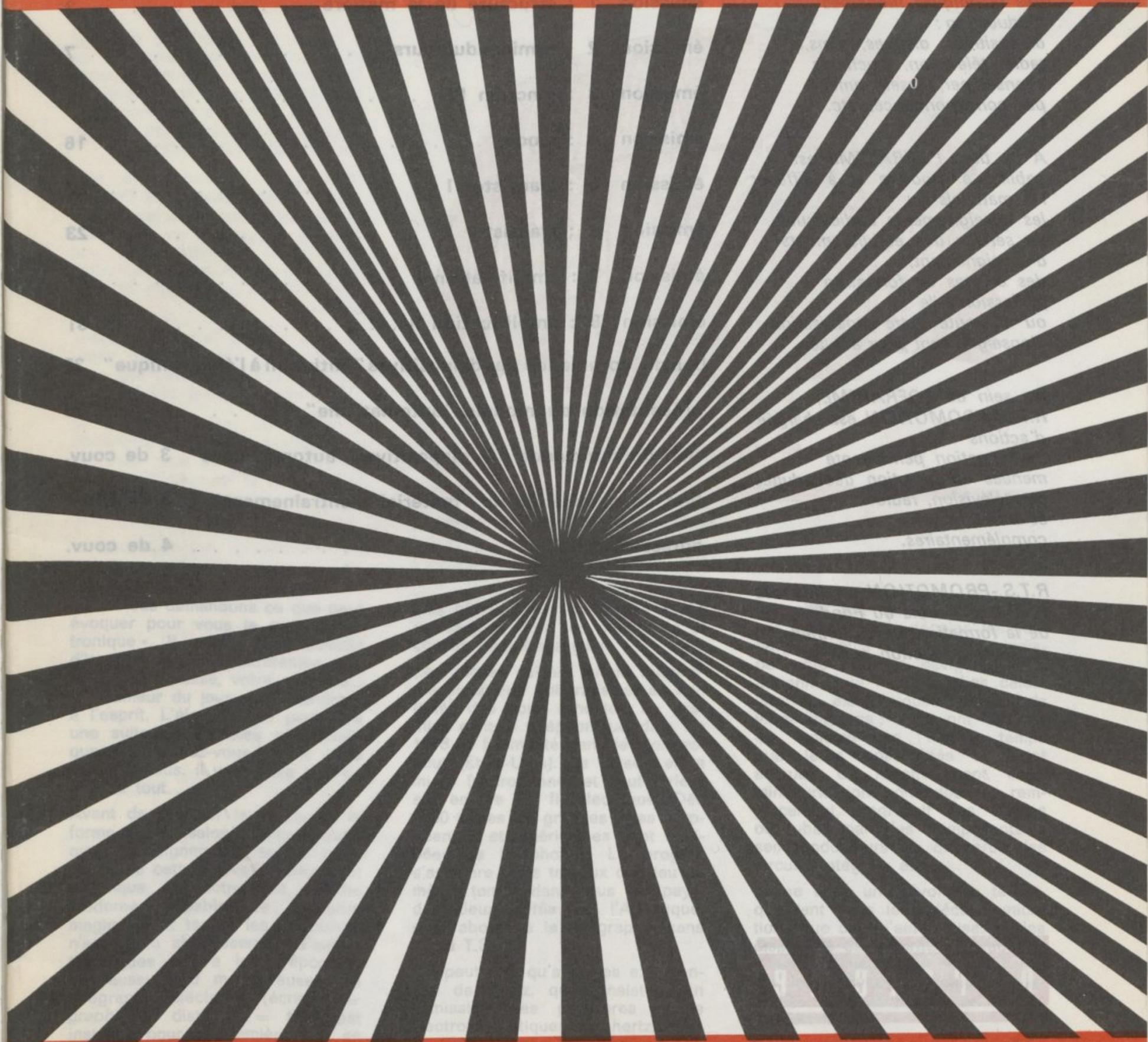


cahiers rts promotion



initiation à l'électronique

de la structure de la matière à l'amplification

OFFICE FRANÇAIS DES TECHNIQUES MODERNES D'ÉDUCATION

sommaire

L'OFRATEME (Office français des techniques modernes d'éducation) est chargé d'étudier, de promouvoir et de développer l'utilisation des techniques modernes d'éducation :
diapositives, disques, films, radio, télévision, machines à enseigner, enseignement par correspondance, etc.

A ce titre, l'OFRATEME est habilité à produire et à diffuser les matériels ou les enseignements audiovisuels au service des établissements d'enseignement, des centres de formation professionnelle ou de toute autre organisation d'enseignement pour adultes.

Au sein de l'OFRATEME, R.T.S.-PROMOTION est chargée d'actions de formation permanente menées en direction des adultes par télévision, radio et autres moyens complémentaires.

R.T.S.-PROMOTION est financée avec le concours du Fonds de la formation professionnelle et de la promotion sociale.

INITIATION A L'ELECTRONIQUE

présentation de la série	1
émission 1 : structure de la matière	3
émission 2 : semiconducteurs	7
émission 3 : jonction PN	11
émission 4 : diode	16
émission 5 : transistor I	20
émission 6 : transistor II	23
émission 7 : amplification I	27
émission 8 : amplification II	31
bon de commande des diapositives "initiation à l'électronique"	35
présentation du module "automatisme"	36
bon de commande des diapositives "automatismes"	3 de couv.
bon de commande du "matériel d'entraînement" .	3 de couv.
adresses utiles	4 de couv.

o f r a t e m e

les Cahiers R.T.S.-Promotion,
publication
de l'Office français
des techniques modernes
d'éducation.

Édition 4^e trimestre 1974

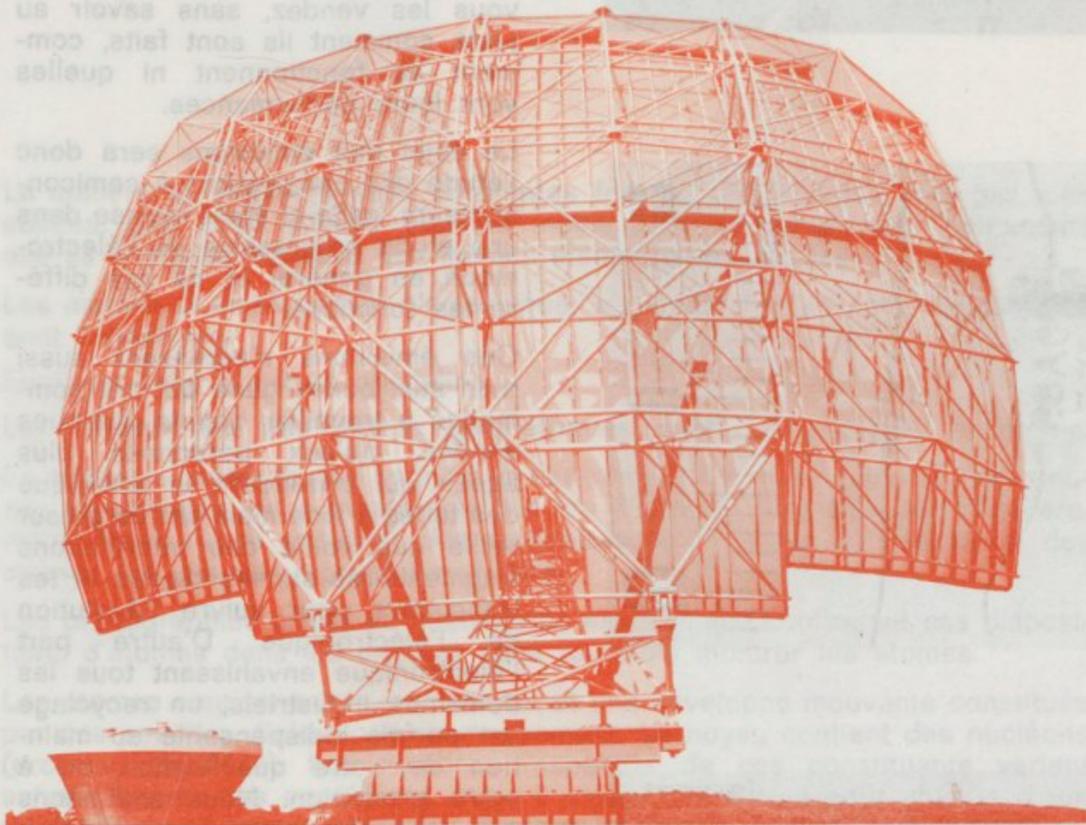
IMP. NAT. 4.568.013.5

Le directeur de la publication : J. Raynaud



initiation à l'électronique de la structure de la matière à l'amplification

présentation de la série



Un radar. Photo Thomson C. S. F. /Cl. Hermil.

Nous nous demandons ce que peut évoquer pour vous le mot « électronique ». Il existe une multitude d'images mentales différentes qui, selon votre passé, votre mémoire... et l'humeur du jour vous viendront à l'esprit. L'électronique peut être une suite de formules mathématiques ; les aimez-vous ? Non, alors rassurez-vous, il y en aura peu ou pas du tout.

Avant de préciser le niveau et la forme des émissions donnons quelques renseignements sur la naissance de cette nouvelle science et technique. L'électronique, mythe moderne, capable de résoudre magiquement toutes les difficultés, n'est qu'un aboutissement d'autres techniques qui, à leurs époques, ont aussi paru merveilleuses. La télégraphie électrique (écriture = graphie, à distance = télé) est installée pour la première fois en 1844 entre Washington et Boston. Le message est transmis par câbles et par courant électrique et sous forme d'un texte écrit en Morse, par traits et points.

Le progrès accompli était énorme puisque auparavant les nouvelles étaient encore transportées à cheval ou par bateau.

Des câbles furent immergés assez rapidement entre les continents et chacun de s'émerveiller.

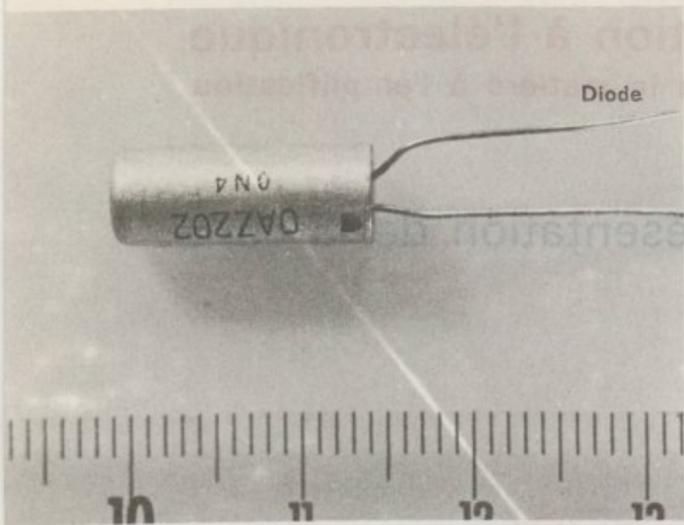
Le progrès suivant fut la téléphonie électrique qui transmet au loin (télé) des sons (phonie). Le premier central téléphonique date de 1878 et fut monté dans le Connecticut (Etats-Unis). La liaison entre micro (microphone) et haut-parleur est encore un fil électrique. Dès 1880 toutes les grandes villes européennes et américaines sont équipées de téléphones. Le progrès s'accélère ; des travaux ont lieu en même temps dans tous les pays, des deux côtés de l'Atlantique, pour aboutir à la télégraphie sans fil ou T.S.F.

On peut dire qu'avec les expériences de Hertz, qui consistent en l'émission des premières ondes électromagnétiques ou hertziennes en 1888, est née l'électronique. Elle fut d'abord un prolongement de l'électricité, puis elle devint la radio-électricité chère à nos parents et grands-parents. La première liaison radio à travers le Pacifique eut lieu en 1915. Aujourd'hui les communications se font entre continents, entre terre et satellites, entre planètes...

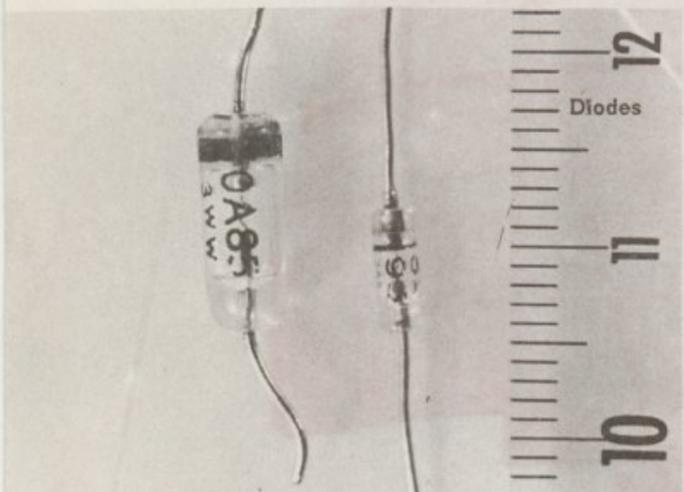
Le radar est utilisé, depuis 1935, sur bateau pour déceler les icebergs. Depuis il est devenu indispensable pour la navigation tant aérienne que maritime. Les calculatrices électroniques datent de vingt-cinq ans ; elles ont diminué de volume en même temps que leurs possibilités se sont accrues. Ce rapetissement, cette miniaturisation sont dus au remplacement progressif des lampes ou tubes par des composants à semiconducteurs qui donneront les circuits intégrés, etc.

Là se situe une révolution technique tant dans les télécommunications que dans l'automatisation, les dispositifs de sécurité et beaucoup d'autres domaines qui couvrent toutes les activités humaines industrielles ou culturelles, de loisirs, de détente.

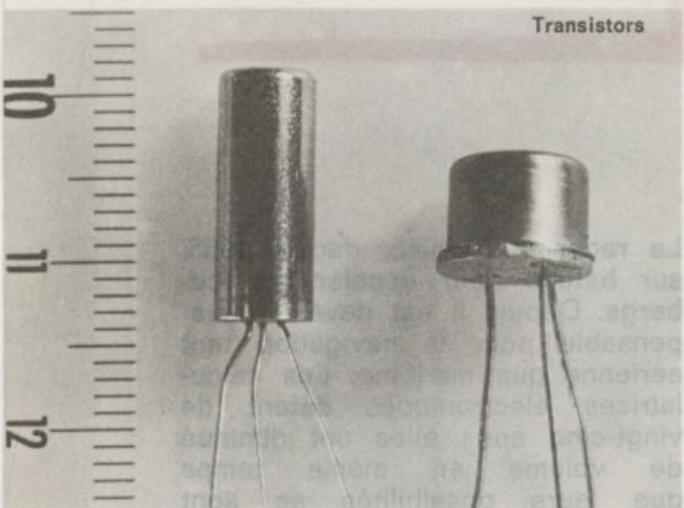
Pensez aux caméras avec cellule photo-électrique, aux postes à transistors tout petits, aux transmissions d'images par Eurovision, aux postes de télévision transportables, aux ordinateurs, aux calculatrices, etc., aux positionnements des machines-outils, aux régulateurs de pression, de température, aux sondes.



Diode



Diodes



Transistors



M. Malfille, réalisateur et Mme Cordier, coordonnatrice responsable de la série, rédactrice des fiches.

Les auteurs scientifiques des émissions sont : MM. Moreau, Mouly, Meau, Latuatti et Blandy du laboratoire de Circuits et Mesures du Conservatoire National des Arts et Métiers. M. Blandy est l'électronicien du groupe de travail inclus dans les émissions. MM. Bouis, Grognet, Goujon et Gauthrot, ingénieurs électroniciens. Les autres membres du groupe étaient des novices en électronique.

