor à jonctions est toujours inférieur à l'unité; en pratique les valeurs de α sont comprises entre 0,90 et 0,99.

En se référant à la figure 3-A on note que si l'on superpose un signal de faible amplitude à la tension de polarisation de l'émetteur, en raison de la basse impédance du circuit d'entrée, cette variation entraîne une variation sensiblement égale du courant du collecteur et celui-ci, passant dans la résistance de charge R_L , donne naissance au signal de sortie aux bornes de cette résistance. L'impédance de sortie étant beaucoup plus élevée que celle d'entrée, il est évident qu'un courant collecteur presque égal au courant d'émetteur, don-

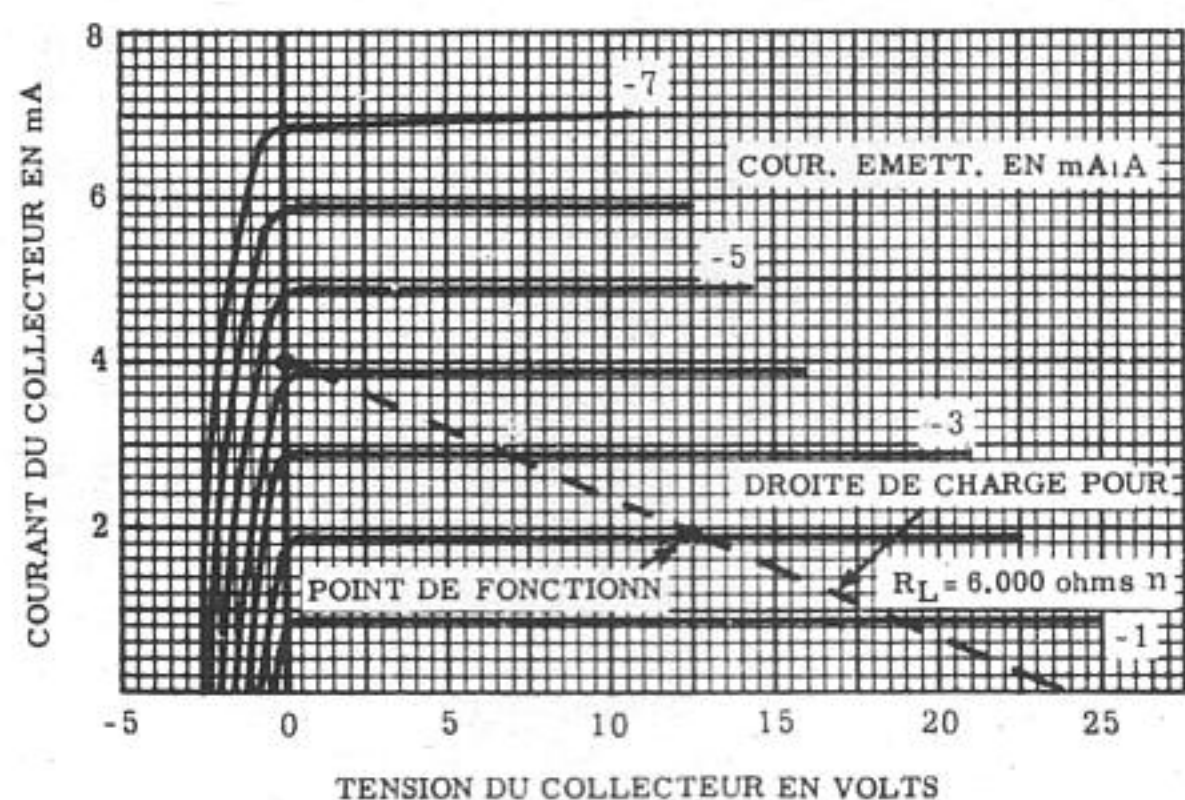


Fig. 4 - Courbes caractéristiques d'un transistor à jonction montrant les relations statiques entre tensions et courants, dans un circuit avec base commune. Dans cet exemple, avec un courant d'émetteur de 2mA, une tension de collecteur de 12,5 volts, on a un courant de collecteur de 1,9 mA. La droite de charge est tracée pour $R_L = 6\,000$ ohms.

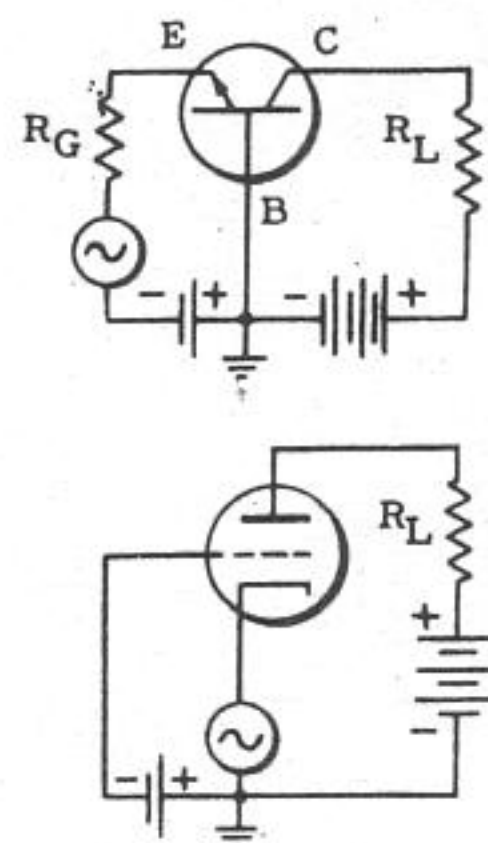


Fig. 5-A - Un transistor monté avec base à la masse, ou base commune, équivaut à une triode avec grille à la masse.

nera un signal de sortie d'amplitude plus grande que celle du signal d'entrée.

Un transistor peut donc procurer une amplification en tension, importante en raison du rapport élevé qui existe entre la résistance de sortie et celle d'entrée. Une faible variation du courant de l'émetteur, produite par un signal de faible amplitude, se transmet presque intégralement au circuit du collecteur et donne naissance à une tension de sortie de plus forte amplitude aux bornes de la charge.

COMPARAISON AVEC LES MONTAGES A TUBES

Dans les montages à transistors décrits ci-dessus, la base a toujours été considérée comme étant commune aux circuits d'entrée et de sortie. Ce type de montage est connu sous le nom de « **base commune** » ou, également, de « **base à la masse** ». Il existe encore deux autres montages, où l'émetteur ou le collecteur est l'électrode commune; ce sont les montages à « **émetteur commun** » ou « **émetteur à la masse** » et les montages à « **collecteur commun** » ou « **collecteur à la masse** ».

La figure 5 représente ces trois types de montages comparés aux circuits équivalents à tube triode.

L'amplificateur à transistor avec base à la masse, ou base commune, (figure 5-A) présente une impédance d'entrée relativement basse (50 ohms, environ) et une impédance de sortie élevée (100.000 ohms, environ); il ne produit pas de déphasage entre le signal d'entrée et celui de sortie, cela veut dire que la polarité instantanée du signal de sortie est la même que celle du signal d'entrée. Ce montage est comparable à un amplificateur à tube avec grille à la masse; dans tous les cas, l'émetteur correspond à la cathode, la base à la grille et le collecteur à la plaque.

L'amplificateur à transistor avec émetteur à la masse, ou émetteur commun, (figure 5-B), présente une impédance d'entrée relativement élevée (environ 1 000 ohms), une impédance de sortie également élevée (30 000 ohms, environ); il procure une forte amplification (en courant et en tension) et les signaux d'entrée

et de sortie sont déphasés de 180° , c'est-à-dire qu'ils sont de polarités instantanées opposées. Ce montage correspond à un amplificateur à tube usuel, c'est-à-dire avec cathode à la masse.

Enfin, l'amplificateur à transistor avec collecteur à la masse (figure 5-C) correspond au montage à tube « cathode follower » (ou à charge cathodique). Il présente une impédance d'entrée élevée (30.000 ohms, environ), une basse impédance de sortie (600 ohms, environ) et il ne déphase pas le signal. On l'appelle souvent montage « **émetteur follower** » ou « **émettodyne** ».

Le montage avec émetteur commun est le seul qui produit un déphasage entre le signal d'entrée et celui de sortie.

Suivant les résultats à obtenir, on adoptera l'un ou l'autre des trois montages ci-dessus. Ceci constituera une partie du sujet que nous traiterons en détail dans notre étude sur les montages à transistors. Si nous comparons les montages à transistors à ceux à tubes, nous constatons que la différence la plus importante réside probablement dans le fait qu'il n'existe pas une nette séparation entre le circuit d'entrée et celui de sortie, dans un transistor. Par contre, nous savons que cette séparation est évidente dans le cas d'un tube.

L'existence de deux types de transistors, les types **n-p-n** et **p-n-p** permet une très grande variété d'applications. Cette situation est comparable à celle que l'on pourrait avoir s'il existait des lampes fonctionnant avec un potentiel négatif sur la plaque et avec des électrons positifs.

On remarquera que dans la figure 5, les transistors sont tous des **n-p-n**, car ce type présente une plus grande analogie avec les tubes. En effet, le collecteur (que l'on peut assimiler à la plaque d'une lampe) est porté à un potentiel positif par rapport à l'émetteur (assimilable à une cathode). Il est bien évident que l'on peut également utiliser dans ces montages des transistors du type **p-n-p**; dans ce cas, la flèche placée sur l'émetteur serait tournée vers la base et la polarité des tensions d'alimentation serait inversée; aucune autre modification ne serait apportée au circuit.

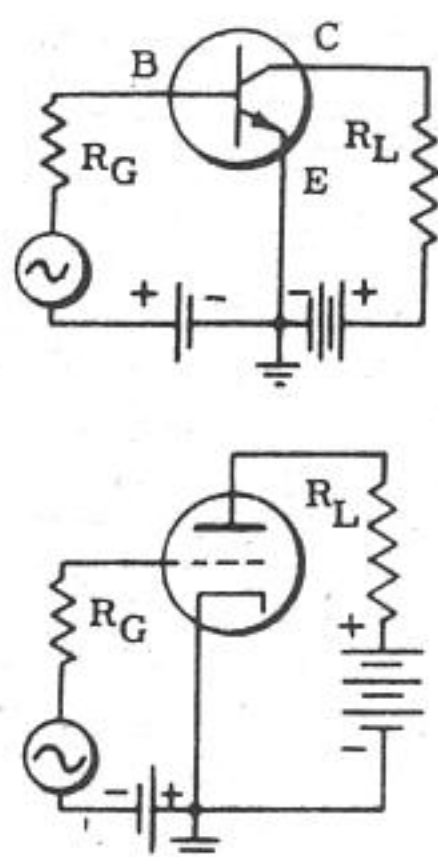


Fig. 5-B - Un transistor monté avec émetteur à la masse, ou émetteur commun, équivaut à une triode avec cathode à la masse.

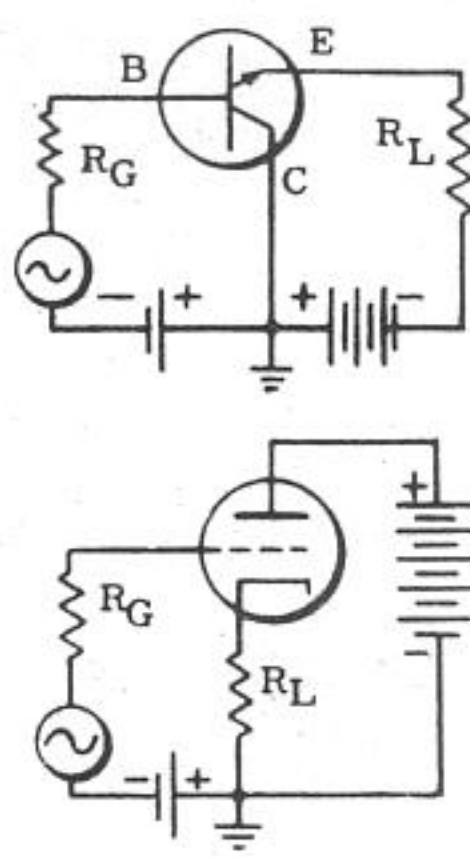


Fig. 5-C - Un transistor monté avec collecteur à la masse, ou collecteur commun, équivaut à une triode avec plaque à la masse (à travers la source de tension anodique) connue sous le nom de « cathode follower ».