L'électronique a trouvé son nom en même temps que son domaine d'application s'étendait bien au-delà de celui de la radio-électricité.

Le transistor a été découvert en 1948 et commercialisé depuis une quinzaine d'années. L'enseignement sur les composants à semiconducteurs ne date que de quelques années dans les écoles françaises. Vous avez donc de fortes chances, vous, téléspectateurs de plus de 25 ans, de n'avoir jamais eu de formation complète sur ces composants. Vous les utilisez, ou bien vous les vendez, sans savoir au juste comment ils sont faits, comment ils fonctionnent ni quelles sont leurs performances.

Le sujet des émissions sera donc l'étude des composants à semiconducteurs, celle-ci étant incluse dans une étude progressive de l'électronique en général et de ses différentes fonctions.

Ces émissions s'adressent aussi bien aux jeunes gens qui ont commencé à travailler depuis quelques années, qu'aux personnes plus âgées qui possèdent la technique des tubes à vide mais ont dû puiser vaille que vaille des informations fragmentaires sur les diodes et les transistors pour suivre l'évolution de l'électronique. D'autre part l'électronique envahissant tous les domaines industriels, un recyclage est parfois indispensable au maintien de votre qualification ou à votre promotion. Nous souhaitons que ces émissions vous aident dans ce réajustement de vos connaissances ; elles seront sûrement insuffisantes pour vous permettre de passer des examens puisqu'elles ne feront pas appel aux mathématiques, mais elles vous permettront de comprendre les éléments que vous utilisez, de les utiliser mieux et de vous assurer, nous l'espérons, un confort moral dans l'exercice de votre profession. Elles permettent d'amorcer un recyclage plus important si elles sont complétées par d'autres travaux.

bibliographie

Cours d'électricité permettant d'aborder l'électronique dans un but professionnel, en dehors des manuels scolaires :

1° BLEUTER et FAYOLLE : *Cours d'électricité pour électroniciens*, société des éditions Radio, 9, rue Jacob, Paris 6° - Niveau B. E. P. C.-C. A. P.

2° Cours programmé d'électricité avec matériel d'expérience associé : « *Practonic* », 3 volumes d'électricité (et ensuite 2 volumes d'électronique). PRACTRONIC (CREDESME-PHILIPS), 162, rue Saint-Charles, Paris 15°. (environ 1000 F en 1970). Niveau d'agent technique, excellent pour apprendre seul, néanmoins manque d'exercice de synthèse.

3° Cl. GRANDFILS : *Cours de base d'agent technique électronicien*, tome 1 ; éditions Chiron, 40, rue de Seine, Paris 6° — Cours très complet pour apprendre l'électricité et l'électronique.

Chaque émission comprendra des schémas, des dessins animés, des expériences, des travaux de groupe de téléspectateurs. Les spécialistes vous expliqueront ce qui se passe dans les cristaux à l'échelle des atomes et des électrons à l'aide de dessins animés. Les mesures faites dans les expériences permettront d'établir des graphiques qui seront ensuite utilisés.

Le travail du groupe vous aidera à comprendre le langage technique spécialisé et à assimiler les notions nouvelles.

Il faudra des notions de physique et d'électronique pour expliquer les fonctions que rempliront les composants. Nous vous les exposerons au fur et à mesure des nécessités. Vous aurez ainsi un cours de base sur l'électronique moderne.

Nous vous demandons la plus grande fidélité possible à l'écoute de ces émissions et au travail des fiches qui forment un tout. Ces fiches vous permettront par une lecture, avant et après l'émission, une meilleure assimilation de chaque sujet.

Si vous pouvez faire des travaux pratiques, en montant des expériences, vous acquèrerez des connaissances beaucoup plus solides.

Il existe du matériel simple et accessible à tous, accompagné de notices explicatives pour faire les expériences et les mesures correspondantes. Nous vous en indiquons quelques-uns à titre d'exemple.

R.T.S.-Promotion favorise aussi la constitution de groupes de téléspectateurs désirant travailler ensemble sur une série d'émissions.

Renseignez-vous, si cela vous intéresse, pour savoir si l'un de ces groupes fonctionne dans votre région.



objet de l'émission

La matière se présente sous différentes formes, des liquides, des gaz, des solides, des êtres vivants plus ou moins gros et complexes ; néanmoins elle se compose toujours des mêmes éléments, les atomes.

Les matériaux employés en électronique, les métaux et les semi-conducteurs sont cristallisés.

Étudions donc la nature cristalline.

Les cristaux ont des formes géométriques, avec faces planes et arêtes.

En tenant compte de ces formes et des résultats acquis dans de nombreuses expériences, on a pu montrer que les atomes y sont disposés régulièrement. Nous avons construit des maquettes pour figurer la disposition des atomes les uns par rapport aux autres.

Les photographies prises au microscope électronique confirment ces dispositions d'atomes dans les cristaux sans toutefois montrer les atomes.

Les atomes contiennent tous un noyau et une enveloppe mouvante constituée par des couches d'électrons en mouvement. Le noyau contient des nucléons (protons, neutrons). Les nombres respectifs de ces constituants varient suivant les atomes considérés, mais il existe néanmoins pour chacun d'eux un équilibre électrique entre les charges positives et les charges négatives.

Le proton contient une charge positive, l'électron une charge négative égale à l'autre et de signe contraire, mais le proton est beaucoup plus lourd que l'électron.

Pour que l'électron puisse sortir de la zone d'influence du noyau et devenir « quasi libre », tout en restant dans le cristal, il faut lui apporter de l'énergie.

Celle-ci lui permet de s'éloigner du noyau et de s'en détacher.

Les matériaux se classent en conducteurs, isolants et semi-conducteurs.

Si on apporte une énergie suffisante à l'électron, il peut sortir du cristal. Cet apport d'énergie peut se faire sous forme de chaleur, de lumière... La cellule photo-électrique met en application ce dernier phénomène.

Monsieur Gérard Blandy, l'« électronicien de service » qui répond lors des émissions aux questions des adultes du groupe de travail. Monsieur Blandy est ingénieur en électronique et maître assistant au laboratoire des Circuits et Mesures du Conservatoire National des Arts et Métiers.

M. Weill

M. Kimmerling

M. Malfille

M. Blandy

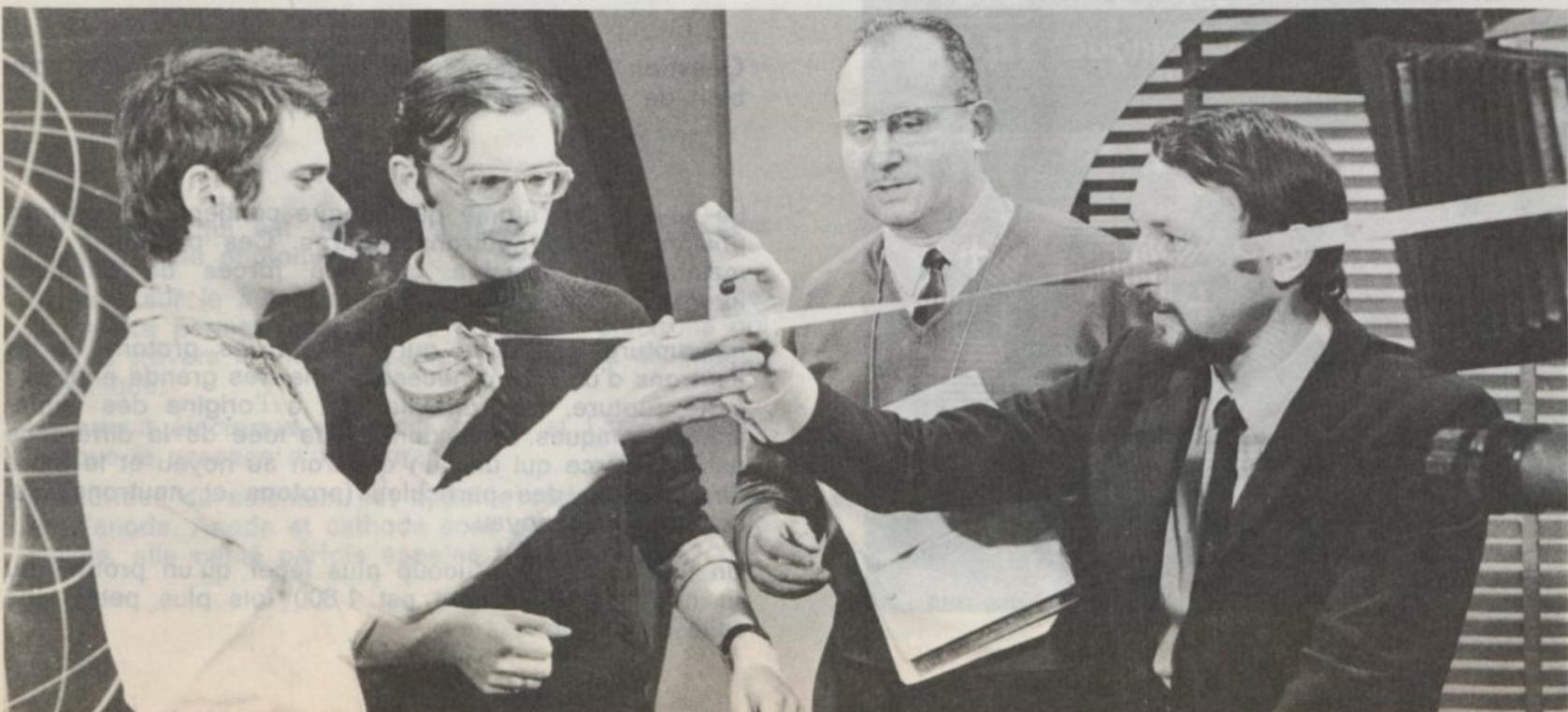
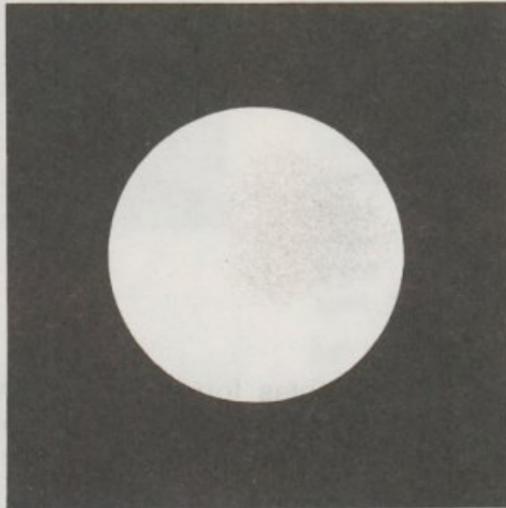
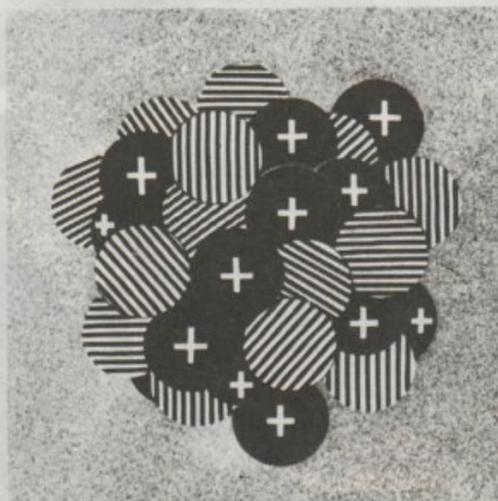
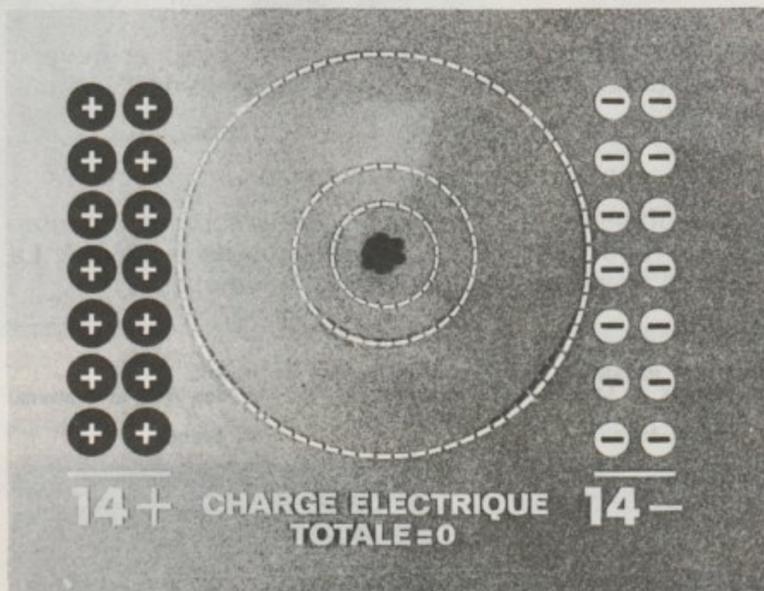
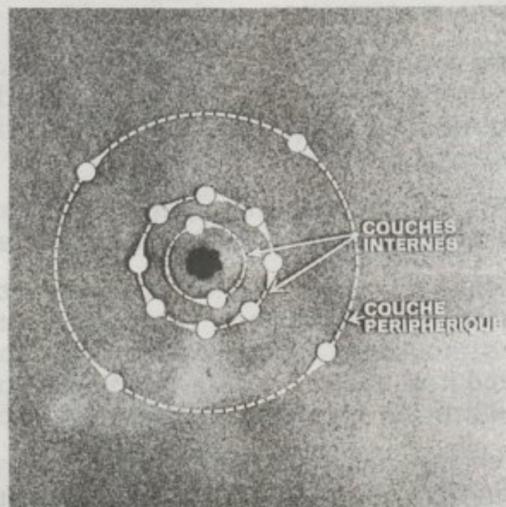


Photo de tournage.

Un atome.



Le même atome (structure interne).



Noyau.

contenu de l'émission

- La nature cristalline.
- La composition et l'équilibre électrique de l'atome.
- L'énergie nécessaire pour libérer un électron de l'atome, électrons quasi libres et libres.
- Position du semi-conducteur entre isolants et conducteurs : expérience.

L'atome peut être considéré comme une boule. En réalité il n'est pas sphérique ni plein. Les particules qui le constituent occupent très peu de place, et sont très éloignées les unes des autres. Les électrons se déplacent très vite en suivant approximativement des surfaces fermées qui entourent le noyau.

Question 1 : Tous les atomes contiennent-ils 14 électrons ? Le nombre d'électrons est-il indifférent ?

Dans l'atome de silicium il y a 14 électrons négatifs et, dans le noyau, 14 protons positifs.

Il y a équilibre entre les charges électriques de signes opposés à l'intérieur de l'atome.