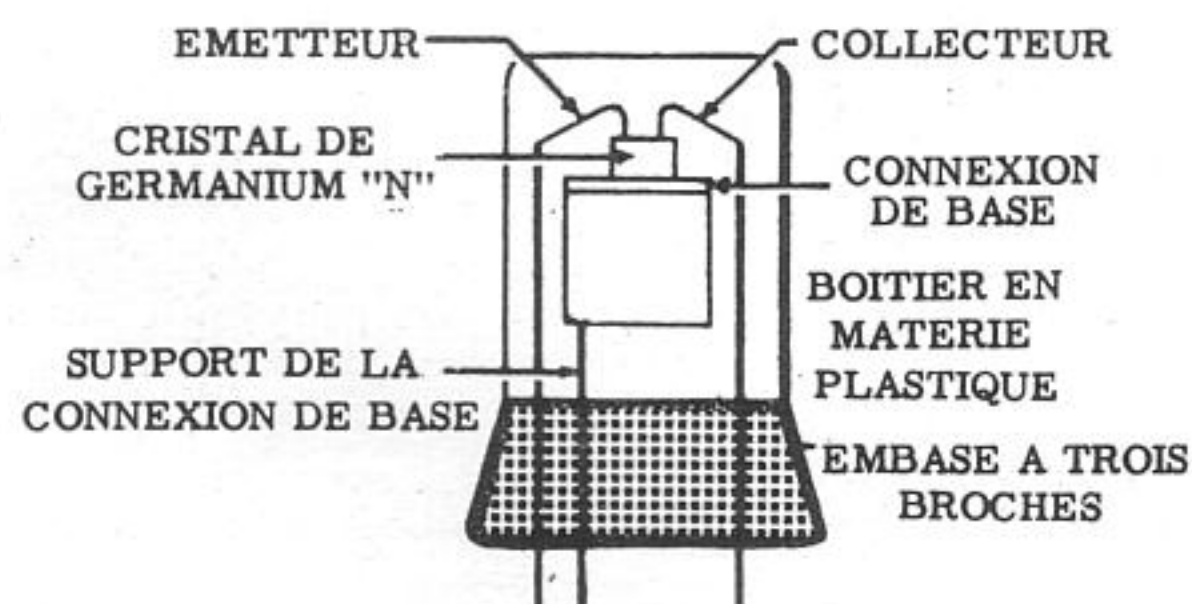


Fig. 6 - Structure interne d'un transistor à pointes de contact. Comme on le voit, le cristal est d'un type unique (« n » ou « p »).

TRANSISTORS A POINTE DE CONTACT

Un autre type de transistor dont le fonctionnement est semblable à celui décrit ci-dessus, est le transistor à pointes de contact. Mais, bien que le fonctionnement soit identique dans les deux cas, sous bien des rapports, le transistor à pointes de contact a tout de même, quelques caractéristiques différentes.

Avant tout, il est bon de se rappeler que le transistor à pointes de contact fut inventé le premier. Toutefois, la production actuelle est constituée entièrement par les modèles à jonctions qui se prêtent mieux à une production industrielle de grande série.

La figure 6 représente un transistor à pointes de contact dans lequel les électrodes sont constituées par de minces fils métalliques qui appuient directement sur le cristal; ces pointes, qui sont à une très faible distance l'une de l'autre sont en contact avec le cristal formant la base. Ce cristal peut être aussi bien du type **p** que du type **n**. Comme nous l'avons vu pour la diode à pointe de contact, si la base est constituée par du germanium du type **n**, on pense que tout autour du point de contact de chaque électrode se forme une petite zone du type **p** (microjonction - voir figure 7-A).

Inversement, si la base est du germanium du type **p**, il se forme une zone de type **n** (figure 7-B). On suppose que la formation de ces zones se produit sous l'effet du courant traversant le cristal pendant le processus de fabrication.

En regardant la figure 7-A, nous voyons que les pointes de contact de l'émetteur et du collecteur s'appuient sur des zones du type **p**. Ce type de transistor est donc semblable à un transistor à jonction **p-n-p**. On peut faire la même comparaison pour le transistor à pointes de la figure 7-B, qui est semblable à un transistor à jonction **n-p-n**.

Le transistor à pointes de contact fonctionne comme celui à jonction; les porteurs de charge sont injectés dans la base par l'émetteur convenablement polarisé et sont recueillis par le collecteur. Toutefois, la principale différence entre le transistor à jonctions et le transistor à pointes réside dans le fait que, dans

ce dernier, une variation donnée du courant de l'émetteur produit une variation plus importante du courant du collecteur: l'amplification de courant d'un transistor à pointes peut donc être supérieure à l'unité, en général α est de l'ordre de 2,5. Etant donné que dans un transistor à pointes de contact, le coefficient d'amplification de courant, α , est plus grand que un, on peut réaliser des circuits présentant une **résistance négative**, donc susceptibles d'osciller facilement. Ceci peut être extrêmement utile pour la réalisation d'oscillateurs, mais peut être également une source de complications dans le cas d'étages amplificateurs.

La figure 8 donne les courbes caractéristiques d'un transistor à pointes de contact; elles permettent de déterminer les tensions et les intensités du courant du collecteur correspondant à diverses valeurs du courant de l'émetteur. En outre, en comparant ces courbes à celles de la figure 4, relatives à un transistor à jonctions on peut constater que l'inclinaison est plus prononcée, c'est-à-dire que les caractéristiques sont quelque peu différentes. Dans le type à pointes de contact, le courant du collecteur augmente assez fortement lorsqu'on augmente la tension qui lui est appliquée, alors qu'il ne varie que très peu dans un transistor à jonction.

Le transistor à pointes de contact présente un autre avantage sur celui à jonctions: il peut fonctionner sur des fréquences plus élevées. Ceci est dû au fait que la capacité du collecteur, C_c , est plus faible en raison de la très petite surface de contact existant entre la pointe du collecteur et la base. En outre, la résistance de base (r_b) étant plus faible, la limite maximale de α ($f_{\alpha_{co}}$) est plus élevée.

CARACTERISTIQUE DE FREQUENCE

Jusqu'à ces toutes dernières années, le domaine d'application des transistors se trouvait limité du fait qu'ils ne pouvaient fonctionner correctement aux fréquences élevées. De nombreux progrès ont été accomplis dans cette voie et, actuellement, on trouve couramment des modèles pouvant être utilisés en ondes courtes et même en télévision (transistors « Drift »).

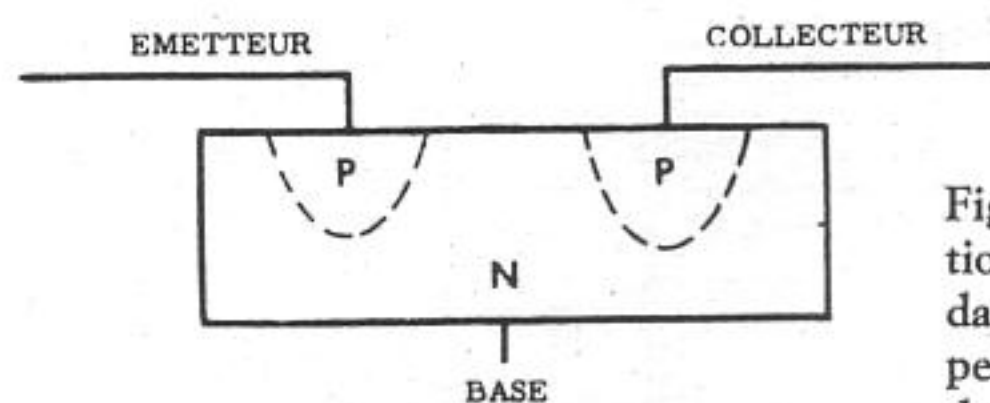


Fig. 7-A - Formation des régions «p», dans une base de type «n», à proximité des pointes de contact.

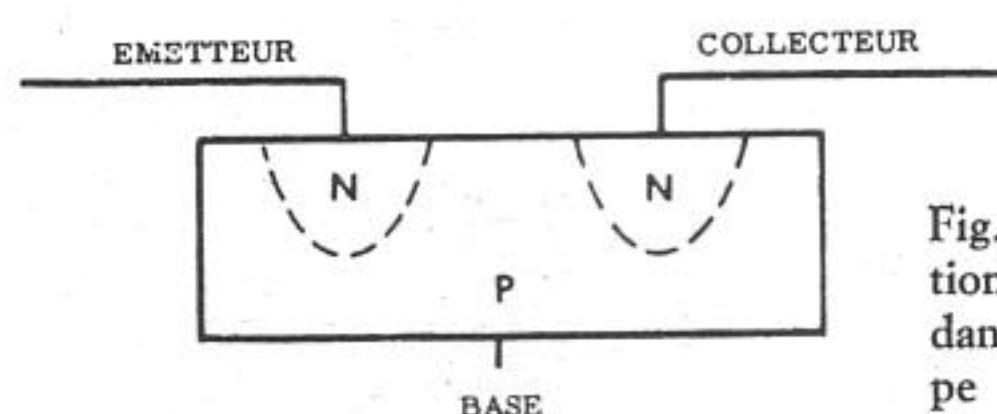


Fig. 7-B - Formation des régions «n», dans une base de type «p», à proximité des pointes de contact.

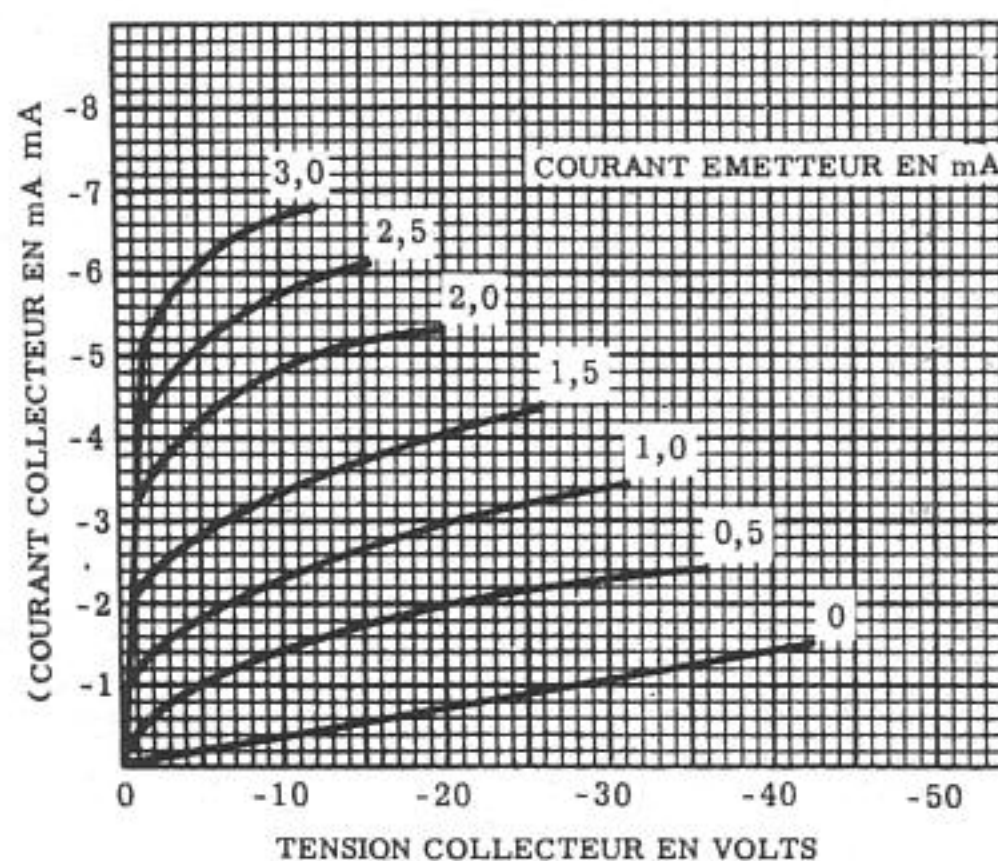


Fig. 8 - Courbes caractéristiques d'un transistor à pointes de contact. Comme on peut le voir d'après l'allure de ces courbes, le gain en courant est plus élevé que pour le type à jonctions.

Comme dans les tubes, ces limitations sont dues essentiellement aux capacités internes (figure 9) et au temps de transit.

Dans les conditions de polarisation favorable, polarisation directe, la capacité de la jonction de l'émetteur peut être très importante; toutefois, elle peut être négligeable car elle est, pour ainsi dire, «shuntée» par la basse impédance du circuit d'entrée. Dans le circuit de sortie, le collecteur est polarisé de manière inverse, la capacité est relativement faible (C_c étant compris entre 10 et 20 pF), mais, l'impédance du circuit de sortie étant élevée, elle ne peut pas être négligée. En effet, cette capacité interne, s'ajoutant à celle des divers composants du circuit, se trouve en parallèle sur l'impédance de charge. Lorsque la fréquence augmente, cette impédance parasite, en parallèle sur la charge, devient plus faible; il en résulte que les variations de courant dans la charge (donc la puissance de sortie) diminuent lorsque la fréquence augmente.

L'autre cause de limitation de fréquence réside dans le temps de transit, auquel s'ajoute l'influence réciproque entre les courants de l'émetteur et du collecteur. A ce propos, il convient de rappeler que la vitesse des électrons correspond à celle de la lumière, non pas parce que ceux-ci se déplacent à cette vitesse mais parce que le champ électrique E auquel sont soumis les électrons du semiconducteur se déplace lui-même à la vitesse de la lumière.

Le courant de lacunes, dépend du mouvement des électrons dans la matière et il se déplace avec une vitesse beaucoup plus faible, ce qui contribue fortement à limiter la fréquence d'utilisation.

Aux fréquences élevées, une grande partie des porteurs, qu'ils soient électrons ou lacunes, injectés dans la base, n'ont pas le temps d'atteindre la jonction du collecteur avant que le signal d'entrée (constitué par un courant alternatif) n'ait inversé sa polarité. Ceci est dû au fait que le temps de transit prend une partie considérable du temps pendant lequel se produit un cycle complet du signal. En conséquence, tous les porteurs qui n'ont pas eu le temps de rejoindre le col-

lecteur restent prisonniers de la base. Ce phénomène provoque une diminution de l'amplification de courant (α) et l'on en déduit facilement que ce coefficient diminue lorsque la fréquence augmente.

L'amplification en courant, α , est donnée par le rapport entre une variation du courant du collecteur et une variation déterminée du courant de l'émetteur, la tension d'alimentation du collecteur étant maintenue à une valeur constante. Cette définition s'applique à l'amplification en courant d'un transistor fonctionnant en basse fréquence (en prenant une fréquence de référence de 1 000 Hz). Le comportement d'un transistor en fonction de la fréquence dépend de sa fréquence de coupure, c'est-à-dire la fréquence pour laquelle le coefficient d'amplification de courant α n'est plus que les 70,7% de sa valeur à la fréquence de référence (1 000 Hz).

Le temps de transit produit également un déphasage entre le signal d'entrée et celui de sortie, qui peut atteindre 60° à la fréquence de coupure. Tout comme dans un tube, ce déphasage est indésirable, car il réduit le rendement du circuit tout entier.

On a réalisé récemment deux types de transistors pouvant partiellement obvier aux inconvénients dus aux capacités internes et au temps de transit: ce sont les transistors **tétrade** et les transistors **p-n-i-p** et **n-i-p-n**. Ces nouveaux types ont été créés pour essayer d'obtenir des caractéristiques de fonctionnement mieux adaptées à leur utilisation aux fréquences élevées.

Nous avons indiqué, à propos du transistor à pointes de contact, que l'on pouvait réduire la capacité du collecteur (C_c) en réduisant la surface de la jonction. Cette réduction est impossible au delà d'une certaine limite, dans le type à jonction. La capacité du collecteur peut également être réduite en diminuant la conductivité du semiconducteur de la base; toutefois, cela entraînerait une augmentation de la résistance de la base (r_b) et cette augmentation, à son tour, abaisserait la fréquence critique ($f_{\alpha_{co}}$).

La figure 10 représente un transistor tétrade du type à jonctions; il est semblable aux transistors triodes précédemment décrits à l'exception du fait que

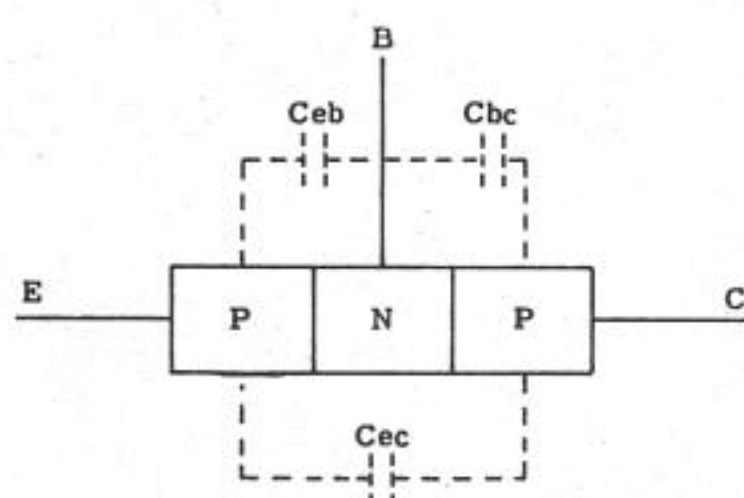


Fig. 9 - Représentation schématique des capacités interélectrodes existant entre émetteur et base (C_{eb}), entre base et collecteur (C_{bc}) et entre émetteur et collecteur (C_{ec}). La présence des capacités interélectrodes compromet naturellement le fonctionnement du transistor aux fréquences supérieures à une certaine limite.

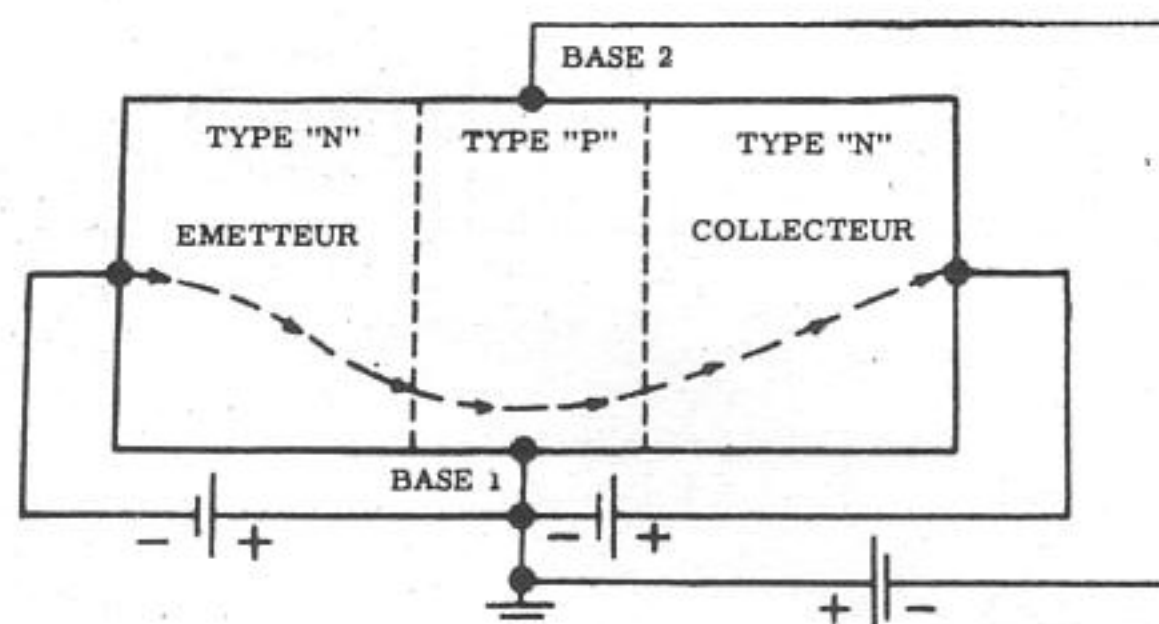


Fig. 10 - Représentation schématique d'un transistor tétrade à jonctions. La tension appliquée à la base 2 est d'une polarité telle que les porteurs de charge se déplacent dans une zone limitée de la base seulement. Ceci a pour effet de réduire considérablement la capacité interne.

la base comporte une seconde électrode placée en direction opposée de l'électrode normale. En appliquant à cette nouvelle électrode un potentiel qui s'oppose au courant normal, les porteurs de charge circulant entre l'émetteur et le collecteur à travers la base, sont comprimés dans une petite partie de celle-ci à proximité immédiate de l'électrode de base. Ceci a pour résultat de réduire pratiquement la surface de la section transversale et l'on peut ainsi obtenir électriquement ce qu'on ne pouvait réaliser mécaniquement.

Le principal avantage du transistor tétrade réside dans le fait que la limite de fréquence ($f_{\alpha_{co}}$) se trouve être considérablement étendue du côté des fréquences élevées, Ceci est dû à la diminution de la surface active de la jonction de base, d'où plus faible capacité interne et temps de transit plus court.

La figure 11 représente un transistor à jonctions du type **n-p-i-n**. Il diffère du type **n-p-n** par l'introduction d'une couche de germanium **intrinsèque** entre la base et le collecteur. Le germanium intrinsèque, ou de type **i**, peut être constitué soit par du germanium extrêmement pur, soit par du germanium contenant un nombre égal de **donneurs** et d'**accepteurs**.

La présence de cette couche permet de réduire considérablement la capacité du collecteur et la résistance de la base, d'où une élévation correspondante de la fréquence de coupure. Elle entraîne également une forte chute de tension à l'extrémité de la couche intrinsèque, mais cette chute peut être compensée par une augmentation de la tension appliquée au collecteur.

PUISSANCE ET DISSIPATION

Dans le paragraphe consacré aux propriétés du germanium, nous avons indiqué que l'agitation thermique à la température ambiante était assez grande pour donner à quelques électrons périphériques une énergie suffisante pour rompre les liens de valence et pour devenir, ainsi, des « électrons libres ». A la température normale, le nombre de ces électrons est peu élevé, mais à partir d'une certaine température critique, de l'ordre de 95°C , cet effet devient très important et le nombre des électrons libres devient excessif.

Les électrons ainsi libérés provoquent une augmentation de la conductibilité qui, dans le germanium pur, est tellement rapide que ce semiconducteur voit sa résistance diminuer fortement quand la température augmente.

A la température critique, l'effet thermique devient prépondérant et dépasse la conductibilité due à la présence des impuretés du type **n** ou **p**: dans ce cas, le fonctionnement du transistor devient impossible. Par la suite, si la température continue à s'élever, on arrive à un point où se produit la diffusion de ces mêmes impuretés. Ceci a lieu lorsque l'agitation thermique devient si forte que les atomes d'impuretés se trouvent déportés vers l'extrémité opposée de la jonction; dans ce cas, le transistor est définitivement détérioré.

La dissipation de puissance dans un transistor est importante car le passage d'un courant dans un semiconducteur, tout comme dans un conducteur, dégage de la chaleur. La plus grande partie de cette chaleur est dissipée par la jonction du collecteur. Les limites de température de fonctionnement des transistors varient selon les types; elles sont indiquées par le fabricant et ne doivent jamais être dépassées.

On a créé divers modèles de transistors pouvant dissiper une forte puissance; ils comportent tous des dispositifs particuliers susceptibles d'évacuer la chaleur développée à proximité de la jonction du collecteur pendant le fonctionnement. Une des méthodes les plus utilisées consiste à relier une des électrodes (le collecteur) au boîtier du transistor. Dans la plupart des cas, ce boîtier métallique est en contact mécanique avec le châssis, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une mince feuille de mica destinée à l'isoler électriquement du châssis, tout en permettant les échanges thermiques (voir figure 12). De cette façon, le châssis sert de refroidisseur et permet une plus forte dissipation de puissance.

La température ambiante a également une certaine importance en ce qui concerne la puissance de sortie pouvant être délivrée par un transistor. En effet, il est facile de comprendre que la dissipation de chaleur sera d'autant plus faible que la température ambian-

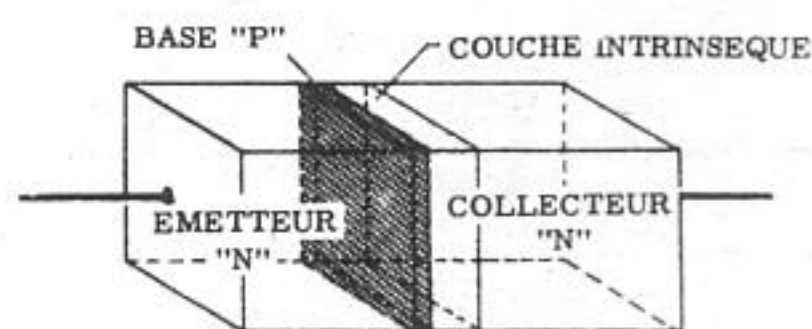


Fig. 11 - Représentation schématique d'un transistor du type «n-p-i-n». On notera la présence d'une couche intrinsèque entre la base et le collecteur.

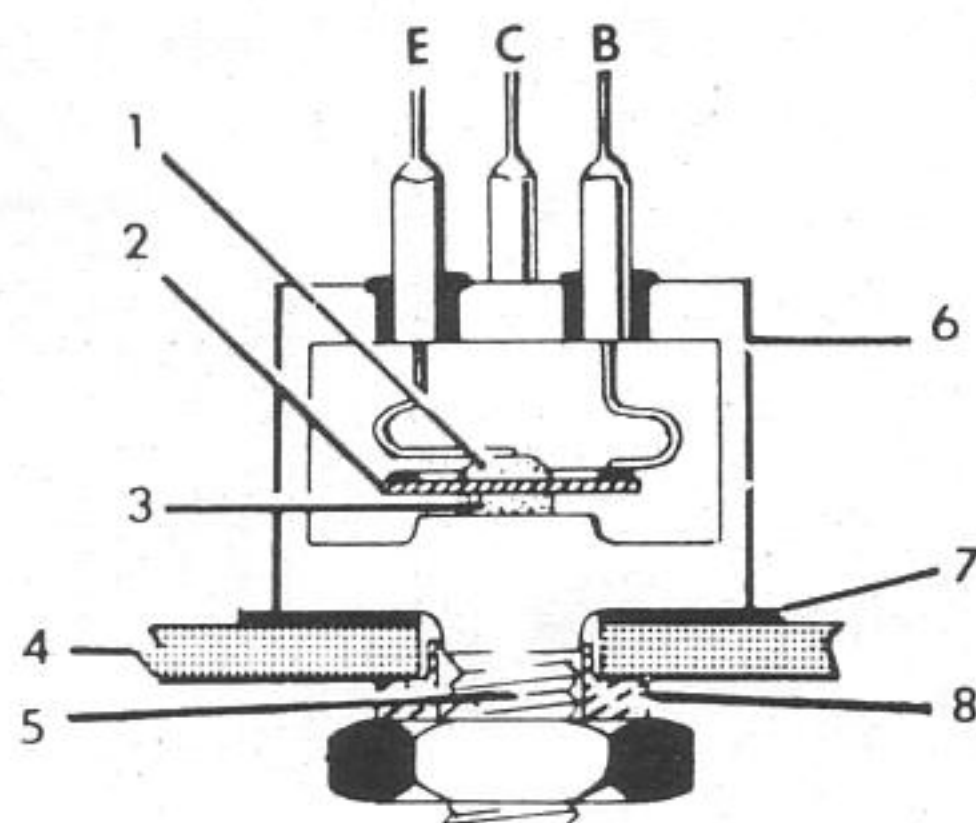


Fig. 12 - Exemple de fixation d'un transistor de puissance sur un châssis métallique, avec dispositif de refroidissement. 1) Emetteur; 2) Base; 3) Collecteur; 4) Châssis; 5) Vis de fixation; 6) Boîtier métallique; 7) Mica; 8) Rondelle isolante.