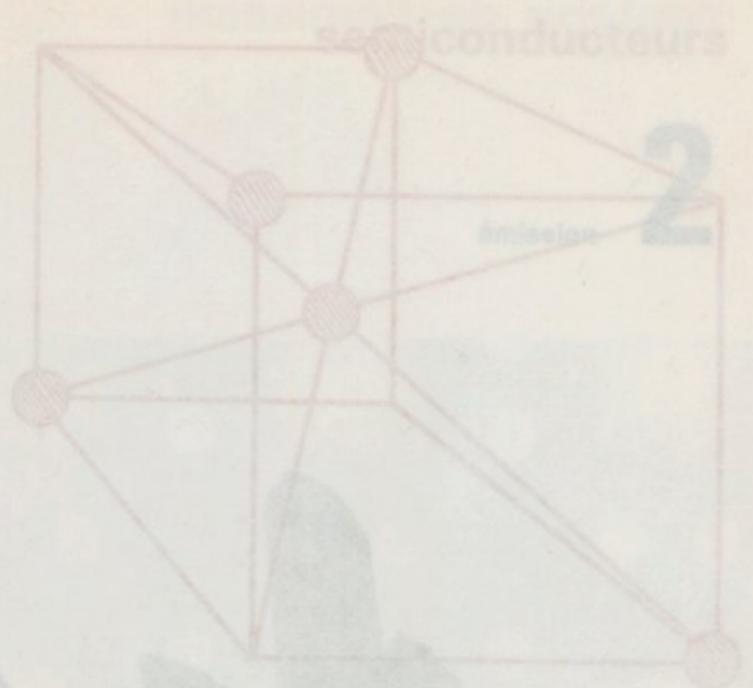
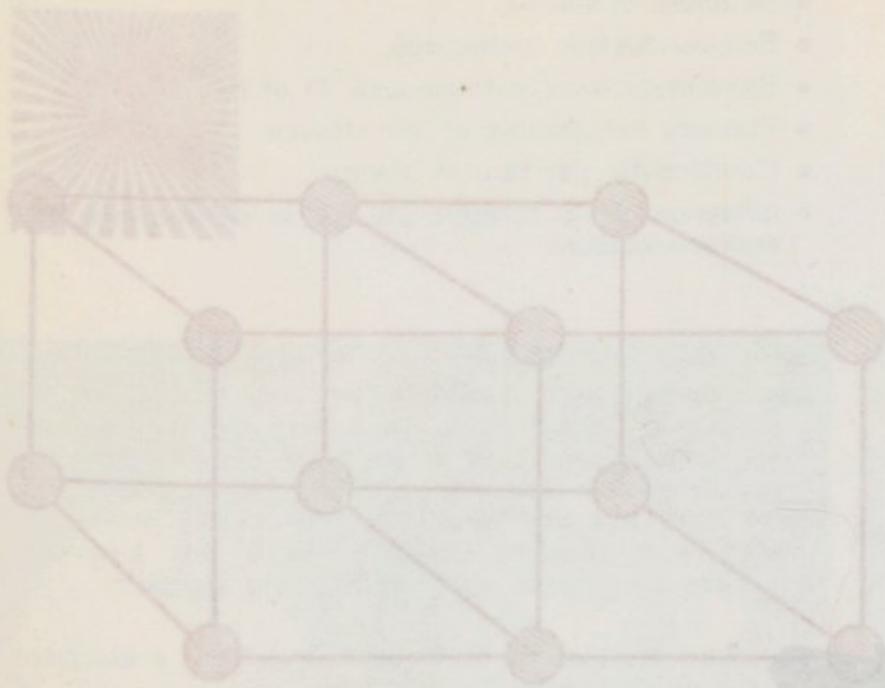
La charge d'un électron et d'un proton est la même au signe près.

Question 2 : Le germanium possède 32 électrons, combien de protons contient le noyau ?

Le noyau d'un atome quelconque contient des protons positifs et des neutrons neutres. Ces particules sont maintenues ensemble par des forces de cohésion intenses.

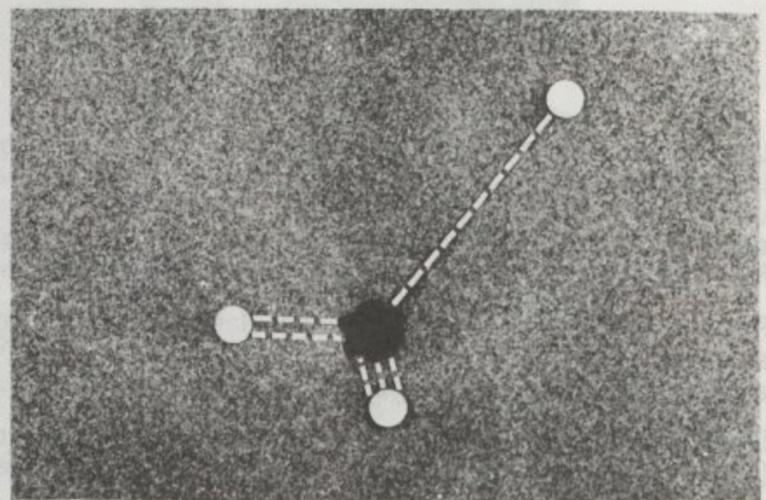
La rupture des liens qui unissent les protons et les neutrons d'un noyau nécessite une très grande énergie ; cette rupture, très difficile, est à l'origine des explosions atomiques. Cela donne une idée de la différence entre la force qui unit un électron au noyau et la force de cohésion des particules (protons et neutrons) qui constituent le noyau.

Un électron est beaucoup plus léger qu'un proton (ou un neutron). Sa masse est 1 800 fois plus petite que celle du proton.



Lorsque de l'énergie est fournie à l'atome, elle est captée par un ou plusieurs électrons.

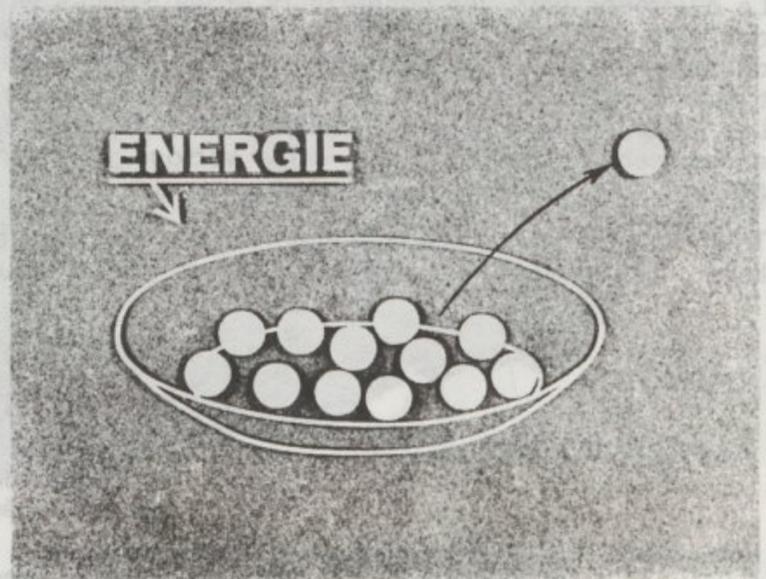
Ils s'éloignent du noyau et gravitent sur des orbites de plus en plus grandes. La force qui les relie au noyau diminue à la limite. L'électron peut se déplacer librement à l'intérieur du cristal. Il est devenu quasi libre.



Question 3 : Sous quelle forme l'énergie peut-elle être apportée à l'atome, selon vous ?

La surface du cristal agit comme le bord d'une assiette vis-à-vis des billes qu'elle contient. Pour que les électrons puissent franchir la « barrière » constituée par cette surface, il faut leur fournir une énergie supplémentaire que l'on appelle parfois « travail de sortie ».

L'électron sorti du cristal devient alors un électron libre. Cela se produit dans un tube cathodique ou une diode à vide.

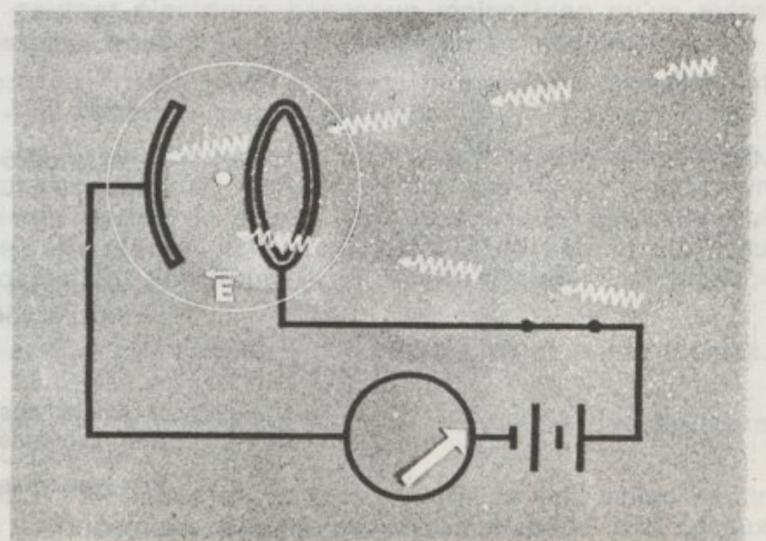


La lumière, qui est une des formes de l'énergie, est constituée de photons.

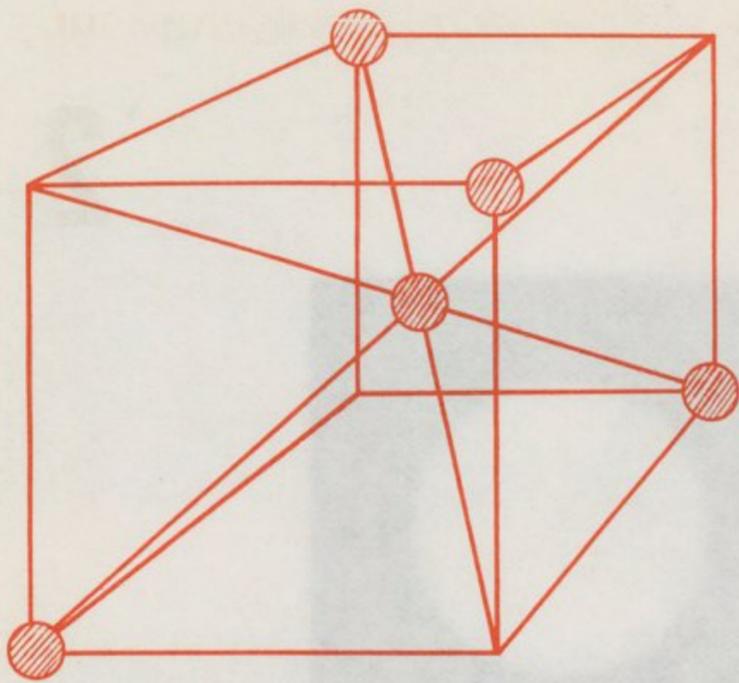
Arrivant sur le sélénium d'une cellule photo-électrique, la lumière permet le départ de nombreux électrons qui vont, à travers le vide de l'ampoule, jusqu'à un anneau métallique.

Le circuit électrique est alors fermé et l'ampèremètre indique le passage d'un courant.

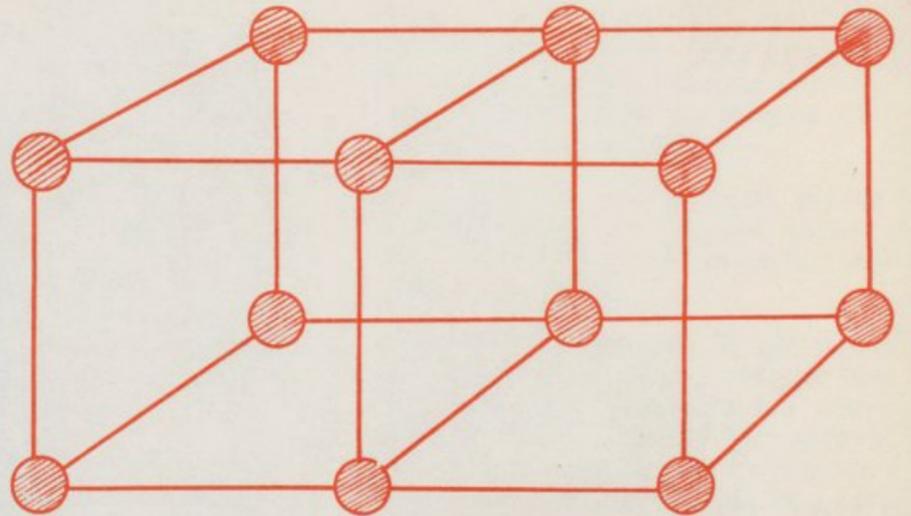
La surface du sélénium est appelée cathode ; l'anneau est l'anode. Anode et cathode sont les électrodes de la cellule, elle-même parfois appelée tube ou lampe.



Cellule photo-électrique bombardée par des photons.



Disposition des atomes dans un cristal de système cubique



2 mailles

Autre disposition possible

Les cristaux ont des structures internes géométriques. Les motifs élémentaires ou unitaires qui se répètent les uns à côté des autres sont des mailles. Les atomes sont unis par des forces de cohésion très fortes, qui font intervenir les mécanismes des liaisons chimiques.

Pour avoir une idée de la taille des mailles, il faut savoir que dans un cristal de silicium il y a $4,96 \times 10^{22}$ atomes par centimètre cube.

Dans un cristal on ne peut distinguer les molécules (assemblages d'atomes ayant une individualité propre).

La différence entre les conducteurs et les isolants vient des électrons quasi libres qu'ils contiennent. Les conducteurs (le cuivre par exemple) ont beaucoup d'électrons quasi libres, même à très basse température. Les isolants n'en ont pas quelle que soit la température et les semi-conducteurs, que nous verrons plus tard, en ont quelques-uns à température ordinaire.

Tous les conducteurs électriques solides sont cristallisés ; fer, acier, aluminium, cuivre sont des cristaux.

Lorsque de l'énergie est fournie à l'atome, elle est captée par un ou plusieurs électrons. Les électrons du noyau se déplacent sur des orbites de plus en plus grandes. La force qui les attire au noyau diminue à la limite. L'électron peut se déplacer librement à l'intérieur du cristal. Il est devenu "quasi libre".

réponses aux questions

- 1° Les atomes de silicium contiennent tous 14 électrons, mais les atomes de cuivre, germanium, oxygène... contiennent chacun un nombre d'électrons caractéristique de la substance. Par exemple l'oxygène a 8 électrons autour de son noyau...
- 2° Le germanium qui contient 32 électrons a un noyau contenant 32 protons (positifs) car ainsi la charge électrique totale de l'atome est nulle.
- 3° L'énergie peut être apportée sous forme de chaleur, de lumière, de rayonnements divers, etc.

bibliographie

1° Il existe deux ouvrages qui indiquent, avec beaucoup de précision, comment réaliser des expériences d'électricité et d'électronique.

Nous les recommandons aux amateurs débutants ayant assez de ténacité (au moins quinze ans... pas de limite d'âge supérieure !). Il est parfois préférable de travailler entre camarades, à deux ou à trois...

Il s'agit de :

— *A la découverte de l'électronique* de F. HURE (200 manipulations simples), à commander à : Librairie parisienne de la Radio ; 43, rue de Dunkerque - Paris-10°.

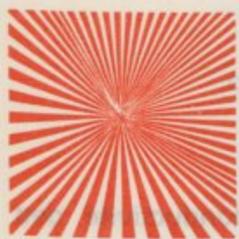
— *Montages simples à transistors* de F. HURE (récepteurs, amplificateurs, montages divers), à commander à la même adresse.

Il existe aussi, dans les magasins de jouets scientifiques, des boîtes comprenant des schémas et toutes les pièces pour effectuer les montages.

Prix variables selon la marque (Philips, Schlumberger...).

2° P. THUREAU : *Electronique de base*, Foucher édit., 128, rue de Rivoli, Paris-1^{er}.

A l'usage des non-électroniciens mais des techniciens ayant des bases scientifiques ; pour les mécaniciens, électrotechniciens, chimistes qui n'ont pas reçu de formation d'électronique. Niveau B.T.S. ou baccalauréat.