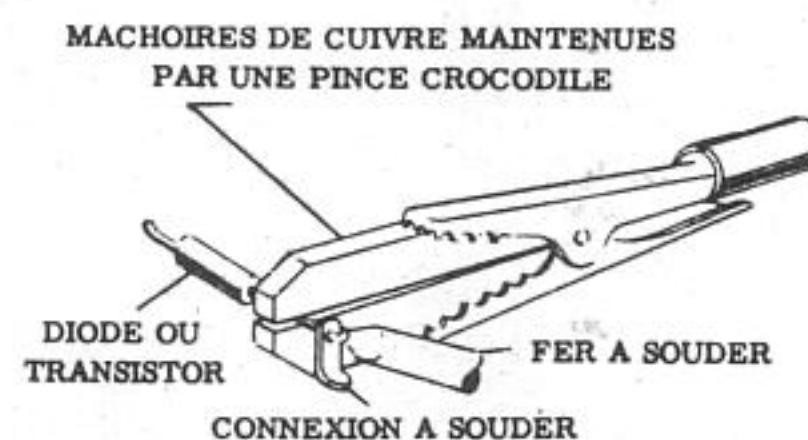


Fig. 13 - On peut refroidir suffisamment les connexions d'un transistor, ou d'une diode, en fixant deux pièces de cuivre à une pince crocodile.

te sera plus élevée, puisqu'un petit nombre de calories (dégagées en cours de fonctionnement) suffira pour amener la jonction à sa température limite de fonctionnement.

La principale différence entre les transistors et les tubes apparaît nettement dans l'amplification de puissance. Dans un amplificateur à transistors, chaque étage contribue à l'amplification de puissance; par contre, dans un amplificateur à tubes, l'amplification de puissance se fait uniquement dans l'étage final. Ceci mis à part, ces deux types d'amplificateurs présentent de grandes analogies: tout comme les tubes, les transistors utilisés dans les amplificateurs de puissance peuvent fonctionner soit en classe A, soit en push-pull classes AB ou B. L'amplification de puissance maximum pouvant être obtenue d'un transistor est de l'ordre de 40 dB; on obtient couramment des amplifications de 440 fois, c'est-à-dire de 26 dB environ.

Le bruit interne des transistors est produit par les variations accidentelles des courants passant à travers les jonctions, ainsi que des fluctuations de répartition du courant de l'émetteur entre les circuits de la base et du collecteur. Le facteur de bruit d'un transistor à jonctions est plus faible que celui d'un transistor à pointes de contact. Les transistors ont un facteur de bruit plus élevé que les tubes; il peut être, toutefois, réduit en diminuant la tension appliquée au collecteur. Il faut noter, en outre, que le bruit d'un transistor est inversement proportionnel à la fréquence de travail.

TECHNIQUE DU MONTAGE

Les appareils à transistors diffèrent notablement des appareils à tubes, tant du point de vue électrique que mécanique; la technique du montage, de la manipulation en général, se trouve être profondément modifiée. En particulier, en raison de la petitesse des transistors et des composants qui lui sont associés, et du goût toujours plus prononcé pour la miniaturisation, le technicien rencontrera des difficultés nouvelles au cours du montage ou de la réparation de ce type d'appareils.

Le classique fer à souder de 100 watts et la pince

ordinaire que l'on trouve habituellement sur le banc de travail des techniciens de l'électronique ne conviennent certainement plus au travail sur les montages à transistors. La plupart des pinces ont des dimensions encore excessives pour cet usage; même les plus petites ne sont guères utilisables et ce sont les brucelles, dont nous avons parlé précédemment, qui sont généralement employées pour ces travaux. Les transistors sont particulièrement sensibles à la chaleur, c'est pourquoi, pour éviter un échauffement dangereux, la soudure des connexions terminales devra être effectuée en prenant des précautions particulières.

Comme cela se produit dans le cas des tubes subminiatures, les transistors sont fréquemment soudés directement aux composants du circuit, ou sur la plaquette à circuit imprimé, sans l'intermédiaire de supports. Pour effectuer cette opération délicate, il faut utiliser un fer à souder du type « crayon », avec une panne longue et mince (voir la figure 22 de la page 16), ainsi qu'une pince spéciale pourvue de masses métalliques pour absorber la chaleur. Cette pince, comme le montre la figure 13, serre les extrémités du conducteur entre le point où doit être effectuée la soudure et le transistor. Ainsi, une bonne partie de la chaleur dégagée pendant l'opération est absorbée par les masses de laiton dont la pince est pourvue et est dispersée dans l'air ambiant au lieu d'atteindre le cristal, comme cela se produirait inévitablement si ces précautions n'étaient pas prises. On laissera en place cette pince pendant au moins 20 secondes après la soudure.

Ce genre de pinces doit toujours être employé aussi bien pour le montage des transistors que pour celui des condensateurs miniatures; l'alliage pour la soudure devra être du type 60/40 (60% d'étain et 40% de plomb), c'est en effet cette proportion qui donne la plus basse température de fusion, et on l'utilisera sous forme de fil à âme décapante de 2 mm de diamètre environ.

La table de travail devra être convenablement éclairée, par une lampe de bureau orientable de préférence, et l'on utilisera avec profit une grosse loupe d'agrandissement, montée sur un support orientable,

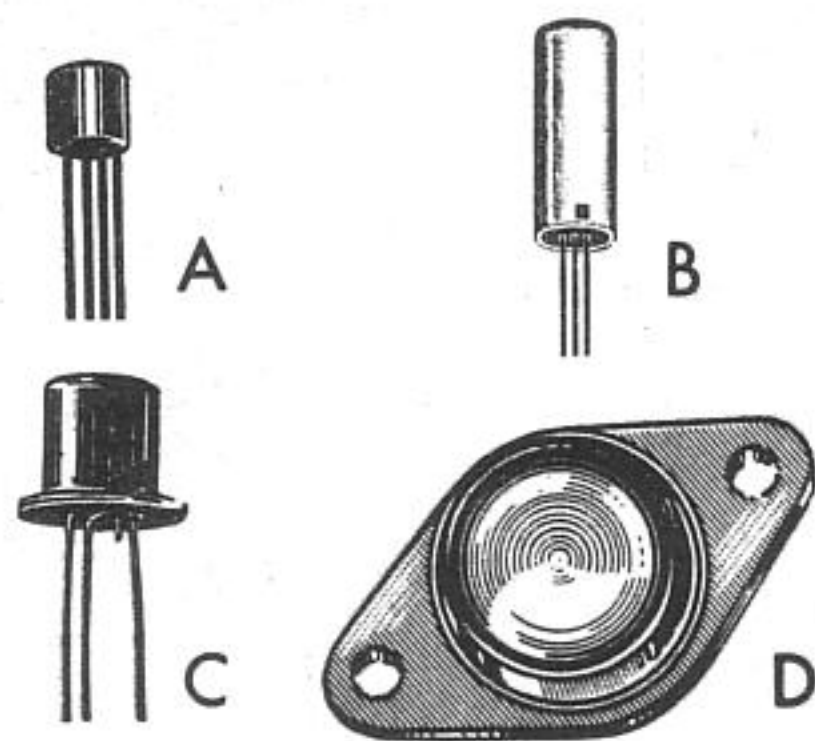


Fig. 14 - Types de transistors. En A, transistor de petites dimensions, à puissance minime; B et C sont deux types à moyenne puissance. En D, type de transistor pour étage final, avec plaquette de refroidissement.

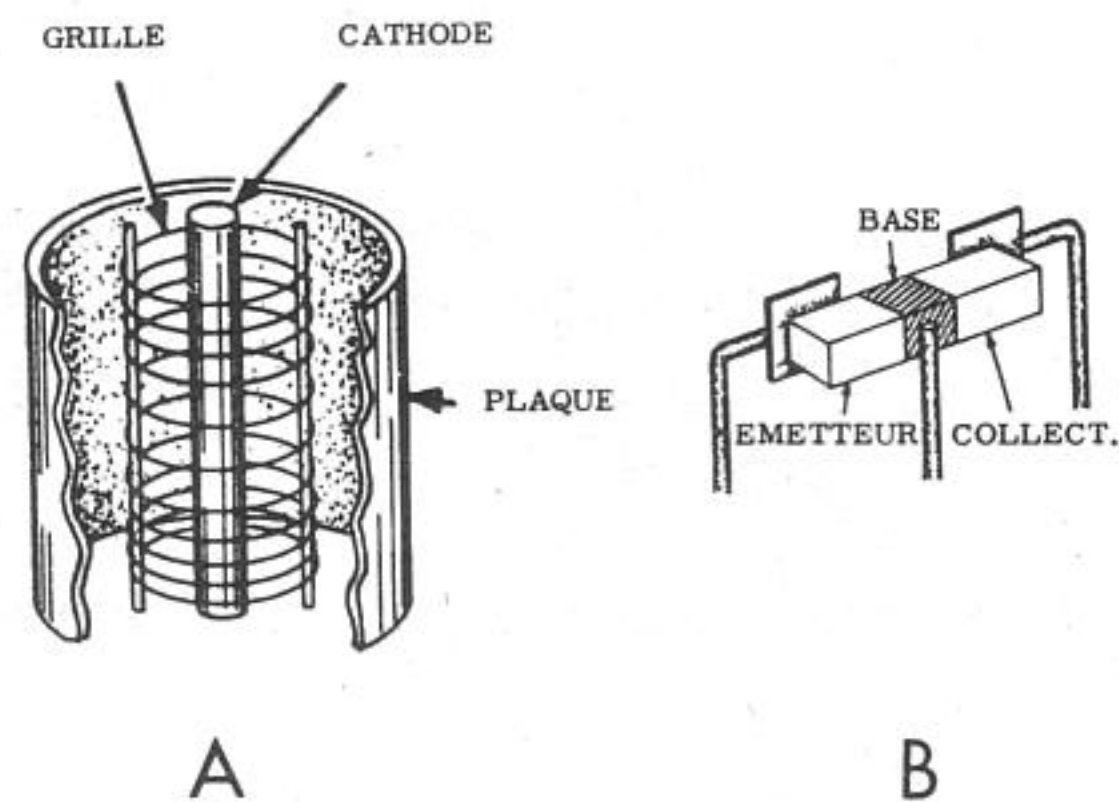


Fig. 15 - Comparaison entre la structure interne d'une triode (A) et celle d'un transistor (B). La position réciproque des trois électrodes qui les constituent est mise en évidence dans les deux dessins.

pour laisser libres les mains de l'opérateur.

Le montage terminé, avant de procéder aux premiers essais, il convient de vérifier très soigneusement les connexions. La qualité et les caractéristiques de tous les composants devront être contrôlés avec soin en prenant toutes les précautions nécessaires. En effet, dans les montages à transistors, dont les circuits sont généralement à basse impédance, beaucoup de condensateurs sont du type électrolytique à basse tension de service; par exemple, un condensateur de couplage pourra avoir une capacité de 3 μ F et une tension de service de 6 volts, ses dimensions approximatives étant: 3 mm de diamètre et 12 mm de longueur. Le branchement à ses bornes, même pendant un court instant, d'un ohmmètre alimenté par une pile d'une tension supérieure à 20 volts, ou d'un capacimètre fonctionnant sous 50 volts, détériorerait immédiatement ce condensateur. Comme pour tout condensateur électrolytique, il faut également respecter la polarité de la tension appliquée à ses bornes.

Avant de brancher une tension quelconque, il faut s'assurer du type du transistor, p-n-p ou n-p-n. En effet, alors qu'un tube à toujours un potentiel positif sur sa plaque, mais ne peut pas être endommagé par l'application éventuelle d'une tension négative, les transistors, par contre, peuvent être de deux types différents fonctionnant avec des tensions opposées sur leurs électrodes. Dans ce cas, l'application d'une tension de polarité inverse peut les détériorer irrémédiablement si la dissipation de puissance dans la jonction dépasse la valeur permise, ou si la tension inverse est supérieure à la valeur maximale pouvant être tolérée.

Les transistors peuvent être soumis à des courants transitoires intrinsèques, comme ceux provoqués par une variation instantanée du signal ou par une interruption brutale des connexions aux électrodes. Pour cette raison, il faut toujours débrancher la tension d'alimentation avant de connecter ou de déconnecter un transistor. Par contre, s'il est nécessaire de le brancher pendant le fonctionnement, ou de l'enlever, il convient de relier, ou de débrancher, avant tout la connexion de la base.

Lorsque les transistors fonctionnent avec des signaux de faible niveau, on peut redouter des interférences gênantes produites par des signaux parasites ou des inductions indésirables. Il est donc à conseiller, au cours des mesures, de brancher aux fils de liaison avec les instruments de mesure des filtres convenables, pour éviter l'influence d'un émetteur rapproché ou puissant ou des inductions du secteur électrique.

La plupart des instruments de mesure destinés au contrôle des appareils à transistors sont alimentés sur piles. Pour éviter le bruit de fond et les courants de fuite, il est parfois utile d'injecter le signal du générateur aux différents étages, par l'intermédiaire d'un couplage inductif. Pour cela, on branche aux bornes du générateur une bobine qui sera couplée provisoirement, pendant les essais, à une autre inductance insérée dans le circuit à essayer.

D'autres précautions seront prises au cours des mesures des tensions, ou de l'examen des formes d'ondes, en raison des petites dimensions des circuits et des composants. En effet, dans les appareils à transistors, les connexions et les cosses des différents éléments du circuit sont très rapprochées et il est facile, en approchant les pointes de touche des instruments de mesure, ou le tournevis, de provoquer accidentellement des courts-circuits susceptibles d'endommager certains éléments.

La sensibilité à la chaleur est un des défauts majeurs des montages à transistors. Pour contrôler cet effet, il suffira de prévoir un coffret métallique chauffé par une lampe de 60 watts environ, dans lequel pourra être enfermé le circuit à essayer. Avant d'être certain que l'appareil a été convenablement réparé, on le fera fonctionner quelques minutes à la température maximale autorisée, en le plaçant dans cette enceinte chauffée par la lampe à incandescence. La plupart des oscillations parasites se manifestent uniquement lorsque les transistors sont chauds et disparaissent dès que la température de fonctionnement s'abaisse. Nous retenons utile conclure l'argument en présentant (Fig. 14) quelques transistors en dimensions réelles et une comparaison de leur structure avec celle d'un tube (Fig. 15).

QUESTIONS sur les LEÇONS N°s 82 et 83

- N. 1 — Qu'entend-on par « électron de valence » ?
- N. 2 — Qu'appelle-t-on semiconducteur ?
- N. 3 — Comment sont constitués les deux courants qui se manifestent dans un semiconducteur ?
- N. 4 — Dans quels cas un semiconducteur est-il du type p ou du type n ?
- N. 5 — Combien existe-t-il de types de diode à cristal ?
- N. 6 — Quels sont les avantages d'une diode à cristal par rapport à une diode à vide ? Quels sont par contre les inconvénients ?
- N. 7 — Qu'entend-t-on par tension inverse ?
- N. 8 — Comment se comporte dans des conditions normales le germanium à l'état de pureté absolue ?
- N. 9 — Quels sont les effets produits par l'adjonction d'impuretés à un cristal de germanium ou de silicium pur ?
- N. 10 — Quelles sont les différences entre une diode à jonction et une diode à pointes de contact ?
- N. 11 — En quoi un transistor diffère-t-il d'une diode à jonction ?
- N. 12 — A quelles électrodes d'un tube peuvent être comparées les électrodes d'un transistor ?
- N. 13 — Combien existe-t-il de types de transistors ?
- N. 14 — Quelle est la différence entre les transistors p-n-p et n-p-n ?
- N. 15 — Quelle est la différence entre un transistor à jonctions et un transistor à pointes de contact ?
- N. 16 — Comment peut-on commander le courant de collecteur dans un transistor ?
- N. 17 — Quelle est la caractéristique qui permet d'obtenir d'un transistor une amplification ?
- N. 18 — Par quoi un transistor tétrode se distingue-t-il d'un transistor normal ?
- N. 19 — Qu'entend-t-on par limite « alfa » de fréquence, ou fréquence de coupure ?
- N. 20 — Qu'entend-t-on par « résistance négative » ?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 643

- N. 1 — Deux: le procédé direct et le procédé indirect.
- N. 2 — Trois: par variation de capacité, variation d'inductance et variation de réactance.
- N. 3 — Le procédé indirect consiste à faire varier indirectement l'angle de phase de l'oscillation produite. Cette variation de phase est ensuite convertie en une modulation de fréquence.
- N. 4 — La stabilisation par un cristal de quartz est possible seulement avec la méthode indirecte, car les procédés directs sont incompatibles avec le principe de la stabilisation de la fréquence par quartz.
- N. 5 — Il y en a huit: l'amplificateur haute fréquence, l'étage mélangeur, l'oscillateur local, l'amplificateur moyenne fréquence, le limiteur (dans le cas d'un détecteur du type discriminateur, seulement), le démodulateur, l'amplificateur basse fréquence et l'alimentation.
- N. 6 — Quand il ne conduit pas, c'est-à-dire quand il se comporte comme un circuit ouvert.
- N. 7 — Quand la tension présente sur sa plaque n'a pas une valeur suffisante pour provoquer le passage d'un courant.
- N. 8 — Parce que le discriminateur est sensible aux variations d'amplitude du signal à démoduler, tandis qu'un détecteur de rapport ne l'est pas.
- N. 9 — Il consiste à prélever une fraction de la tension issue du discriminateur et à l'appliquer au modulateur à réactance. On fait ainsi varier la fréquence de l'oscillateur local dans le sens convenable pour maintenir constante la fréquence d'accord sur le signal désiré.
- N. 10 — Il y en a deux: le premier utilise un simple voltmètre à grande résistance pour mesurer l'amplitude du signal de sortie, le second nécessite un oscilloscope à rayons cathodiques.
- N. 11 — C'est le système visuel (avec oscilloscope), car il permet de voir, donc de déterminer parfaitement la courbe de réponse des transformateurs moyenne fréquence et du discriminateur.
- N. 12 — Le signal HF produit par le générateur doit être d'amplitude constante, il faut donc interrompre la modulation BF.
- N. 13 — La courbe doit être en forme de « S » avec ses sommets arrondis et une partie rectiligne aussi longue que possible.
- N. 14 — Oui, et dans ce cas, ce signal doit coïncider avec le milieu de la partie rectiligne de la courbe. La fréquence du signal doit donc être égale à la valeur de la moyenne fréquence du récepteur.
- N. 15 — Il en faut trois: un à la fréquence centrale et deux aux fréquences extrêmes de la bande passante.
- N. 16 — En l'absence de modulation le signal à la sortie du démodulateur doit être nul.

TABLEAU 80 - CARACTERISTIQUES DES SEMICONDUCTEURS PROFESSIONNELS « Cosem »

TRANSISTORS BASSE FRÉQUENCE AU GERMANIUM

Type	Boîtier	Nature	$V_{CB} \text{ max}$ (V)	$I_C \text{ max}$ (mA)	$P_C \text{ max}$ (mW)	$f_{h_{21b}}$ (MHz)	h_{21E} h_{21E*}
SF.T 125 P	B	P Ge A	30	500	350	2	70 (250 mA - 1 V)
SF.T 131 P	Ba	P Ge A	30	500	550	2	70 (250 mA - 1 V)
SF.T 143	B	P Ge A	45	500	350	1	30 (250 mA - 1 V)
SF.T 144	B	P Ge A	45	500	350	1,8	60 (250 mA - 1 V)
SF.T 145	Ba	P Ge A	45	500	550	1	30 (250 mA - 1 V)
SF.T 146	Ba	P Ge A	45	500	550	1,8	60 (250 mA - 1 V)
SF.T 221	TO-5	P Ge A	30	250	225	1,3	30 (100 mA - 1 V)
SF.T 222	TO-5	P Ge A	30	250	225	2	50 (100 mA - 1 V)
SF.T 223	TO-5	P Ge A	30	250	225	4	80 (100 mA - 1 V)
SF.T 232	TO-11	P Ge A	40	1000	450	0,3	45 (1 A - 0,5 V)
SF.T 233	TO-11	P Ge A	60	1000	450	0,3	45 (1 A - 0,5 V)
SF.T 234	TO-11	P Ge A	80	1000	450	0,3	45 (1 A - 0,5 V)
SF.T 234 A	TO-11	P Ge A	80	1000	450	0,3	45 (1 A - 0,5 V)
SF.T 237	TO-5	P Ge A	15	100	150	3 Δ	100* (1 mA - 6 V - 1 kHz)
SF.T 241	TO-5	P Ge A	45	500	225	1,6	45 (100 mA - 1 V)
SF.T 242	TO-5	P Ge A	45	500	225	2,5	70 (100 mA - 1 V)
SF.T 243	TO-5	P Ge A	60	500	225	2	60 (100 mA - 1 V)
2N 525	TO-5	P Ge A	45	500	225	2	45* (1 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 526	TO-5	P Ge A	45	500	225	2,5	65* (1 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 527	TO-5	P Ge A	45	500	225	3,5	80* (1 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1924	TO-5	P Ge A	60	500	225	1,5	45* (1 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1925	TO-5	P Ge A	60	500	225	2,5	65* (1 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1926	TO-5	P Ge A	60	500	225	3	80* (1 mA - 5 V - 1 kHz)

P = PNP

A = Allié

 Δ = Minimum

TRANSISTORS DE PUISSANCE AU GERMANIUM

Type	Boîtier	Nature	$V_{CB} \text{ max}$ (V)	$I_C \text{ max}$ (A)	$P_C \text{ max}$ (W)**	f_T^* $f_{h_{21b}}$ (MHz)	h_{21E}
SF.T 211	TO-3	P Ge A	80	6	45	0,5*	50 (2 A - 2 V)
SF.T 212	TO-3	P Ge A	30	3	30	0,5*	40 (2 A - 2 V)
SF.T 214	TO-3	P Ge A	60	3	45	0,5*	50 (2 A - 2 V)
SF.T 239	TO-3	P Ge A	60	6	45	0,5*	35 (5 A - 2 V)
SF.T 240	TO-3	P Ge A	80	6	45	0,5*	35 (5 A - 2 V)
SF.T 250	TO-3	P Ge A	80	3	45	0,5*	50 (2 A - 2 V)
SF.T 265	TO-36	P Ge A	40	15	87	0,3	45 (5 A - 2 V)
SF.T 266	TO-36	P Ge A	60	15	87	0,3	45 (5 A - 2 V)
SF.T 267	TO-36	P Ge A	80	15	87	0,3	45 (5 A - 2 V)
SF.T 268	TO-36	P Ge A	100	15	87	0,3	45 (5 A - 2 V)
2N 297 A	TO-3	P Ge A	60	4	35	0,3	40 (2 A - 2 V)
2N 441	TO-36	P Ge A	40	15	87	0,3	30 (5 A - 2 V)
2N 1100	TO-36	P Ge A	100	15	87	0,3	35 (5 A - 2 V)
2N 1358	TO-36	P Ge A	80	15	87	0,2	35 (5 A - 2 V)

** $t_{case (G)} = 25^\circ C$

P = PNP

A = Allié

 Δ = Minimum

TRANSISTORS HAUTE FRÉQUENCE AU SILICIUM

Type	Boîtier	Nature	$V_{CB \text{ max}}$ (V)	$P_C \text{ max}$ $t_{amb} \text{ 25°C}$ (W)	$P_C \text{ max}$ $t_{case} \text{ 25°C}$ (W)	f_T (MHz)	h_{21E} h_{21e*}
SF.T 186	TO-5	N Si ME	140	1		180	15 Δ (30 mA - 10 V)
2N 696	TO-5	N Si ME	60	0,6	2	160	15 Δ (10 mA - 10 V)
2N 697	TO-5	N Si ME	60	0,6	2	160	30 Δ (10 mA - 10 V)
2N 698	TO-5	N Si ME	120	0,6	2	70	20 Δ (150 mA - 10 V)
2N 699	TO-5	N Si ME	120	0,6	2	100	40 Δ (150 mA - 10 V)
2N 699 B	TO-5	N Si ME	120	0,87	5	60 Δ	40 Δ (150 mA - 10 V)
2N 734	TO-18	N Si ME	80	0,5	1	30 Δ	20* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 735	TO-18	N Si ME	80	0,5	1	60 Δ	40* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 736	TO-18	N Si ME	80	0,5	1	60 Δ	80* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 738	TO-18	N Si ME	125	0,5	1	30 Δ	20* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 739	TO-18	N Si ME	125	0,5	1	60 Δ	40* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 740	TO-18	N Si ME	125	0,5	1	60 Δ	80* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1047	MT-5	N Si ME	80	1	40	2 Δ	12 Δ (50 mA - 10 V)
2N 1048	MT-5	N Si ME	120	1	40	2 Δ	12 Δ (50 mA - 10 V)
2N 1049	MT-5	N Si ME	80	1	40	2 Δ	30 Δ (50 mA - 10 V)
2N 1050	MT-5	N Si ME	120	1	40	2 Δ	30 Δ (50 mA - 10 V)
2N 1338	TO-5	N Si ME	80	0,8	2,8	200	7 Δ (30 mA - 10 V)
2N 1340	TO-5	N Si ME	150	0,8	2,8		5 Δ (50 mA - 1 V)
2N 1342	TO-5	N Si ME	150	0,8	2,8	180	7 Δ (10 mA - 12 V)
2N 1505	TO-5	N Si ME	50	0,8	3	150	7 Δ (100 mA - 28 V)
2N 1506	TO-5	N Si ME	60	0,8	3	200	10 Δ (100 mA - 28 V)
2N 1564	TO-5	N Si ME	80	0,6	1,2	30 Δ	20* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1565	TO-5	N Si ME	80	0,6	1,2	60 Δ	40* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1566	TO-5	N Si ME	80	0,6	1,2	60 Δ	80* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1572	TO-5	N Si ME	125	0,6	1,2	30 Δ	20* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1573	TO-5	N Si ME	125	0,6	1,2	60 Δ	40* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1574	TO-5	N Si ME	125	0,6	1,2	60 Δ	80* Δ (5 mA - 5 V - 1 kHz)
2N 1709	TO-8	N Si ME	75	2,5	13	100	7 Δ (350 mA - 28 V)
2N 1710	TO-8	N Si ME	60	2,5	13	100 Δ	7 Δ (350 mA - 28 V)
2N 1986	TO-5	N Si ME	50	0,6	2	40 Δ	60 Δ (150 mA - 10 V)
2N 1987	TO-5	N Si ME	50	0,6	2	40 Δ	20 Δ (150 mA - 10 V)
2N 1990	TO-5	N Si ME	100	0,6	2		20 Δ (30 mA - 10 V)