Chalcopyrite sur Quartz.
Document Ecole nationale des Mines de Paris.

objet de l'émission

Le silicium conduit le courant électrique beaucoup moins bien qu'un métal mais beaucoup mieux qu'un isolant. Le silicium est un semiconducteur.

Tout semiconducteur est un cristal. Nous étudions la structure cristalline et nous la représentons « en volume » puis « en plan ».

A -273°C ou zéro absolu, la conductivité d'un semiconducteur est nulle, c'est-à-dire que le semiconducteur se comporte alors comme un isolant. Un apport d'énergie extérieure permet le départ d'un ou plusieurs électrons qui deviennent quasi libres ; les places qu'ils occupaient dans l'architecture du cristal sont vides et constituent des trous. Il en résulte ensuite une conductivité du cristal par trou et électron.

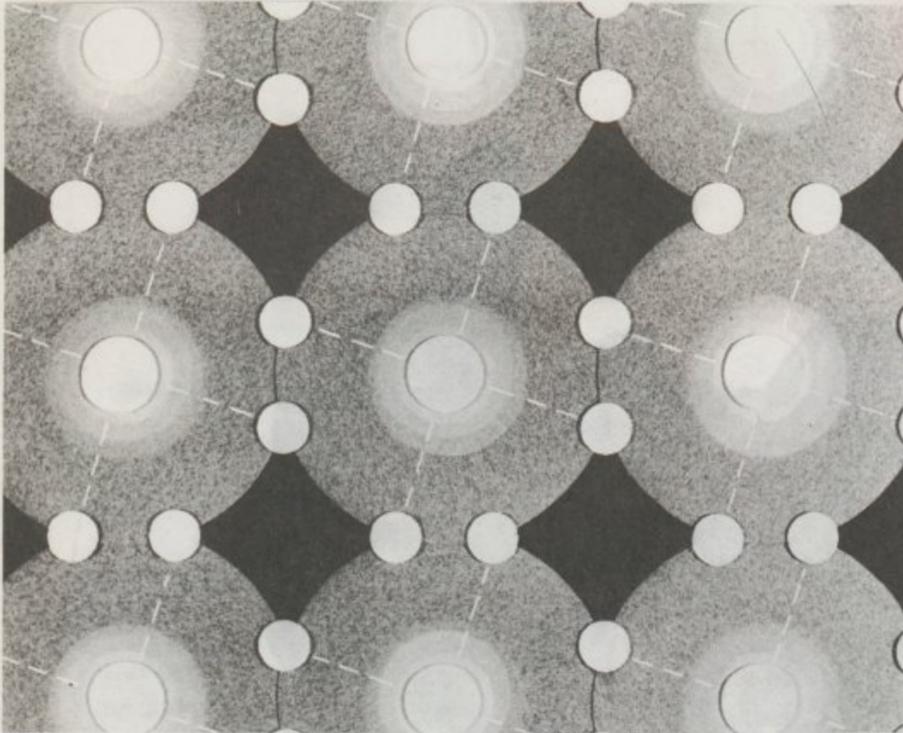
Cette conductivité est accrue par l'addition d'impuretés tri et pentavalentes. Le semiconducteur est alors dopé.

Suivant la nature du dopage le cristal est N ou P, contenant des porteurs majoritaires négatifs ou positifs.

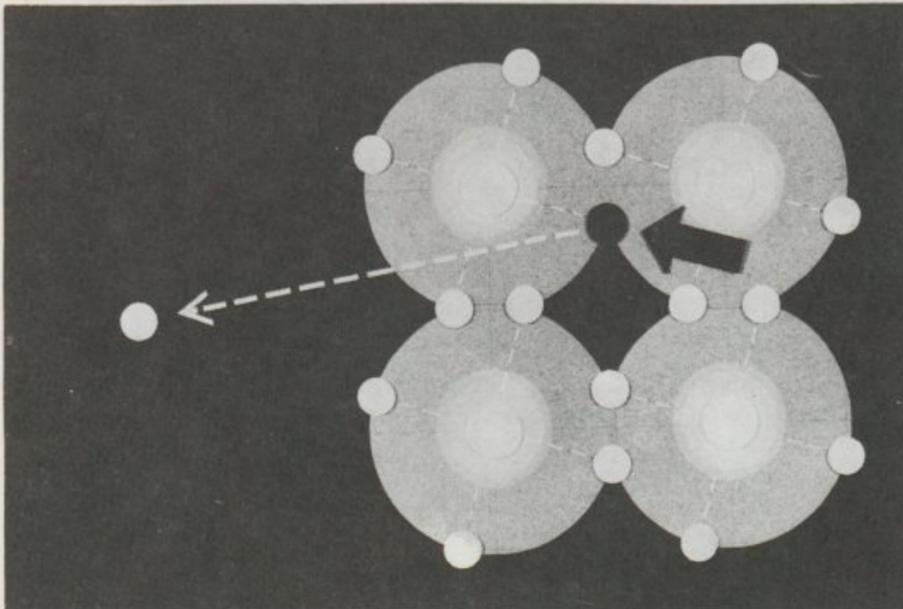
Dans les cristaux N et P l'influence de la température se fait moins sentir que dans les cristaux intrinsèques, néanmoins la climatisation des locaux contenant les ordinateurs est nécessaire.

Nous étudions expérimentalement l'effet thermique et nous en déduisons la propriété caractéristique des semiconducteurs.

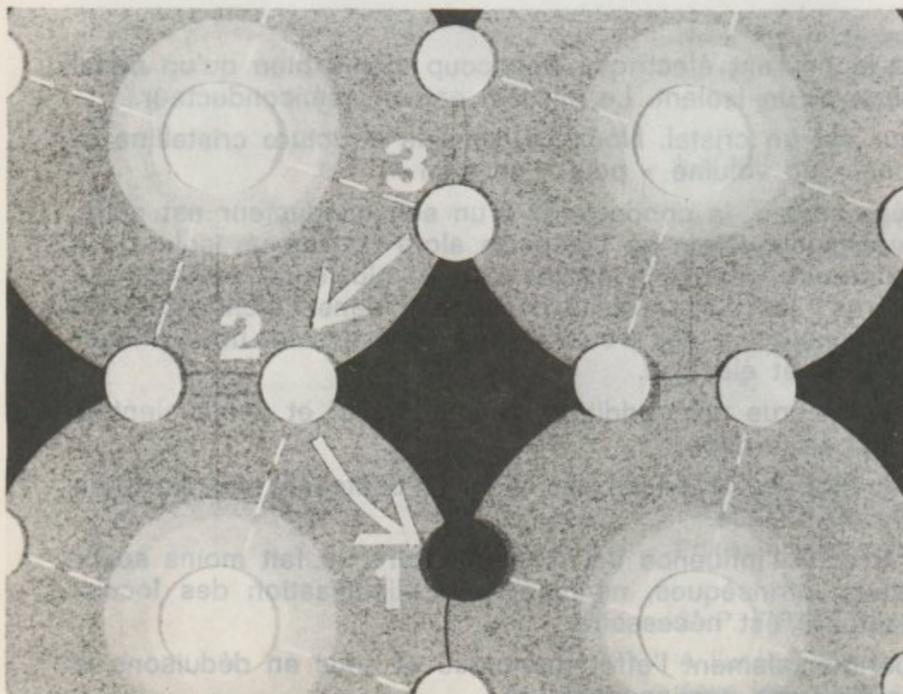
contenu de l'émission



Température < -100 °C.



Température > -10 °C.



- Structure cristalline.
- Semiconducteur intrinsèque.
- Semiconducteurs extrinsèques, N et P.
- Porteurs majoritaires et minoritaires.
- Conductivité par trou et électron.
- Influence de la température sur la conductivité des semiconducteurs.

silicium pur ou intrinsèque

Le semiconducteur employé en électronique est un **monocristal**. Tous les atomes sont disposés régulièrement, **sans le plus petit défaut** ou le moindre dérangement, dans toute l'étendue du cristal. Les atomes échangent entre eux des électrons (de valence) pour compléter leurs couches périphériques à huit électrons. Les liens ainsi créés sont extrêmement solides.

Question 1 : L'atome isolé a-t-il seulement 4 électrons autour de son noyau ?

Question 2 : Les atomes sont-ils réellement disposés dans les cristaux comme sur le dessin ?

Silicium, germanium... ont tous 4 électrons périphériques comme sur le dessin. C'est une caractéristique des semiconducteurs.

A basse température, le semiconducteur est un isolant parfait.

Sous l'action d'une énergie venue de l'extérieur, les électrons vibrent et l'un d'eux peut s'échapper. Il part et laisse un trou.

Il est devenu quasi libre car il reste à l'intérieur du cristal. Il cesse d'appartenir à un atome donné ; il circule vite et d'un mouvement désordonné (aléatoire).

Question 3 : Quelles sont les différentes sortes d'énergie nécessaires à cette agitation et à ce départ d'électron ?

Lorsqu'un trou est apparu, un électron voisin, ayant capté lui aussi de l'énergie incidente, quitte sa place et se glisse dans le trou 1. Puis un autre électron occupe le trou 2 ainsi libéré. Le trou 3 apparaît alors.

Question 4 : Considérez les déplacements d'électrons, puis l'ordre d'apparition des trous successivement libérés. Sont-ils dans le même sens ?

Question 5 : Peut-on dire qu'un trou s'est déplacé ?

En fait, le trou, charge positive, se déplace aussi librement que l'électron quasi libre et décrit des trajectoires désordonnées.

L'existence du « trou » mobile est prouvée par des expériences. Actuellement, dans le monde scientifique, elle n'est pas plus remise en question que celle de l'électron, bien que leurs natures profondes soient inconnues de tous, même les plus savants.

Il est rassurant de savoir qu'à ce degré de recherche, même les savants les plus avertis ne puissent se prononcer avec certitude.

Electrons quasi libres et trous sont les « porteurs » de courant. Leur déplacement constitue le courant électrique. A chaque trou correspond un électron ; on dit qu'il y a des paires « électron-trou », même s'ils sont très éloignés.

Dans un **cristal intrinsèque** de silicium (ou germanium...), il y a **autant d'électrons quasi libres que de trous**.

silicium «dopé» ou extrinsèque

Considérons les deux cas, c'est-à-dire les deux genres de cristaux dopés.

Cristal de type P.

Un semiconducteur de type P contient des traces infimes, quelques atomes, d'un élément trivalent, ayant 3 électrons périphériques. Prenons un exemple de cristal P avec de l'indium (In), il contient 1 atome d'indium pour 1 à 10 milliards d'atomes de silicium (ou germanium ou composés intermétalliques ayant des propriétés voisines).

L'indium a 49 électrons en plusieurs couches. Il a 3 électrons sur sa couche périphérique alors que le silicium (ou le germanium) en a 4.

Le remplacement d'un atome de silicium par un atome d'indium laisse une place inoccupée dans l'architecture du cristal. Un premier électron se déplace, occupe la place et libère un trou, etc.

Il y a donc un trou disponible dans le cristal chaque fois qu'un atome d'indium a été introduit et a pris la place d'un atome de silicium.

Question 6 : La charge électrique du noyau de cet atome d'indium équilibre-t-elle les charges portées par les électrons qui l'entourent ?

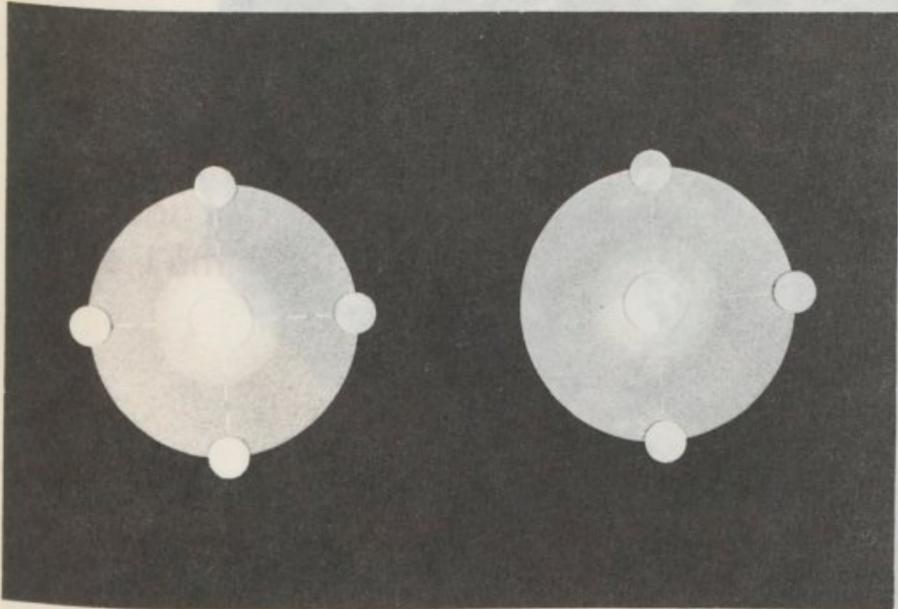
Dans le silicium dopé à l'indium, il y a un excès de trous par rapport aux électrons quasi libres. **Les trous sont les porteurs majoritaires** (par rapport aux électrons quasi libres). Le cristal qui a les trous (positifs) comme porteurs majoritaires est un cristal P.

Cristal de type N.

Un semiconducteur de type N contient quelques atomes pentavalents (valence 5), comme l'antimoine ou le phosphore.

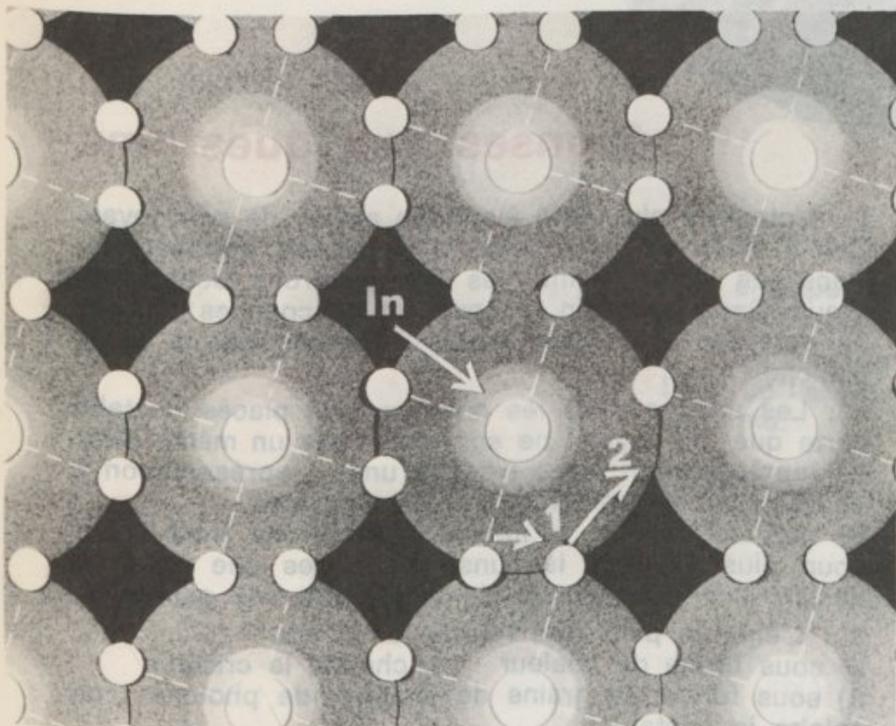
L'antimoine Sb a 5 électrons périphériques ; quand il remplace 1 atome de silicium, l'architecture du cristal en utilise seulement 4. Le cinquième s'échappe dès l'apport d'une énergie faible extérieure et assure la conductivité du cristal.