N = NPN

ME = Mesa

Δ = Minimum

TRANSISTORS HAUTE FRÉQUENCE AU GERMANIUM

Type	Boîtier	Nature	$V_{CB \text{ max}}$ (V)	$I_C \text{ max}$ (mA)	$P_C \text{ max}$ (mW)	$f_{h_{21b}}^*$ f_T^* (MHz)	h_{21E} h_{21e}^*
SF.T 226	TO-5	P Ge A	40	250	150	5,5*	25 Δ (10 mA - 0,5 V)
SF.T 227	TO-5	P Ge A	30	250	150	7,5*	35 Δ (10 mA - 0,5 V)
SF.T 228	TO-5	P Ge A	24	250	150	12*	50 Δ (10 mA - 0,5 V)
SF.T 229	TO-5	P Ge A	18	250	150	25*	75 Δ (10 mA - 0,5 V)
SF.T 288	TO-5	P Ge A	24	500	150	16*	40 Δ (400 mA - 0,35 V)
SF.T 298	TO-5	N Ge A	30	500	150	15*	35 Δ (350 mA - 0,45 V)
SF.T 315	TO-44	P Ge D	40	10	120	30*	80* (1 mA - 9 V - 1 kHz)
SF.T 357 P	TO-44	P Ge D	30	10	120	80*	180* (1 mA - 9 V - 1 kHz)
2N 384	TO-44	P Ge D	40	10	120	70*	90* (1,5 mA - 12 V - 1 kHz)
2N 388	TO-5	N Ge A	25	200	150	17	60 Δ (30 mA - 1 V)
2N 396	TO-5	P Ge A	30	200	150	9	30 Δ (10 mA - 1 V)
2N 397	TO-5	P Ge A	30	200	150	13	40 Δ (10 mA - 1 V)
2N 404	TO-5	P Ge A	25	100	120	12	30 Δ (12 mA - 0,15 V)
2N 428	TO-5	P Ge A	30	400	150	30	60 Δ (1 mA - 0,25 V)
2N 711 A	TO-18	P Ge ME	15	50	150	300*	25 Δ (10 mA - 0,5 V)
2N 1225	TO-33	P Ge D	40	10	120	70*	90* (1,5 mA - 12 V - 1 kHz)
2N 1302	TO-5	N Ge A	25	300	150	5	20 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1303	TO-5	P Ge A	30	300	150	5	20 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1304	TO-5	N Ge A	25	300	150	10	40 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1305	TO-5	P Ge A	30	300	150	10	40 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1306	TO-5	N Ge A	25	300	150	15	60 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1307	TO-5	P Ge A	30	300	150	15	60 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1308	TO-5	N Ge A	25	300	150	25	80 Δ (10 mA - 1 V)
2N 1309	TO-5	P Ge A	30	300	150	20	80 Δ (10 mA - 1 V)

P = PNP

N = NPN

A = Allié

D = Drift

ME = Mesa

 Δ = Minimum

DIODES

Limites absolues à $t_{amb} = 25^\circ\text{C}$					Caractéristiques générales			
Type	Boîtier	Nature	V_R (V)	I_F (mA)	$I_F \text{ min à } t_{amb} = 25^\circ\text{C}$ (mA)	$I_R \text{ max à } t_{amb}$		
						(μA)	(μA)	($^\circ\text{C}$)
SF.D 105	DO-7	Ge	30	30	5 (1 V)	120 (10 V)	500 (30 V)	55
SF.D 106	DO-7	Ge	25	30	5 (1 V)	10 (1,5 V)	200 (25 V)	25
SF.D 108	DO-7	Ge	100	30	4,5 (1 V)	7 (10 V)	250 (100 V)	25
SF.D 118	DO-7	Ge	10	20	12 (1 V)	15 (1,5 V)	400 (10 V)	25
SF.D 119	DO-7	Ge	20	30	5 (1 V)	60 (10 V)	250 (20 V)	25
SF.D 121	DO-7	Ge	10	30	17 (1 V)	2 (1,5 V)	10 (10 V)	25
SF.D 122	DO-7	Ge	25	100	50 (0,80 V)	8 (10 V)	20 (25 V)	25
SF.D 127	DO-7	Ge	25	100	50 (0,65 V)	12 (10 V)	20 (25 V)	55
SF.D 129	DO-7	Ge	40	200	200 (0,75 V)	15 (10 V)	35 (40 V)	55
1 N 54A	DO-7	Ge	50	30	5 (1 V)	7 (10 V)	100 (50 V)	25
1 N 81	DO-7	Ge	40	30	3 (1 V)	10 (10 V)	100 (40 V)	25
1 N 191	DO-7	Ge	70	30	5 (1 V)	25 (10 V)	250 (70 V)	55
1 N 192	DO-7	Ge	50	30	5 (1 V)	50 (10 V)	250 (50 V)	55
1 N 198	DO-7	Ge	80	30	4 (1 V)	10 (10 V)	125 (80 V)	25
1 N 541	DO-7	Ge	45	35	4 (1 V)	60 (10 V)	450 (45 V)	55
1 N 542	DO-7	Ge	45	35	4 (1 V)	60 (10 V)	450 (45 V)	55

DIODES TUNNEL

Limites absolues à $t_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$				Caractéristiques générales	
Type	Boîtier	Nature	I_F (mA)	I_P $\pm 10\%$ (mA)	I_P/I_V
SF.D 160 (1 N 2939)	TO-18	Ge	5	1	9
SF.D 161 (1 N 2969)	TO-18	Ge	10	2,2	9
SF.D 162	TO-18	Ge	15	3,3	9
SF.D 163 (1 N 2941)	TO-18	Ge	25	4,7	9
SF.D 164	TO-18	Ge	30	5,6	9
SF.D 165 (1 N 3149)	TO-18	Ge	50	10	9
SF.D 166 (1 N 3150)	TO-18	Ge	100	22	9

DIODES TUNNEL HYPERFRÉQUENCES

Limites absolues à $t_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$				Caractéristiques générales	
Type	Boîtier	Nature	I_F (mA)	I_P $\pm 20\%$ (mA)	I_P/I_V
SF.D 480	spécial	Ge	3	1	12
SF.D 481	spécial	Ge	6	2	12

PHOTODIODES

Type	Nature	V_R max (V)	I_F max (mA)	Caractéristiques générales
PHG1	Ge	30	4	$S = 100 \mu\text{A}/1000 \text{ Lux}$ $I_R = 10 \mu\text{A}$ à 0 Lux Turn on $6 \mu\text{s}$ max
PHG2	Ge	30	4	$S = 50 \mu\text{A}/1000 \text{ Lux}$ $I_R = 10 \mu\text{A}$ à 0 Lux Turn on $6 \mu\text{s}$ max

DIODES A CAPACITÉ VARIABLE (VARACTORS)

Type	Boîtier	Nature	$V_R (-10 \mu\text{A})$ (V)	C (pF)	f_c
SF.D 410 / 411 / 412 / 413	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	0,5 - 1	Cf code
SF.D 420 / 421 / 422 / 423	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	1 - 2	
SF.D 430 / 431 / 432 / 433	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	2 - 5	
SF.D 440 / 441 / 442 / 443	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	5 - 10	
SF.D 450 / 451 / 452 / 453	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	10 - 20	
SF.D 460 / 461 / 462 / 463	spécial	Si	10 / 30 / 60 / 90	20 - 50	

Code	A	B	C	D	E	F	G
f_c (GHz)	10	20	40	60	80	100	120

Musical echo — Echo musical (écho périodique qui possède un « flutter » dont la fréquence est comprise dans la gamme de fréquences acoustiques).

Mute antenna — Antenne artificielle ou fictive.

Muting — Blocage de réponse.

Muting circuit — Circuit qui empêche le signal à la sortie d'un récepteur lorsqu'aucune porteuse H.F. d'intensité supérieure à celle déterminée atteint le premier étage détecteur; circuit qui sert à rendre insensible un récepteur pendant le fonctionnement de l'émetteur associé à lui.

Muting switch — Commutateur de réglage silencieux.

Muting threshold — Seuil de réglage silencieux.

Mutual branch — Dérivation commune; branche commune.

Mutual characteristic — Caractéristique grille anode.

Mutual conductance — Conductance mutuelle ou transconductance (égale à la variation du courant anodique par la variation de la tension de grille contrôle).

Mutual-conductance meter — Instrument pour mesurer la transconductance d'un tube.

Mutual impedance — Impédance mutuelle (entre deux paires de bornes quelconques d'un raisseau électrique).

Mutual inductance — Inductance mutuelle (l'inductance effective commune à deux circuits).

Mutual inductance attenuator — Ligne d'affaiblissement à inductance mutuelle.

Mutual-inductance coupling — Couplage inductif.

Mutual induction — Induction mutuelle.

Mutual-inductive coupling — Couplage de deux circuits au moyen leur inductance mutuelle.

Mutual inductor — Bobine d'inductance utilisée afin de pouvoir varier l'inductance mutuelle entre deux circuits.

µv — Abréviation de « microvolt ».

µw — Abréviation de « microwatt ».

MUX — Abréviation de « Multiplex ».

mv — Abréviation de « millivolt ».

MVB — Abréviation de « Multivibrator ».

mvc — Abréviation de « Manual volume control ».

mw — Abréviation de « milliwatt ».

MX — Nomenclature JAN pour « Miscellaneous ».

Mycalex — Matériel isolant composé de mica et verre fondus ensemble.

Mylar — Film polyester employé comme matériel de support pour les rubans magnétiques.

Mylar capacitor — Condensateur à diélectrique en mylar.

Myriametric waves — Ondes inférieures aux 30 kHz (very low frequency).

N

N — Numéro.

— Nitrogène.

— Nombre de spires.

— Nombre de neutrons.

— Polarité négative.

— Tour par seconde ou par minute.

NAB — Abréviation de « National Association of Broadcasters », connu comme NARTB avant 1858.

NAB curve — La courbe d'égalisation (?) de reproduction adoptée par la NAB pour les enregistrements sur disque.

Nadar — Dispositif qui enregistre les opérations de réglage du tir à la fin d'une interception.

Nainop — Abréviation de « Navigational aid inoperative » (Moyen d'assistance radio à la navigation inactive).

Nancy — Système de communications à rayons infrarouges utilisé entre les navires pendant la nuit.

Nano — Préfixe qui représente 10^{-9} .

Nano ray — Terme qui représente 10^{-9} pour les récepteurs à rayons infrarouges.

Nano-farad — 1 000 picofarads.

Nanosecond — Nanoseconde = 10^{-9} seconde.

Napier — Néper.

Napierian logarithm — Logarithme népérien, ou naturel.

Narrow band — Bande étroite (inférieure aux 300 kHz).

Narrow-band frequency modulation — Modulation de fréquence à bande étroite (système de transmission employé pour les communications en phonie à deux voies entre deux points mobiles).

Narrow-band receiver — Récepteur à bande étroite (d'un guide d'ondes, qui peut être varié sans pour cela modifier la fréquence critique ou longueur d'onde).

NARTB — Abréviation de « National Association of Radio and Television Broadcasters », titre qui est substitué par celui de NAB.

Native magnet — Aimant naturel.

Natural antenna frequency — Fréquence naturelle d'une antenne (la plus basse fréquence de résonance sans l'addition de valeurs de self ou de capacité).

Natural frequency — Fréquence naturelle (fréquence à laquelle un corps ou un système oscille librement).

Natural frequency of antenna — Fréquence naturelle d'une antenne (voir « Natural antenna frequency »).

Natural logarithm — Logarithme naturel ou népérien (logarithme dont la base est 2,718).

Natural magnet — Aimant naturel.

Natural magnetization — Aimantation naturelle.

Natural mode — Fréquence naturelle.

Natural oscillations — Oscillations naturelles ou libres ou aussi propres.

Natural period — Période naturelle (la période des oscillations libres d'un corps ou d'un système).

Natural radioactive materials — Matériaux radioactifs naturels; radio éléments naturels.

Natural radioactivity — Radio-activité naturelle.

Natural resonance — Résonance naturelle ou périodique (résonance où la période de fréquence de l'agent appliqué pour maintenir l'oscillation est égale à la période naturelle d'oscillation du système).

Natural resonance frequency — Fréquence naturelle de résonance.

Natural scale — Echelle naturelle.

Natural wave — Onde naturelle.

Natural wavelength — Longueur d'onde na-

turelle fondamentale (relative d'une antenne ou d'un circuit).

Natural wavelength of the antenna — Longueur d'onde naturelle de l'antenne (égale à $\frac{1}{2}$ de la longueur électrique).

Nautical mile — Mille nautique.

Nav — Abréviation de « Navigation ».

Navaglide — Système de vol instrumental d'approche qui emploie une seule fréquence.

Navaglobe — Système de radio navigation à longue distance, fonctionnant dans la bande de fréquences de 90 à 105 kHz.

Navaid — Abréviation de « Navigation aid ».

Navar — Système de radar pour la navigation aérienne et pour le contrôle du trafic de l'aéroport.

Navarho — Système de radio navigation à longue distance, fonctionnant dans la bande de fréquences de 90 à 105 kHz.

Navascreen — Ecran sur lequel sont optiquement projetées toutes les informations nécessaires pour le contrôle des avions.

Navigation — Navigation.

Navigation aid — Assistance par radio relative à la navigation.

Navigational microfilm projector — Projecteur de microfilm pour la navigation.

Navigation beacon — Phare (lumineux, radio ou radar) d'assistance pour la navigation.

Navigation computer — Calculateur électronique de route.

Navigation coordinate — Coordonnée de route.

Navigation instrument — Voir « Navigation aid ».

Navigation parameter — Signal visible ou acoustique fourni par un moyen d'assistance à la navigation.

nb — Densité électronique dans la base (d'un transistor).

N/B/C — Abréviation de « National Broadcasting Company ».

NBFM — Abréviation de « Narrow-band frequency modulation ».

NBS — Abréviation de « National Bureau of Standards ».

NC — Abréviation de « No connection » (aucune liaison).

nc — Densité électronique dans le collecteur (d'un transistor).

NCS — Abréviation de « Net control station » (Station de contrôle d'un certain nombre de stations qui sont en communication entre elles).

NDB — Abréviation de « Non directional radio beacon » (Radiophare non directionnel).

N display — Type de présentation visible par radar, où la cible apparaît comme une paire de déflexions verticales de la base des temps horizontale.

ne — Densité électronique dans l'émetteur (d'un transistor).

NE — Abréviation de « Neon ».

Near echo — Echo rapproché (que l'on perçoit avec certaine difficulté sur l'écran du radar).

Near-end crosstalk — Paradiaphonie (diaphonie qui se propage dans un canal dérangé en direction opposée à celle de la propagation du courant dans le canal perturbateur).

Near-end crosstalk attenuation — Affaiblissement paradiaphonique.

INFORMATIONS

(voir page 4)

sur la figure a). Pour le tirage des monocristaux hors du métal fondu, on préfère utiliser un creuset constitué de tubes d'argent comme il est montré sur la figure b). La charge en fusion est retenue à l'intérieur de ce creuset en forme de cage; cela résulte probablement de l'action conjuguée de la tension superficielle et de l'effet de striction.

L'appareil complet pour l'exécution des opérations ci-dessus vient d'être mis sur le marché par Stanelco Industrial Services, filiale de Standard Telephones and Cables.

FABRICATION DE QUARTZ SYNTETIQUE



Les cristaux de quartz sont extraits de l'autoclave.

Le premier atelier d'Europe pour la croissance de cristaux de quartz sur le plan industriel a été installé dans la nouvelle usine de cristaux de quartz de Harlow, Essex, Grande-Bretagne (Standard Telephones & Cables).

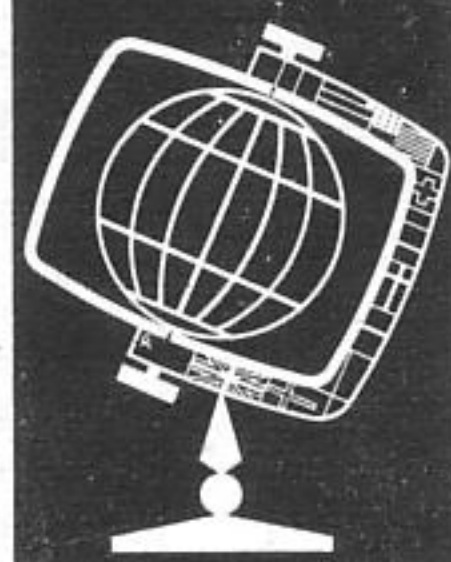
Des gros cristaux de qualité radio convenant pour les stabilisateurs de fréquence sont obtenus en moins d'un mois. Ces cristaux présentent des faces cristallines correctes et sont virtuellement exempts de défauts.

La croissance a lieu à l'intérieur d'un cylindre d'acier de 3 m de hauteur et 300 mm de diamètre sous une pression d'environ 1 700 kg/cm² et à une température de 400°C. Dans cette ambiance, des petits cristaux de quartz faciles à obtenir se dissolvent dans de la soude caustique et une croissance progressive se produit autour de germes cristallins spéciaux placés à la partie supérieure du cylindre.

Le quartz de synthèse sera utilisé pour la fabrication des appareils dans les mêmes conditions que le quartz naturel. Lorsque le procédé aura fait ses preuves, il permettra à la STC de devenir encore plus compétitive dans ce domaine.

Les spécialistes du monde entier seront à Paris

du
9 au 19
Septembre
1965



pour le **SALON
INTERNATIONAL
RADIO
TÉLÉVISION**

La seule grande confrontation mondiale :

l'ensemble des appareils de radiodiffusion, de télévision, d'enregistrement et de reproduction produits par l'élite des constructeurs internationaux.

La participation de l'O.R.T.F.,

qui réalise sur place dans des studios spécialement équipés, des émissions de radio et de télévision avec le concours de vedettes internationales.

RENSEIGNEMENTS S.D.S.A.

16, RUE DE PRESLES, PARIS 15^e - TÉL. 273.24.70

Multiple echoes — Echo multiple (suite d'échos d'une seule source qu'on peut distinguer séparément).

Multiple feeder — Ligne d'alimentation multiple.

Multiple grating — Variation spatiale périodique de l'indice de réfraction d'un milieu, produite par des faisceaux croisés d'ondes ultrasoniques.

Multiple-hop transmission — Voir « Multi-hop transmission ».

Multiple ionization — Ionisation multiple.

Multiple key — Une touche qui contrôle plusieurs circuits à la fois.

Multiple line — Ligne multiple.

Multiple line antenna — Antenne à plusieurs conducteurs.

Multiple modulation — Modulation multiple (une suite de procédés de modulation où l'onde modulée par un procédé devient l'onde modulante pour le procédé successif).

Multiple polarity — Polarité multiple.

Multiple-purpose tester — Volt-ohm-milliam-pèremètre.

Multiple reception — Réception multiple.

Multiple rectifier circuit — Circuit redresseur multiple.

Multiple reflection echoes — Echos pour la réflexion multiple.

Multiple regeneration — Régénération multiple.

Multiple rhombic antenna — Antenne rhombique multiple.

Multiple scanning — Exploration multiple.

Multiple scattering — Dispersion multiple.

Multiple series condenser — Condensateur réglable dont les parties peuvent être montées en série ou en parallèle.

Multiple signals — Signaux multiples.

Multiple sound track — Groupe de pistes ou traces sonores adjacentes, enregistrées sur un moyen commun.

Multiple switchboard — Tableau de distribution multiple.

Multiple telegraphy — Télégraphie multiple.

Multiple transformer — Transformateur multiple (dont le primaire est branché en parallèle avec le circuit d'alimentation).

Multiple-trip echo — Echo de retour d'une distance telle que le temps nécessaire employé par une impulsion radar pour atteindre la cible et de retourner à l'appareil se fait plus long que l'intervalle existant entre deux impulsions successives.

Multiple tuned antenna — Antenne à accord multiple (comportant une section horizontale reliée à plusieurs sections verticales accordées).

Multiple tuner — Dispositif d'accord multiple.

Multiple-twin cable — Câble quarte, dont les quatre conducteurs sont disposés par couples entrelacés, et les deux couples sont à leur tour entrelacés ensemble.

Multiple-twin quad — Voir « Multiple-twin cable ».

Multiple unit steerable antenna — Antenne composée d'un certain nombre d'antennes stationnaires dont le lobe principal composé est électriquement orientable.

Multi-unit tube — Tube électronique portant dans une ampoule unique, deux

ou plusieurs groupes d'électrodes associées, avec des faisceaux d'électrons indépendants.

Multiple voltage system — Montage de plusieurs dispositifs en série, de manière que la tension totale requise en résulte égale à la surtension d'alimentation.

Multiple wire antenna — Antenne à plusieurs conducteurs.

Multiple wire system — Système à plusieurs conducteurs.

Multiplex — Transmission simultanée de deux ou plusieurs signaux au moyen d'une seule voie à Haute Fréquence.

Multiplex channel — Voie pour la transmission multiplex.

Multiplex code transmission — Transmission simultanée de deux ou plusieurs signaux par code, sur la même voie.

Multiplexer — Dispositif pour combiner deux ou plusieurs signaux.

Multiplexing — Voir « Multiplex ».

Multiplex operation — Transmission simultanée de deux ou plusieurs signaux, sur la même voie.

Multiplex radio transmission — Emission radio simultanée de deux ou plusieurs signaux au moyen d'une seule porteuse.

Multiplex radio transmitter — Emetteur radio multiplex.

Multiplex reception — Réception multiplex (réception simultanée de deux ou plusieurs signaux séparés).

Multiplex stereo — Emission de deux canaux d'un programme stéréophonique au moyen d'une seule porteuse, en modulant une sous-porteuse ultrasonique moyennant les signaux d'un des canaux stéréophoniques, ou bien moyennant un signal de différence, composé par les deux canaux déphasés.

Multiplex system — Système multiplex (un système capable d'émettre deux ou plusieurs signaux au moyen de la même porteuse).

Multiplex telegraphy — Télégraphie par transmission multiplex.

Multiplex transmission — Voir « Multiplex ».

Multiplex winding — Enroulement en série-parallèle.

Multiplex recorder — Enregistreur qui trace simultanément un certain nombre de graphiques indépendants, chacun d'eux présente la relation entre deux variables, aucune de ces variables est le temps.

Multiplication — Multiplication.

Multiplication constant — Constante de multiplication.

Multiplication factor — Coefficient de multiplication.

Multiplication point — Point de multiplication.

Multiplication mixing — Mélange multiplicateur.

Multiplier — Multiplicateur; résistance branchée en série avec un voltmètre afin de pouvoir mesurer des valeurs plus élevées de celles qu'indique l'échelle de l'instrument; dispositif qui possède deux ou plusieurs entrées, et dont la sortie est une représentation du produit des quantités représentées par les signaux d'entrée.

Multiplier of a meter — Résistance accessoire d'un instrument de mesure.

Multiplier phototube — Phototube multipli-

icateur (il exploite l'émission secondaire pour amplifier le faisceau d'électrons émis par la photo-cathode éclairée).

Multiplier resistor — Résistance accessoire d'un instrument de mesure.

Multiplier tube — Tube à vide qui utilise l'émission secondaire d'un certain nombre d'électrodes successives, afin de pouvoir obtenir le plus grand courant de sortie possible.

Multiplying factor — Coefficient de multiplication (d'un appareil de mesure).

Multipolar — Multipolaire (ayant plusieurs couples de pôles magnétiques).

Multipolar motor — Moteur multipolaire.

Multi-purpose tube — Tube à plusieurs usages.

Multirate meter — Appareil de mesure qui enregistre à vitesse différente ou bien sur des cadrans différents, pendant des différentes heures du jour.

Multisegment magnetron — « Magnétron » ayant l'anode divisée en plusieurs segments.

Multisignal generator — Générateur de signaux multiples.

Multispeed motor — Moteur à plusieurs vitesses.

Multistage amplifier — Amplificateur en cascade.

Multitrack magnetic system — Système magnétique d'enregistrement à deux ou plusieurs traces.

Multitrack recording system — Voir « Multitrack magnetic system ».

Multunit tube — Tube multiple.

Multiturn coil — Bobine à plusieurs spires.

Multivibrator — Multivibrateur (un type particulier d'oscillateur à deux étages couplés de manière telle que le signal d'entrée de chacun est prélevé de la sortie de l'autre; il produit un grand nombre de fréquences harmoniques).

Multiwire-tratic antenna — Antenne multifilaire à triangle.

Mu meson — Méson mu (ayant une vie moyenne de $2,1 \times 10^{-6}$ secondes et une vie maximal égale à 210 fois celle d'un électron).

Mumetal — Alliage magnétique ayant une perméabilité élevée et une hystérésis basse, composé d'environ 75% de nickel, 25% de fer et des quantités réduites de cuivre et de manganèse. Utilisé pour blinder les composants, les tubes, etc.).

$\mu\mu$ — Abréviation de « micromicro »: pico.

$\mu\mu f$ — Abréviation de « micromicrofarad »: picofarad.

Muon — Méson mu.

Murray loop test — Essai de Murray.

Musa — Abréviation de « Multiple unit steerable antenna ».

μsec — Abréviation de « microsecond (microseconde) ».

Mush area — Zone d'interférence.

Mush coil — Bobine dont l'enroulement n'est pas réalisé en couches régulières.

Mushroom insulator — Isolateur en cloche.