Question 7 : Lorsque le cinquième électron périphérique de l'antimoine est parti, l'équilibre électrique est-il assuré autour du noyau d'antimoine ?

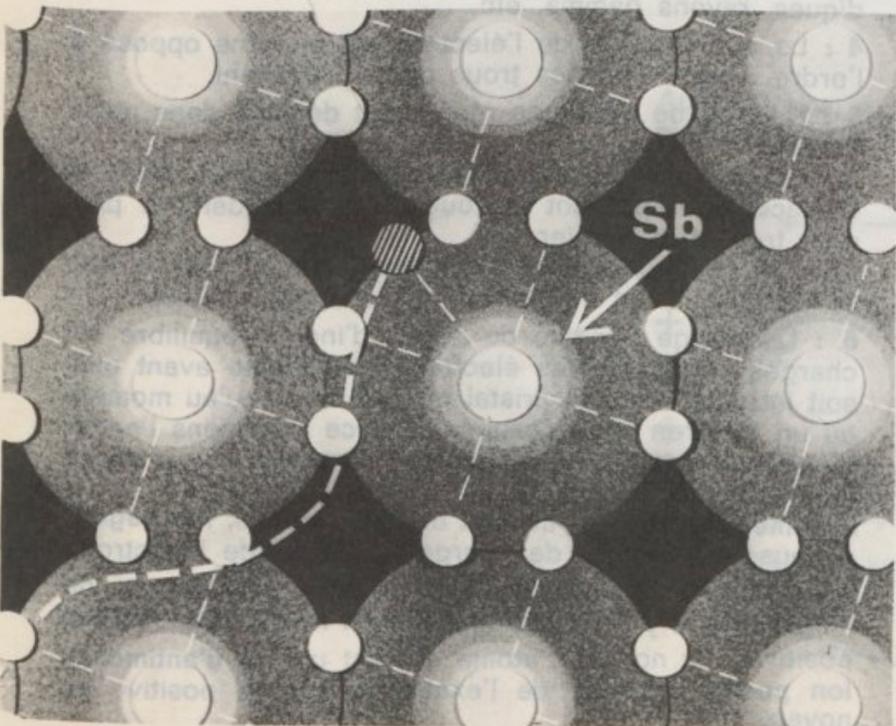


Silicium Si

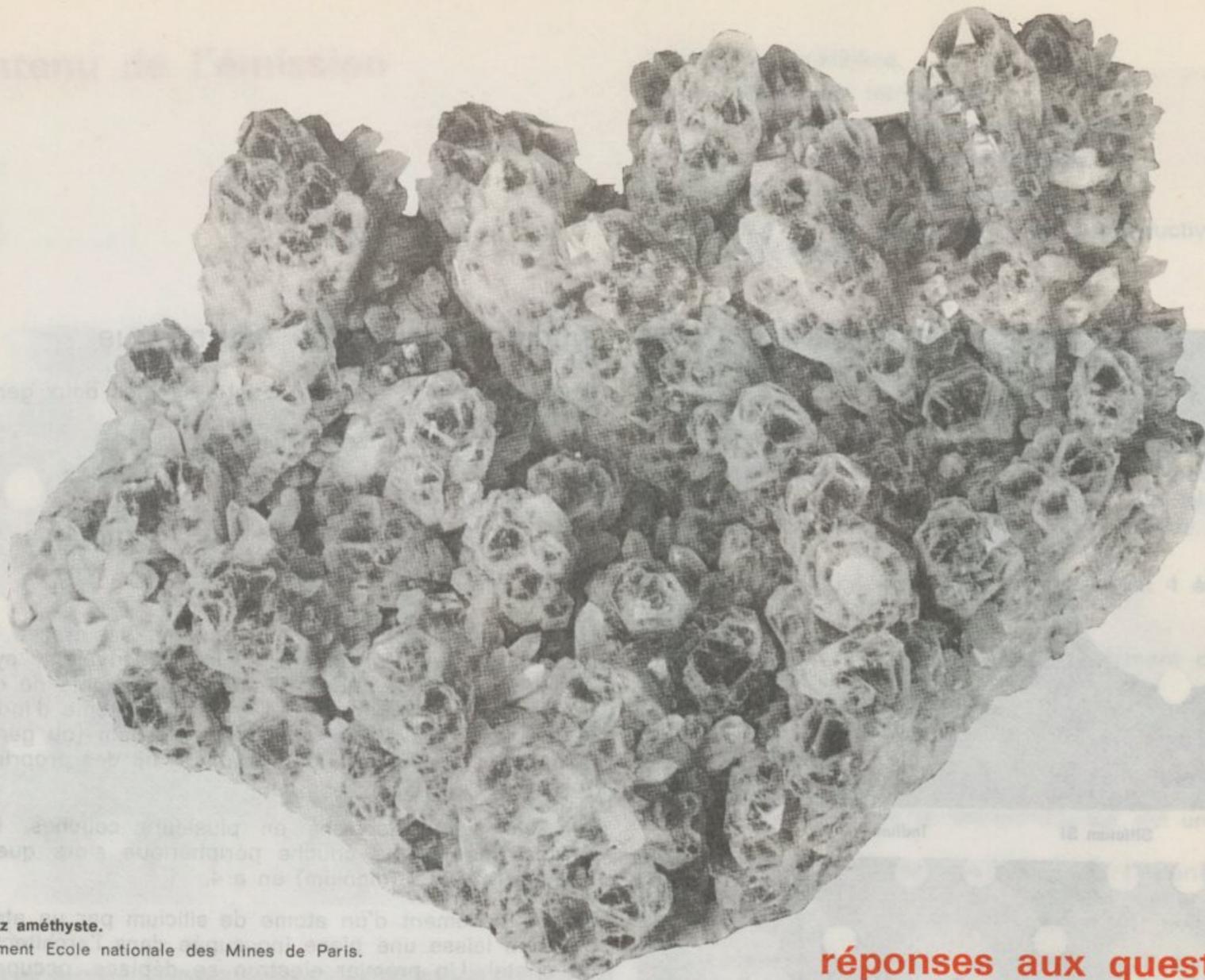
Indium In.



Semiconducteur de type P (température ambiante).



Semiconducteur de type N (température ambiante).



Quartz améthyste.

Document Ecole nationale des Mines de Paris.

réponses aux questions

Le cristal dopé à l'antimoine a plus d'électrons quasi libres que de trous. Les électrons sont alors les porteurs majoritaires (négatifs). Le cristal est alors de type N.

Les trous sont donc des porteurs minoritaires dans ce cas.

La température influe moins sur les cristaux dopés P et N, dits extrinsèques, que sur les cristaux purs dits intrinsèques.

Dans le cristal pur, les porteurs, paires « électron-trou », sont dus uniquement à la chaleur fournie lors de l'élévation de température ; leur nombre augmente quand celle-ci croît. A 27 °C, il y a une paire électron-trou pour un milliard d'atomes.

Dans le cristal extrinsèque, les porteurs sont dus essentiellement aux impuretés (indium ou antimoine par exemple) ; chaque atome d'impureté donne un porteur dès que la température est suffisante (— 50 °C). A température ordinaire le nombre des porteurs est égal au nombre des atomes d'impuretés plus deux fois le nombre des paires « électron-trou » dues à l'élévation de température. Comme ce dernier nombre est au moins mille fois plus petit que le premier, l'influence de la température est faible. Par ailleurs un cristal dopé est beaucoup plus conducteur qu'un cristal pur ou intrinsèque.

bibliographie

niveau cadre-B. T. S. :

R. BESSON : *Technologie des composants électroniques*, Editions Radio, 9, rue Jacob, Paris-6°. (Tome II : diodes - transistors - circuits intégrés).

Etude approfondie des semiconducteurs et composants avec leurs utilisations possibles en fonction de leurs propriétés.

● Fiche établie par Denyse Cordier.

1 : L'atome a plus de 4 électrons autour de son noyau. Ces 4 électrons sont ceux de la couche périphérique. Dans les couches internes les électrons sont nombreux. Dans le dessin, le noyau et les couches internes (la carcasse) sont représentés ensemble par la tache blanche.

2 : Les atomes dans les cristaux sont placés de telle sorte que les noyaux ne sont pas dans un même plan. La représentation plane n'est qu'une « représentation » choisie pour sa commodité et sa simplicité.

En fait, les noyaux, et même les électrons, sont beaucoup plus éloignés les uns des autres que dans ce dessin. Il y a beaucoup de vide entre ces particules.

3 : L'énergie peut être fournie au cristal :

- a) sous forme de chaleur : on chauffe le cristal ;
- b) sous forme de grains de lumière, de photons : on éclaire le cristal ;
- c) sous forme de radiations : rayons X, rayons cathodiques, rayons gamma, etc.

4 : Le déplacement de l'électron est en sens opposé à l'ordre d'apparition des trous qui en résultent.

5 : Un trou ne s'est pas réellement déplacé dans notre dessin.

Il y a remplacement successif d'un trou par un autre et déplacement apparent surtout si on considère le premier trou et le dernier.

Pour la commodité des explications on dit que le trou se déplace. Il est concrétisé par le signe + (plus).

6 : La charge positive du noyau d'indium équilibre les charges négatives des électrons de l'atome avant qu'il soit introduit dans le cristal et ensuite jusqu'au moment où un électron vient occuper la place libre dans l'architecture du cristal. Ensuite autour du noyau il y a excès d'un électron.

L'atome d'indium est devenu un ion d'indium, ion négatif à cause de l'excès de charge négative (de l'électron).

7 : Lorsqu'un électron quitte la couche périphérique de l'antimoine, il y a un déséquilibre en faveur des charges positives du noyau. L'atome devient un ion d'antimoine, ion positif à cause de l'excès de charge positive du noyau.



indications à lire
avant la réception
de l'émission

jonction PN

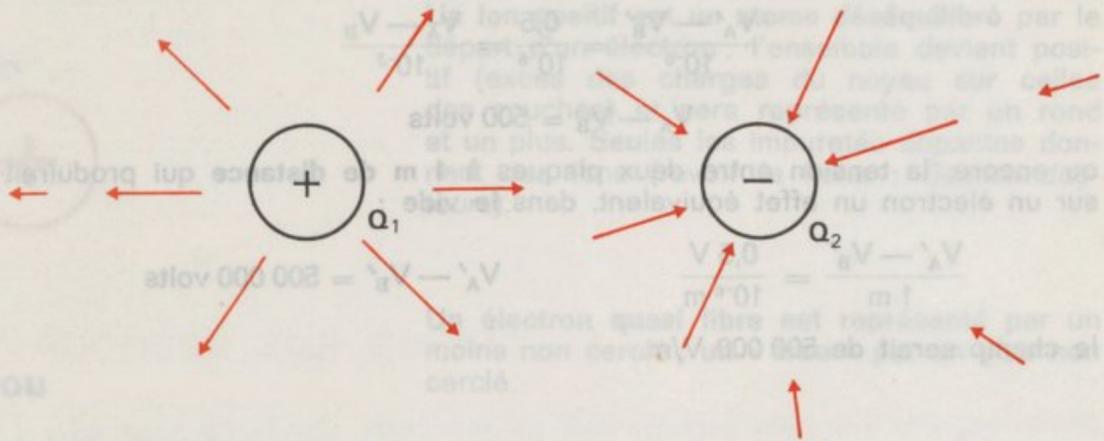
3

émission

Lorsqu'une charge électrique Q , négative ou positive, est isolée dans l'espace, elle crée autour d'elle un **champ électrique invisible mais agissant** sur toute autre charge électrique q qui s'y trouve.

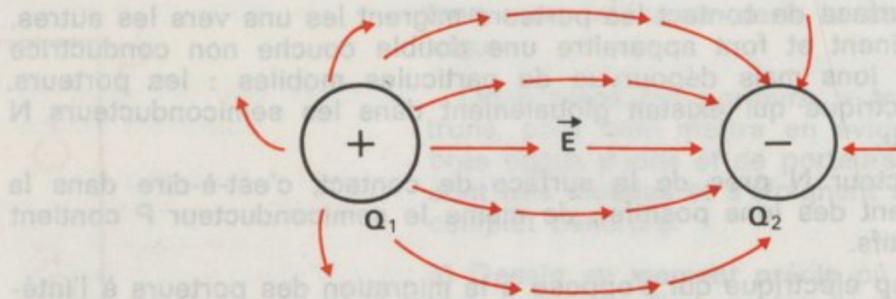
Une charge électrique positive Q_1 (ion d'antimoine, trou) crée un champ « vers l'extérieur de Q_1 », en chaque point de l'espace.

Une charge électrique négative Q_2 (ion indium, ensemble d'électrons sur une plaque de condensateurs) crée un champ « vers Q_2 ». On matérialise les champs par des flèches sur les dessins.

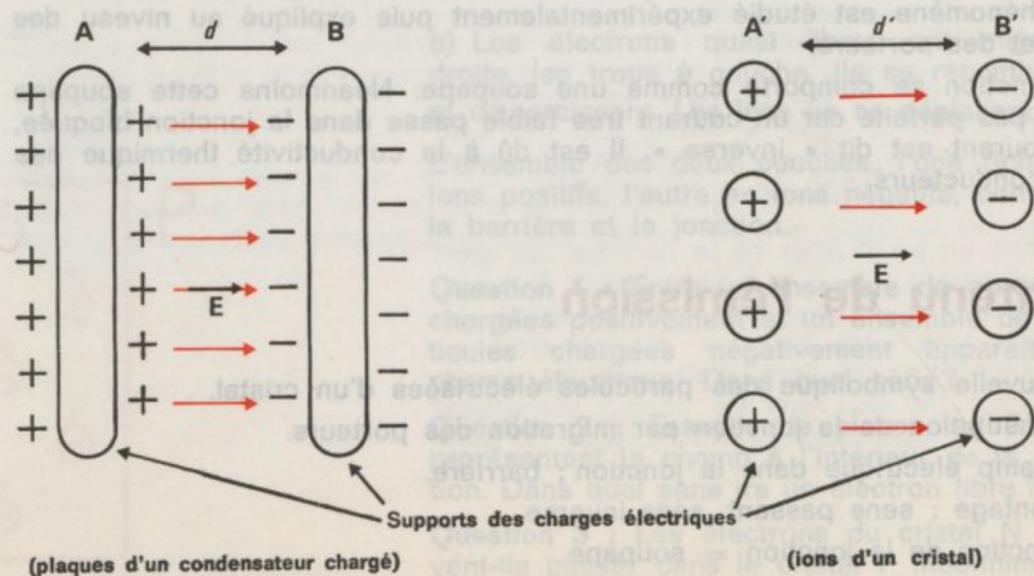


Ces champs diminuent très vite lorsque le point considéré s'éloigne de la charge d'origine.

Si nous plaçons une charge positive Q_1 et une charge négative Q_2 proches l'une de l'autre, entre elles s'établit un champ dirigé de Q_1 à Q_2 , champ non uniforme.



Au contraire, si nous avons plusieurs charges Q_1 (+) et Q_2 (-) sur des plaques face à face, le champ électrique créé est uniforme.



La valeur du champ s'exprime par la différence de potentiel entre A et B divisée par la distance d .

$$E = \frac{V_A - V_B \text{ (volt)}}{d \text{ (m)}}$$

(dans une jonction, d vaut 1μ environ ou $d = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$).