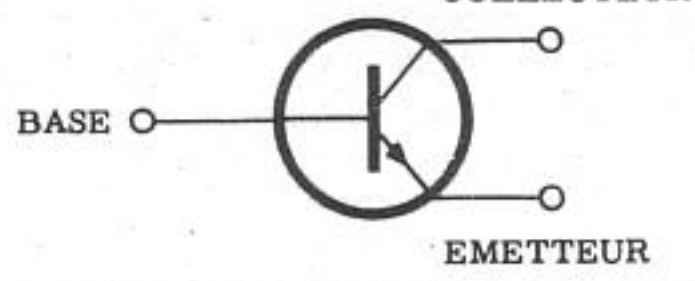
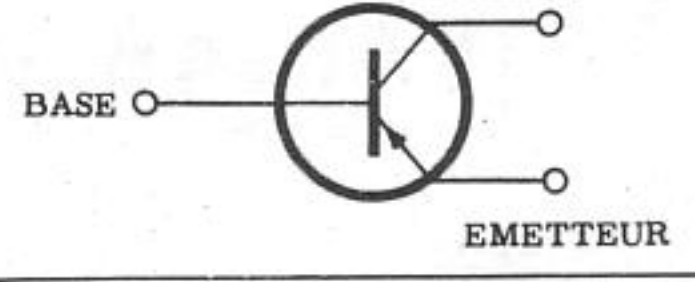
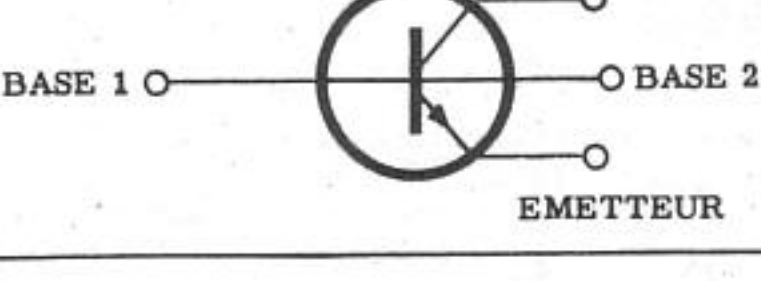
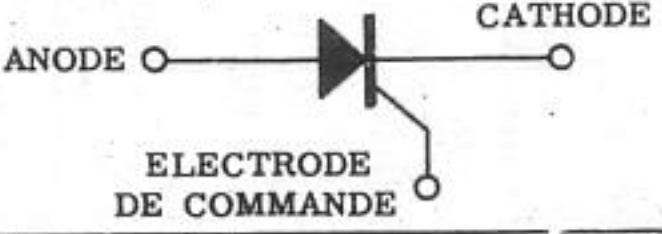
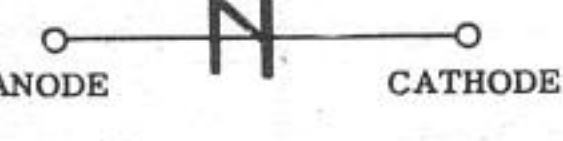
Mush winding — Enroulement de machines à c.a., dont les conducteurs sont placés séparément dans des rainures préparées.

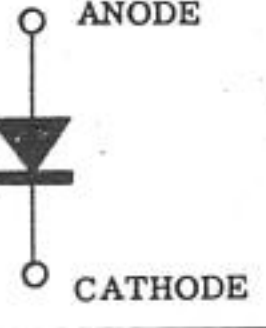
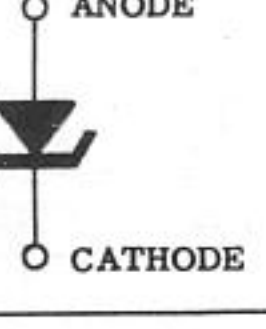
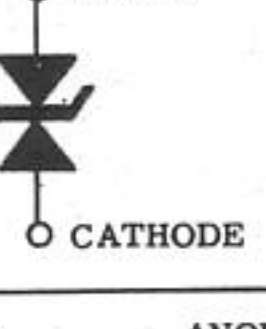
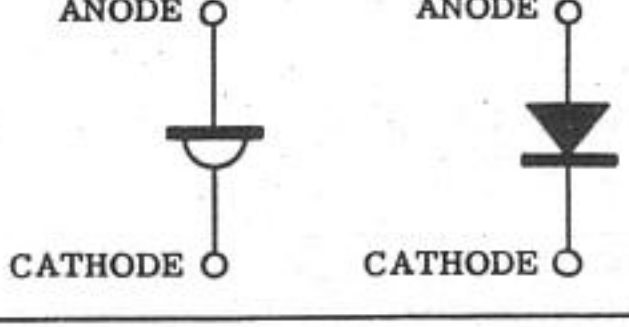
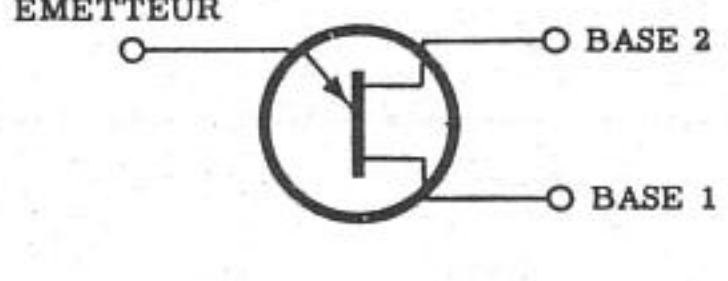
Musical cushion — Sélection musicale pour terminer un programme, qui permet au directeur de prolonger ou d'interrompre la musique lorsque le programme n'observe pas l'horaire prévu.

REDRESSEURS

Limites absolues à $t_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$						Caractéristiques générales	
Type	Boîtier	Nature	V_{RM} (V)	I_{FM} (A)	I_{FS} (A)	I_O (A)	I_O (A)
						$t_{amb} (Umg)$	
						25°C	55°C
SF.R 135	RGH	Ge	100	15	120	6,5	2,5
SF.R 136	RGH	Ge	50	15	120	7	3
						$t_{amb} (Umg)$	
						55°C	100°C
SF.R 151	DO-13	Si	100	2,5	15	0,75	0,4
SF.R 152	DO-13	Si	200	2,5	15	0,75	0,4
SF.R 153	DO-13	Si	300	2,5	15	0,75	0,4
SF.R 154	DO-13	Si	400	2,5	15	0,75	0,4
SF.R 155	DO-13	Si	500	2,5	15	0,75	0,4
SF.R 156	DO-13	Si	600	2,5	15	0,75	0,4
						$t_{case} (G)$	
						55°C	100°C
SF.R 190	RSA	Si	50	75	250	20	20
SF.R 191	RSA	Si	100	75	250	20	20

TABLEAU 81 - SYMBOLES SCHEMATIQUES DES PRINCIPAUX SEMICONDUCTEURS.

TRANSISTOR N-P-N	
TRANSISTOR P-N-P	
TRANSISTOR TETRODE N-P-N	
DIODE REDRESSEUSE A ELECTRODE DE COMMANDE	
DIODE A 4 COUCHES	

DIODE REDRESSEUSE	
DIODE ZENER	
DIODE SYMETRIQUE	
DIODE TUNNEL	
TRANSISTOR UNIJONCTION P-N	

— LES FOURNISSEURS DE VOTRE MATERIEL

ELECTRONIQUE MONTAGE

111, BD RICHARD LENOIR - PARIS XI^e
(métro oberkampf)
SPÉCIALISTE MODULES RÉUSSITE COMPLÈTE
TOUS LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
EXPÉDITION PROVINCE

Amateurs, Installateurs, Dépanneurs,
les valises de dépannage Radio TV Sptés
PAUL sont en vente dans toute la France.
5 modèles.
Adresse de nos Agents sur simple demande.
Spécialités Ch. PAUL - 28, rue Raymond Lefebvre
MONTREUIL (Seine) Tél. : 287-54-16

CIBOT RADIO

1 à 3, RUE DE REUILLY - PARIS 12^e
TEL. : DID. 66-90

TOUT L'OUTILLAGE
POUR L'ÉLECTRONIQUE

Catalogue complet de pièces détachées : 5 F

Catalogue de Kit

Ensemble de pièces détachées

Du poste à galène au téléviseur

EXPÉDITION A LETTRE LUE PARIS-PROVINCE

RADIO-BEAUGRENELLE

6, RUE BEAUGRENELLE - PARIS 15^e
Tél. : 828.58.30
TOUTE LA PIÈCE DÉTACHÉE RADIO
LAMPES-TRANSISTORS-TÉLÉVISION
EXPÉDITION PROVINCE
Envoi du tarif contre 3 timbres-lettre

MIEUX QU'UN CATALOGUE !
Tous ceux qui s'intéressent à la radio se doivent de posséder
le **MENTO ACER**
VÉRITABLE DIGEST DE L'ÉLECTRONIQUE
TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES
TOUTE UNE GAMME DE MONTAGE EN KIT
ACER Envoi contre 6F pour frais
42bis, rue de Chabrol - PARIS 10^e



80 PAGES contre 2.50 en timbres pour frais d'envoi
● HIFI (amplis - HP - tuners FM - enceintes
acoustiques) ● Grand choix de pièces
détachées ● Appareils de mesures ●
Outillage ● Appareils électriques ● De
nombreuses réalisations ● Sur place : un
choix énorme à des prix "champion".

Comptoirs CHAMPIONNET

14, RUE CHAMPIONNET - PARIS 18^e
Tél. ORN. 52-08 - C.C.P. 12.358.30 Paris
Métro : Porte de Clignancourt et Simplon

RETEXKIT

CONSTRUISEZ-LE VOUS-MÊME
KIT POUR RADIO-AMATEURS
KIT D'APPAREILS ÉLECTRONIQUES

Demandez notre catalogue
sans engagement de votre part

TERA-LEC 51, RUE DE GERGOVIE
PARIS-14^e - SEG. 09-00

MAGNETIC-FRANCE SPÉCIALISTE DU "KIT" PIÈCES DÉTACHÉES POUR :

Tuners, magnétophones, amplis, orgue élec-
tronique, chambre d'échos, réverbérateurs.

- Lampes
- Transistors

SERVICES ET CONSEILS TECHNIQUES

175, RUE DU TEMPLE - PARIS-3^e
ARCHIVES 10-74 Métro : Temple, République

COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
Radio-Télévision • Industrie • Télécommande
Chaines Haute Fidélité • Amplis • Tuners FM

RADIO-VOLTAIRE
GROSSISTE OFFICIEL "COPIRIM TRANSCO"
GROSSISTE TUBES INDUSTRIELS "RADIO TECHNIQUE"
155, Avenue Ledru-Rollin, PARIS-11^e ROQ. 98-64
C.C.P. 12.358.30 Paris Métro : Porte de Clignancourt et Simplon

EMY-RADIO

Spécialiste des grandes marques d'importation
Téléviseurs - Récepteurs - Transistors - Magnétophones
Elec. phones - HI-FI - Enceintes acoustiques - Émetteurs
récepteurs - Interphones, etc...
Toutes expéditions en province. Catalogue de nos prix sur
simple demande - 19, rue de l'Ancienne Comédie
PARIS 6^e Tél. : DAN. 63-05

POUR TOUS VOS BESOINS EN COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES ET ENSEMBLES A MONTER SOI-MÊME

AUX CONDITIONS LES PLUS AVANTAGEUSES GRACE A NOTRE FORMULE DE VENTE DIRECTE

Magasins pilotes :

3, RUE LA BOËTIE - PARIS-8^e

9, BD ST-GERMAIN - PARIS-5^e

COGEREL

Départements :

VENTE PAR CORRESPONDANCE

COGEREL - DIJON (cette adresse suffit)

DOCUMENTATION GRATUITE SUR DEMANDE :

Catalogue KITS - CTR 8-493 - Catalogue PD - CTR 9-492

(joindre 4 timbres pour frais d'envoi)

RÉALISEZ VOS
POSTES A TRANSISTORS
**LAMPEMETRE
SIGNAL TRACER**



**CONTROLEUR
UNIVERSEL**



Economie
Sécurité
Réussite
assurée

Pièces détachées, en ensembles
complets, ou séparées avec schéma
et plans très détaillés

Documentation CA - contre 1,20 F en timbres

TECHNIQUE SERVICE

fermé le lundi
Métro
Charonne

17, Passage Gustave-Lepeu, Paris-11 - Tél. : ROQ. 37-71

CENTRAL-RADIO

35, rue de Rome - PARIS 8^e
522 12-00 et 12-01 CCP 728-45

Expédie dans toute la France toutes
les pièces détachées - Appareils de
mesure et l'outillage du Radio-
électricien.

CATALOGUE contre 4 timbres,
conseillers techniques à votre
disposition à nos magasins.

LE GRAND SPECIALISTE

des Petits Montages Récepteurs de Radio
et de la Radiocommande des Modèles Réduits.

- Ouvrages pour débutants -

Envoi du catalogue général contre 3 F

PERLOR-RADIO

16, R. Hérold, Paris (1^{er}) - Tél. CEN. 65-50

POUR
REUSSIR
A
COUP SUR ?
ESSAYEZ AVEC NOS
**SCHEMAS
GRANDEUR
NATURE**

MONTAGES FACILES

AMPLIS GUITARE 3 A 50 W
125 SCHÉMAS DE LAMPES
REMISE 25 à 30%
SUR LAMPES-MAGNÉTOPHONES

Documentation complète c. 4,50 TP

Soc. **RECTA**

37, Av. LEDRU-ROLLIN - PARIS-12^e

NORD RADIO

TOUTES LES PIÈCES DÉTACHÉES ET
ACCESSOIRES DES MEILLEURES MARQUES
A DES PRIX IMBATTABLES

TÉLÉVISEURS - RÉCEPTEURS à transistors
AMPLIS HI-FI - ELECTROPHONES
MAGNÉTOPHONES - INTERPHONES, etc...
Vendus en "KIT" et en ordre de marche.

139, RUE LA FAYETTE, PARIS-10^e
Tél. TRUdaine 89-44 - Autobus et Métro : GARE DU NORD

TOUS LES MAGNÉTOPHONES
(GRUNDIG, PHILIPS, etc.)
TÉLÉVISEURS - ENCEINTES ACOUSTIQUES
PLATINES TOURNE-DISQUES, etc. (Consultez-nous).