Si on place, en un point d'un champ, une charge électrique q , libre de se déplacer comme sont les électrons et les trous, le champ exerce une force sur cette charge q :

$$\vec{f} = \vec{E} \times q$$

Pour l'électron de charge négative e , \vec{f} est en sens opposé à \vec{E} . L'électron va se déplacer en sens opposé à \vec{E} ; il « remonte le champ ».

$$\vec{f} = \frac{V_A - V_B}{d} \cdot e \quad (e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C})$$

Au lieu de calculer la force qui s'exerce sur un électron dans un champ électrique créé par des ions (A' et B') à un micron de distance, sous $0,5 \text{ V}$, cherchons la tension qui serait à appliquer à un condensateur « à vide » avec une distance $d = 1 \text{ mm}$, pour obtenir le même champ donc la même force :

$$\frac{V_A' - V_B'}{10^{-6}} = \frac{0,5}{10^{-6}} = \frac{V_A - V_B}{10^{-3}}$$

$$V_A - V_B = 500 \text{ volts}$$

ou encore, la tension entre deux plaques à 1 m de distance qui produirait sur un électron un effet équivalent, dans le vide :

$$\frac{V_A' - V_B'}{1 \text{ m}} = \frac{0,5 \text{ V}}{10^{-6} \text{ m}} \quad V_A' - V_B' = 500 \text{ 000 volts}$$

le champ serait de 500 000 V/m .

objet de l'émission

La constitution d'une jonction peut s'expliquer théoriquement par l'approche d'un cristal N riche en électrons, porteurs négatifs, d'un cristal P riche en trous, porteurs positifs.

A travers la surface de contact les porteurs migrent les uns vers les autres. Ils se recombinent et font apparaître une double couche non conductrice contenant des ions mais dépourvue de particules mobiles : les porteurs. L'équilibre électrique qui existait globalement dans les semiconducteurs N et P est rompu.

Le semiconducteur N près de la surface de contact, c'est-à-dire dans la jonction, contient des ions positifs ; de même le semiconducteur P contient des ions négatifs.

Il naît un champ électrique qui s'oppose à la migration des porteurs à l'intérieur de la jonction ; on a une barrière.

L'ensemble des deux cristaux avec la jonction qui s'est établie entre eux peut être placé dans un circuit électrique avec, en série, un générateur continu et un récepteur. Suivant le sens du branchement le courant passera ou ne passera pas.

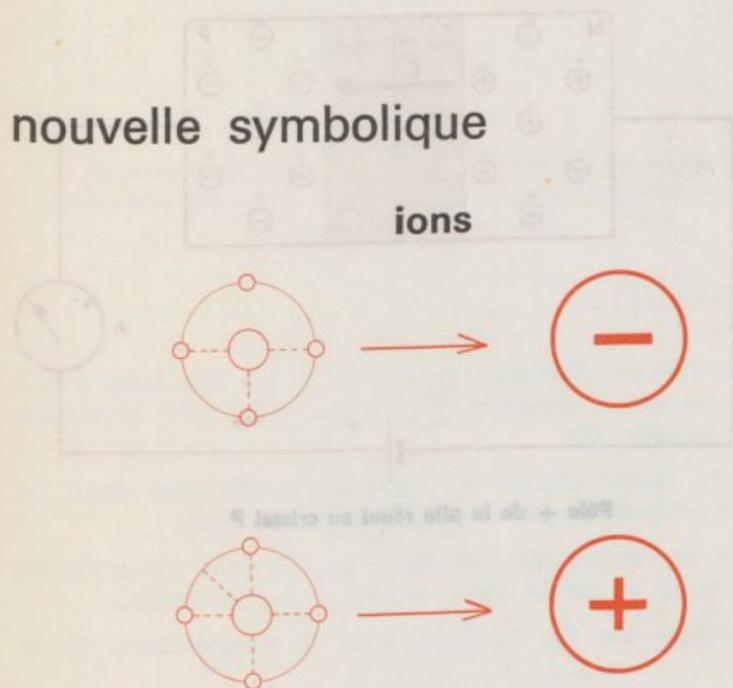
Le phénomène est étudié expérimentalement puis expliqué au niveau des ions et des porteurs.

La jonction se comporte comme une soupape. Néanmoins cette soupape n'est pas parfaite car un courant très faible passe dans la jonction bloquée, ce courant est dit « inverse ». Il est dû à la conductivité thermique des semiconducteurs.

contenu de l'émission

- Nouvelle symbolique des particules électrisées d'un cristal.
- Constitution de la jonction par migration des porteurs.
- Champ électrique dans la jonction ; barrière.
- Montage : sens passant, sens inverse.
- Fonction de la jonction = soupape.

nouvelle symbolique



— électron + trou

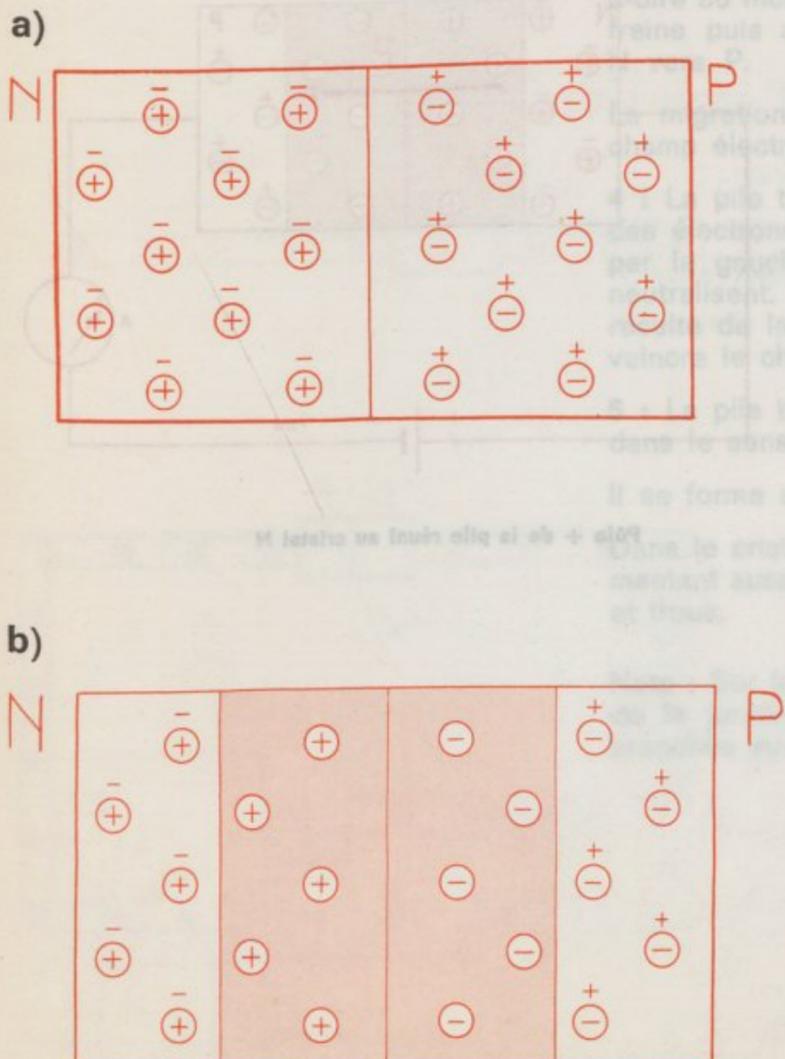
Un atome est électriquement équilibré : les charges électriques positives du noyau sont en nombre égal des charges électriques des électrons circulant sur les différentes couches (revoir l'émission et la fiche : *Structure de la matière*).

Un ion négatif est un atome déséquilibré par l'addition d'un électron supplémentaire. L'ensemble devient négatif d'où la représentation : un rond et un moins.

Un ion positif est un atome déséquilibré par le départ d'un électron ; l'ensemble devient positif (excès des charges du noyau sur celles des couches) et sera représenté par un rond et un plus. Seules les impuretés dopantes donnent ces ions (revoir la fiche : *Semiconducteurs*).

Un électron quasi libre est représenté par un moins non cerclé ; un « trou » par un plus non cerclé.

établissement de la jonction au moment de sa fabrication, sans tension électrique externe



Ces deux dessins montrent seulement les ions et les porteurs. Les atomes neutres ne sont pas représentés mais ils existent autour des ions sans intervenir dans la conduction électrique.

On a placé les porteurs, « trous » et électrons, pour bien mettre en évidence les nombres égaux d'ions et de porteurs. **Ces porteurs sont très mobiles** et s'éloignent des ions en un complet désordre.

a) Dessin **au moment précis** où les deux cristaux sont mis l'un contre l'autre (technologiquement cela se passe différemment. On ne « pose » pas un cristal sur l'autre ; on opère par diffusion et à chaud dans un monocristal).

b) Les électrons quasi libres ont migré à droite, les trous à gauche. Ils se recombinent et disparaissent. **Les ions ne se déplacent pas.**

L'ensemble des deux couches, l'une riche en ions positifs, l'autre en ions négatifs, constitue la barrière et la jonction.

Question 1 : Entre un ensemble de particules chargées positivement et un ensemble de particules chargées négativement apparaît un champ électrique. Dans quel sens ?

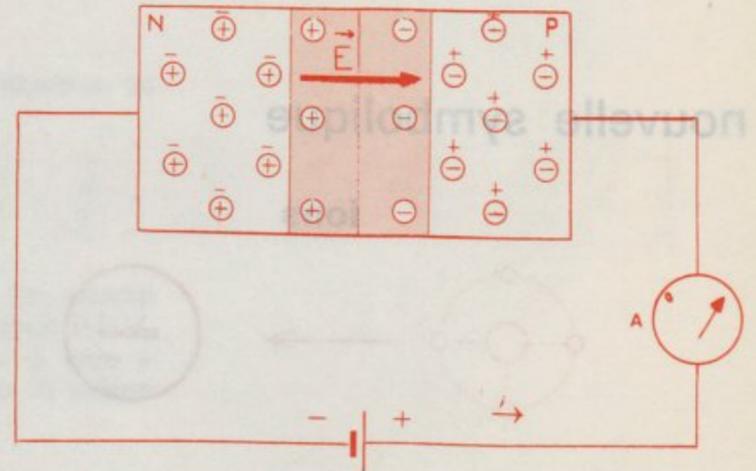
Question 2 : Essayer de placer les flèches représentant le champ à l'intérieur de la jonction. Dans quel sens ira un électron libre ?

Question 3 : Les électrons du cristal N peuvent-ils passer dans le cristal P indéfiniment ?

jonction sens direct

Une pile est branchée aux extrémités de la jonction. Il y a rétrécissement de la barrière et, si le générateur (la pile) est suffisamment fort, un passage de courant.

Question 4 : Essayer d'expliquer pourquoi la barrière rétrécit et pourquoi le courant passe.



Pôle + de la pile réuni au cristal P

jonction sens inverse

La pile est retournée. Le courant ne passe plus. La barrière est élargie.

Question 5 : Chercher le sens du courant électronique que pourrait faire circuler la pile.

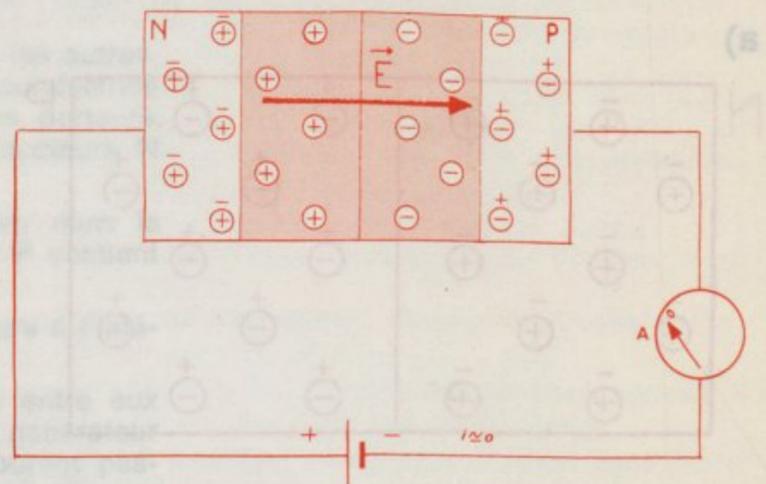
Sur quelle face de la barrière arrivent les électrons ? Comment expliquer l'élargissement de la barrière ?

Considérez encore cette figure avec la jonction branchée en sens inverse.

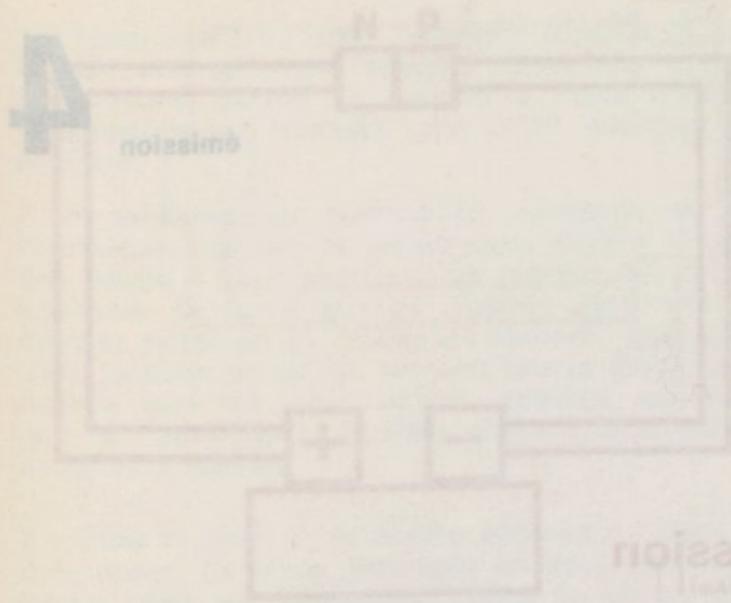
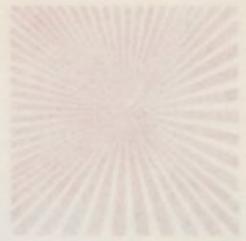
Lorsque le **courant direct** (électron allant de gauche à droite) ne passe plus, on peut déceler avec un **microampèremètre** l'existence d'un **courant inverse** très faible.

Ce dernier est dû aux paires « électron-trou » qui apparaissent dans le cristal loin des atomes dopants. Il est indépendant de la tension appliquée et fonction de la température.

Prenons un point près de la barrière, ou dans cette barrière, où il y a uniquement le semi-conducteur à 4 électrons périphériques. La chaleur crée une paire « électron-trou » ; l'électron remonte immédiatement le champ électrique (le trou suit ce champ électrique) et crée un léger courant électronique en sens inverse.



Pôle + de la pile réuni au cristal N



Le plus du générateur est réuni au cristal N, la diode est en « sens inverse ». Le courant ne passe plus : la lampe ne brille plus.

Question 1 : Lorsque la jonction de diode est en sens inverse, le courant est-il réellement nul ?

objet de l'émission

Cette émission a pour but l'étude pratique de la diode qui est faite d'une jonction (étudiée dans l'émission : jonction PN) à laquelle sont branchés des fils de sortie, dans un boîtier, etc.

La diode comme la jonction laisse passer le courant électronique dans un sens privilégié ; elle est représentée par un symbole normalisé.

La diode en fonction de la tension est la caractéristique de la diode.

Cette caractéristique est influencée par l'évolution de la température. Nous

réponses aux questions

1 : Le sens du champ électrique va des charges plus aux charges moins.

2 : A l'intérieur de la jonction, le champ électrique est dirigé des ions + aux ions -. Les électrons, négatifs, remontent le champ. Les électrons sont donc attirés de la droite vers la gauche dans la barrière.

3 : Les électrons mobiles du cristal N ne peuvent vaincre l'action du champ électrique que s'il est faible ; lorsque celui-ci est devenu assez élevé, c'est-à-dire au moment où il y a suffisamment d'ions positifs et négatifs, le champ freine puis arrête les mouvements des électrons de gauche à droite, de N vers P.

La migration des électrons (et des trous) est freinée puis arrêtée par le champ électrique.

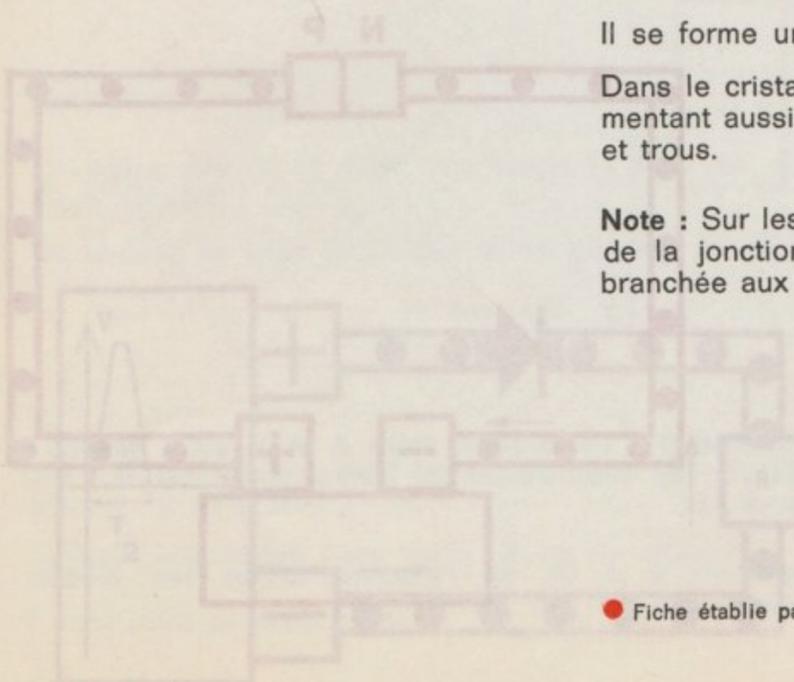
4 : La pile tend à faire circuler le courant dans le sens i, mais le courant des électrons va en sens contraire, il arrive des électrons dans le cristal N par la gauche ; ils viennent sur la première couche d'ions positifs et les neutralisent. L'épaisseur de la jonction, la barrière, rétrécit et le champ qui résulte de la présence des ions diminue aussi. Les électrons peuvent alors vaincre le champ, et passer à travers la jonction ou barrière.

5 : La pile tend à enlever des électrons du cristal N pour les faire circuler dans le sens imposé par son branchement.

Il se forme une nouvelle couche d'ions positifs, etc.

Dans le cristal P, les électrons arrivent et se recombinent à des trous, augmentant aussi la double couche non conductrice faite de porteurs, électrons et trous.

Note : Sur les dessins les vecteurs champ \vec{E} sont ceux du champ à l'intérieur de la jonction, créé par les ions et pas du tout celui que créerait la pile branchée aux deux plaques d'un condensateur mis à la place de la jonction.



Fiche établie par Denyse Cordier.



objet de l'émission

Symbole



Cette émission a pour but l'étude pratique de la diode qui est faite d'une jonction (étudiée dans l'émission : *Jonction PN*) à laquelle sont branchés des fils de sortie, dans un boîtier, etc.

La diode comme la jonction laisse passer le courant électronique dans un sens privilégié ; elle est représentée par un symbole normalisé.

La courbe représentant les variations de l'intensité du courant qui traverse la diode en fonction de la tension est la caractéristique de la diode.

Cette caractéristique est influencée par l'élévation de la température. Nous verrons comment.

Cette diode placée dans un circuit alimenté par un générateur alternatif laisse passer ce courant seulement durant les demi-périodes ou alternances où sa polarisation correspond au sens passant — cela donne un redressement « monoalternance ».

Quatre diodes, montées en pont, produisent un redressement double alternance. L'oscilloscope permet d'étudier les signaux d'entrée et de sortie.

La diode peut donc servir pour redresser le courant alternatif **sans produire d'ailleurs du courant continu**. Les alimentations électriques des appareils employés en électrolyse (dépôt métallique) ou en électronique comportent des diodes.

Si le courant qui traverse la diode est important, son échauffement peut la détériorer, il faut la refroidir.

contenu de l'émission

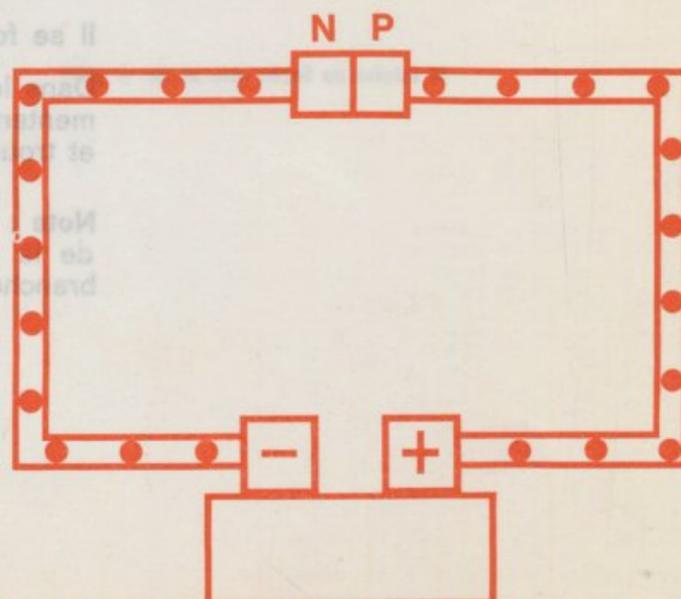
- Le symbole de la diode.
- La caractéristique à vide et en série avec une résistance.
- Redressement monoalternance.
- Redressement double alternance.

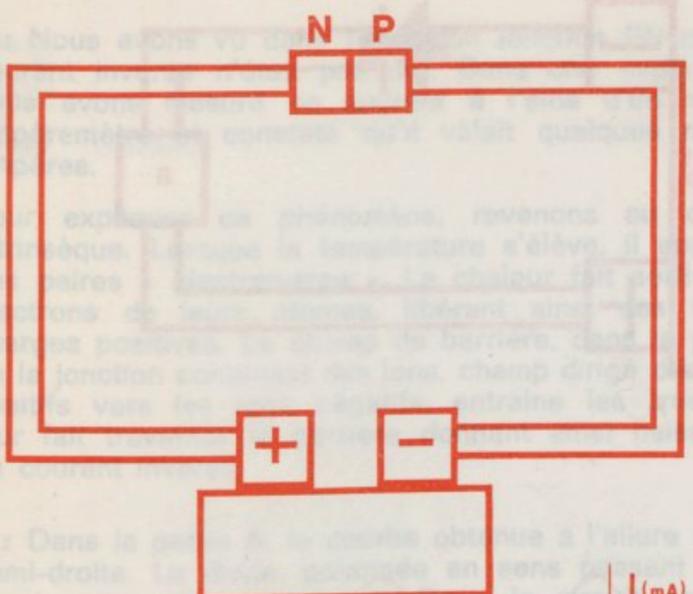
La diode à jonction est un composant formé, comme son nom l'indique, d'une jonction, telle que nous l'avons déjà vue, c'est-à-dire composée d'un cristal de semiconducteur de type P et d'un cristal de semiconducteur de type N.

Nous savons que cette jonction, suivant son branchement à une source de courant continu, est soit en sens direct, soit en sens inverse.

Si nous branchons la diode comme sur ce premier dessin, elle est en « sens direct ou passant » ; le plus du générateur est réuni au cristal de type P.

Le courant peut faire briller une lampe mise dans le circuit.

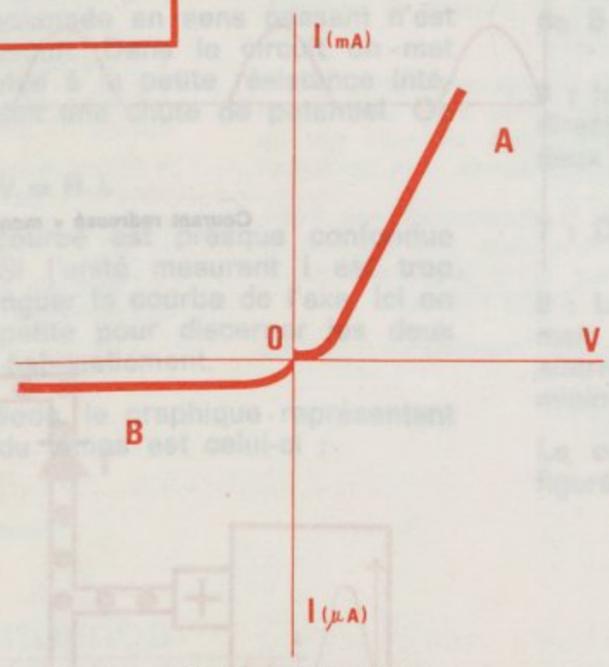




Invertissons les bornes du générateur.

Le plus du générateur est réuni au cristal N, la diode est en « sens inverse ». Le courant ne passe plus ; la lampe ne brille plus.

Question 1 : Lorsque la jonction ou diode est en sens inverse, le courant est-il réellement nul ?



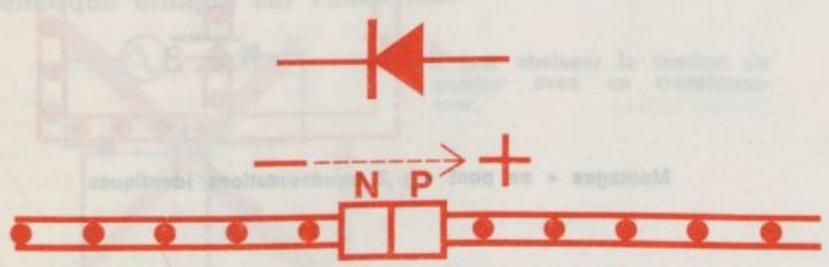
COURBE CARACTERISTIQUE DE LA DIODE

On place une diode dans un circuit comprenant en série un générateur et une résistance ; en dérivation aux bornes de la résistance on place un oscilloscope.

On obtient cette courbe caractéristique montrant les variations de I en fonction de la tension fournie par le générateur.

Question 2 : Comment explique-t-on cette courbe ? Est-elle réellement celle observée sur l'écran dans l'expérience que vous avez vue ?

Courbe caractéristique de la diode.

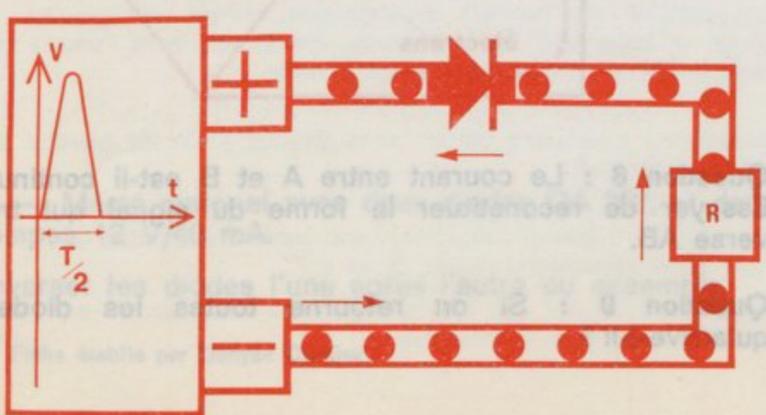


La diode est représentée symboliquement par le dessin ci-contre.

Elle est ici parcourue par un courant électronique de gauche à droite. Le plus (+) est appliqué au semiconducteur P représenté par la flèche, la barre représente le semiconducteur N.

Le courant électronique va dans le sens opposé à celui indiqué par la flèche du symbole.

La diode possède la propriété de la jonction dont elle est constituée. Elle laisse passer le courant dans un sens privilégié.



Essayer de faire circuler les électrons sortant du pôle (-) du générateur. Voir où ils peuvent passer.

Question 3 : Dans quel sens les électrons traversent-ils la portion de circuit AB ?

Supposons maintenant d'une demi-période se soit écoulée. La tension est alors négative sur le pôle (-) du générateur. Voir où les électrons peuvent passer.

En courant alternatif, elle sert à redresser le courant.

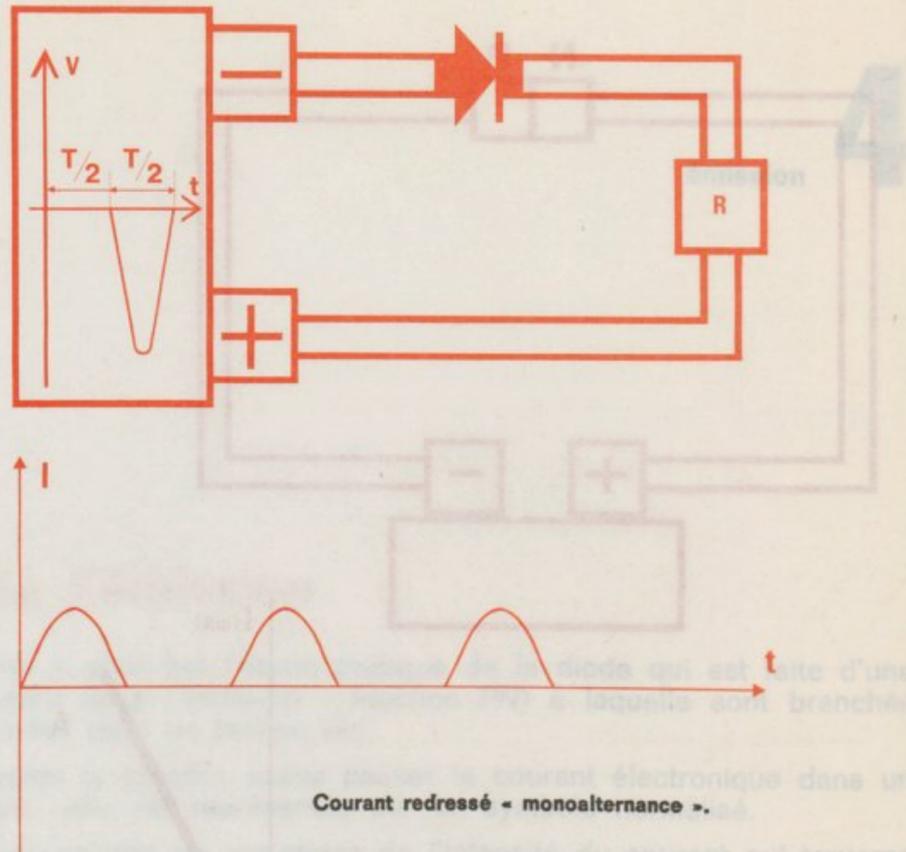
Voici un générateur alternatif. On considère la première demi-période pendant laquelle la tension positive correspond aux pôles + et - comme sur la figure ci-contre.

Les électrons circulent à travers la jonction, donc dans tout le circuit.

Prenons l'alternance ou demi-période suivante. Pendant cette alternance la polarité du générateur est inversée. La diode est en sens inverse.

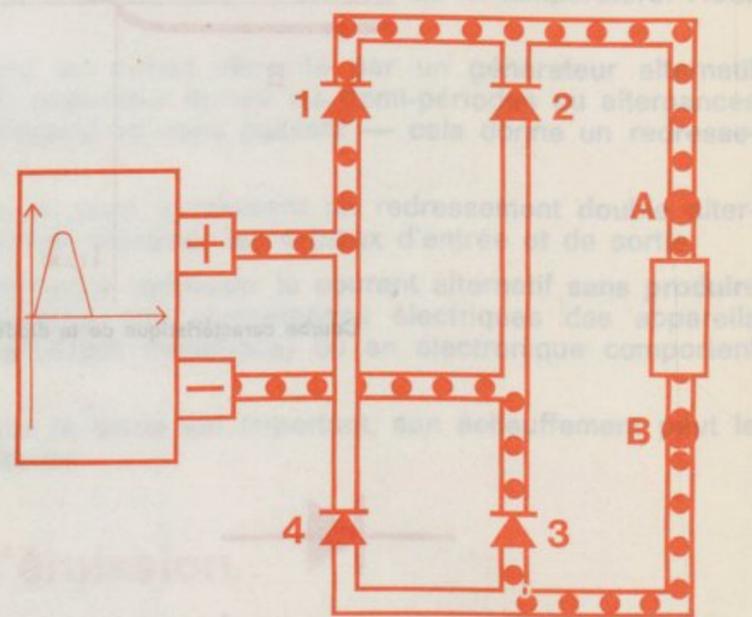
Le courant ne passe pas. On dit « l'alternance est supprimée » c'est-à-dire que le courant demeure pratiquement nul.

On a un courant qui, dans le temps, correspond à ce graphique.



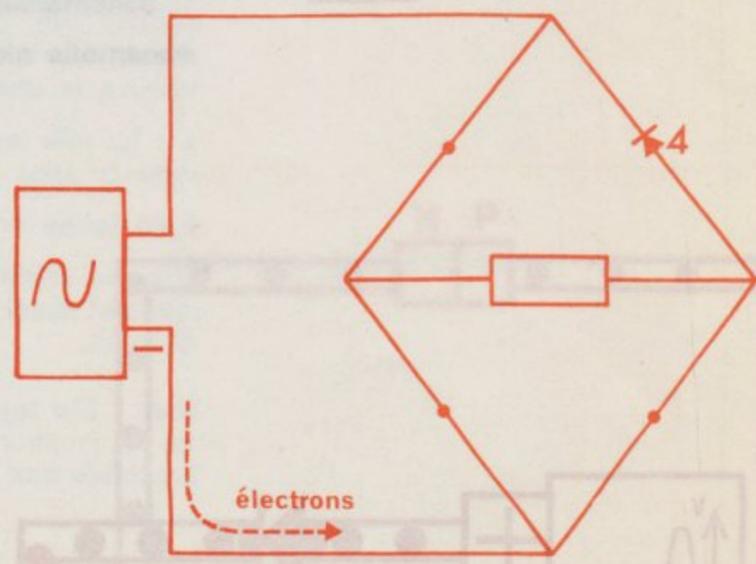
Question 3 : Si l'on retournait la diode, comment serait le courant ?

Prenons le montage ci-contre avec 4 diodes identiques.



Montages « en pont » : 2 représentations identiques.

On a ce même montage en pont représenté souvent par le graphique ci-contre :



Question 4 : Placer sur ce graphique (incomplet) les symboles des diodes, les points A et B, et les polarités correspondant au dessin précédent.

Essayer de faire circuler les électrons sortant du pôle (-) du générateur. Voir où ils peuvent passer.

Question 5 : Dans quel sens les électrons traversent-ils la portion de circuit AB ?

Supposez maintenant qu'une demi-période se soit écoulée. La tension est alors négative sur le graphique et les signes des bornes du branchement sont changés.

Question 6 : Quelles sont les diodes passantes ? Le vérifier soigneusement et mettre le sens des électrons sur les fils conducteurs.

Question 7 : Dans quel sens les électrons traversent-ils la portion de circuit AB ?

Question 8 : Le courant entre A et B est-il continu ? Essayer de reconstituer la forme du signal qui traverse AB.

Question 9 : Si on retourne toutes les diodes, qu'arrive-t-il ?

réponses aux questions

1 : Nous avons vu dans l'émission *Jonction PN* que le courant inverse n'était pas nul. Dans une expérience nous avons mesuré ce courant à l'aide d'un micro-ampèremètre et constaté qu'il valait quelques micro-ampères.

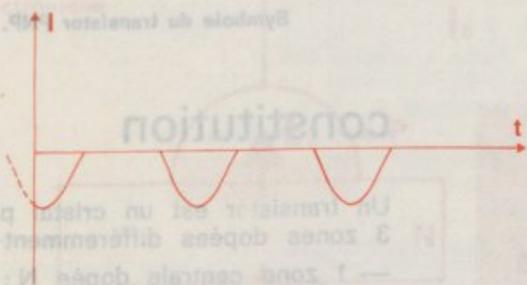
Pour expliquer ce phénomène, revenons au cristal intrinsèque. Lorsque la température s'élève, il apparaît des paires « électron-trou ». La chaleur fait sortir des électrons de leurs atomes, libérant ainsi des trous, charges positives. Le champ de barrière, dans la partie de la jonction contenant des ions, champ dirigé des ions positifs vers les ions négatifs, entraîne les trous et leur fait traverser la barrière donnant ainsi naissance au courant inverse.

2 : Dans la partie A, la courbe obtenue a l'allure d'une demi-droite. La diode, polarisée en sens passant n'est jamais mise en court-circuit. Dans le circuit on met une résistance qui, ajoutée à la petite résistance intérieure de la diode, produit une chute de potentiel. On retrouve la loi d'Ohm.

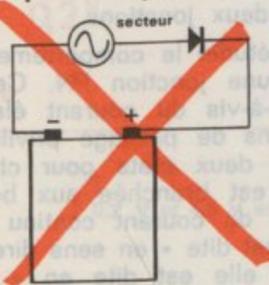
$$V = R \cdot I.$$

Dans la partie B, la courbe est presque confondue avec l'axe horizontal. Si l'unité mesurant I est trop grande, on ne peut distinguer la courbe de l'axe. Ici on a pris une unité plus petite pour discerner les deux tracés — cela se fait habituellement.

3 : Si on retourne la diode, le graphique représentant le courant en fonction du temps est celui-ci :



Remarque critique sur l'émission.



Il faut abaisser la tension du secteur avec un transformateur.

faux

quelques expériences à faire

1. — Une pile de 12 volts, une lampe 12 V/40 mA, une diode OA 202.

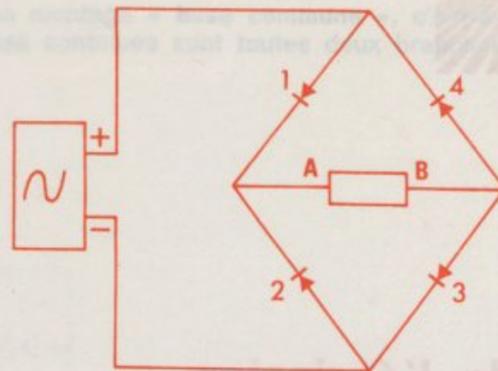
On inverse le sens de la pile et on observe la lampe.

2. — Même matériel avec deux diodes OA 202, et deux lampes 12 V/40 mA.

Inverser les diodes l'une après l'autre ou ensemble.

● Fiche établie par Denyse Cordier.

4 : Dessin ci-dessous.



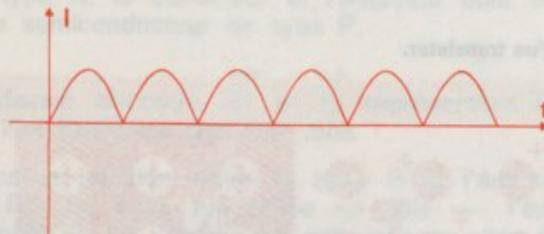
5 : Les diodes 1 et 3 étant en sens direct, en suivant le trajet des électrons on voit que ceux-ci remontent de B vers A.

6 : Ici ce sont les diodes 2 et 4 qui sont en sens direct; les électrons vont de haut en bas dans ces deux diodes.

7 : De B vers A.

8 : Le courant entre A et B a toujours le même sens, mais il n'a pas la même intensité puisque la tension alternative passe par des valeurs maximales, nulles et minimales.

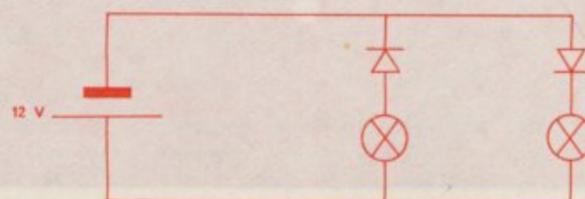
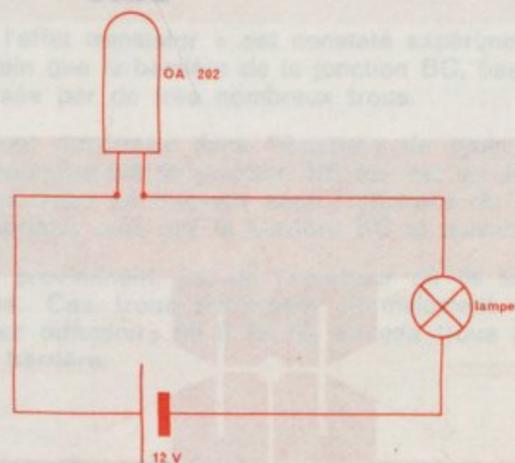
Le courant électronique sera donc représenté par la figure ci-dessous.



Il s'annule chaque fois que la tension s'annule, donc deux fois par période initiale.

Il n'est plus sinusoïdal mais varie entre une valeur maximale, toujours la même, et zéro, avec une fréquence double de celle de la tension initiale du générateur alternatif.

9 : Si on retourne toutes les diodes, le courant électronique passe de A vers B.





objet de l'émission

Cette émission a pour but, à partir des notions acquises sur la jonction et la diode, d'expliquer la constitution du transistor puis son fonctionnement.

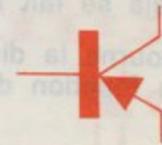
Le transistor est formé de deux diodes ayant un cristal semiconducteur en commun. Les trois cristaux en couches superposées forment deux diodes dont les « sens passants » sont opposés. Comment un tel ensemble peut-il être parcouru par un courant élevé ? Et pourtant c'est ce qui se produit dans l'usage normal d'un transistor.

L'étude sera faite au niveau des porteurs ; on considère le mouvement des trous, porteurs positifs. Ceux-ci sont soumis à la diffusion normale dans une jonction en sens passant puis au champ électrique intense à l'intérieur d'une jonction bloquée. Le trajet complet des trous à travers les jonctions obéit à « l'effet transistor ».

Pour permettre cet effet, la technologie du transistor doit être spécialement conçue. Nous en présentons quelques aspects.

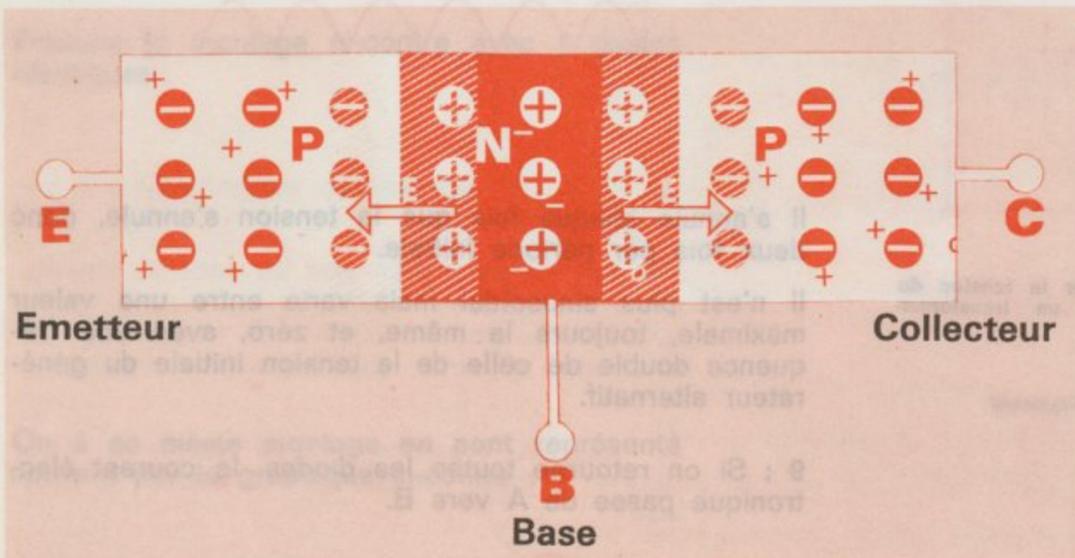
contenu de l'émission

- Constitution du transistor.
- Effets des deux diodes. Les trois parties du transistor PNP.
- Mouvements des trous, lorsque le transistor est polarisé avec « émetteur commun », à travers les jonctions BE et BC.
- Quelques notions sur la technologie du transistor.



Symbole du transistor PNP.

Constitution d'un transistor.



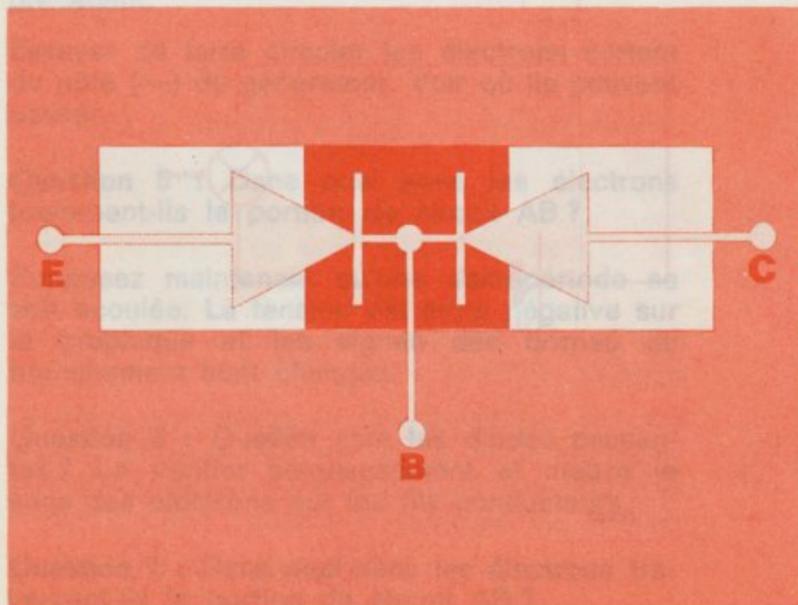
constitution

Un transistor est un cristal présentant 3 zones dopées différemment :

- 1 zone centrale dopée N ;
- 2 zones externes dopées P.

Il y a donc deux jonctions.

Nous avons étudié le comportement et les effets d'une jonction PN. Celle-ci présente, vis-à-vis du courant électronique, un sens de passage privilégié ; il y a donc deux états pour chaque jonction qui est branchée aux bornes d'une source de courant continu : un état où elle est dite « en sens direct », un autre où elle est dite en « sens inverse ».



Question 1 : Sur le dessin ci-contre, essayez de mettre des flèches montrant le sens suivant lequel le courant électronique peut traverser normalement chaque diode.

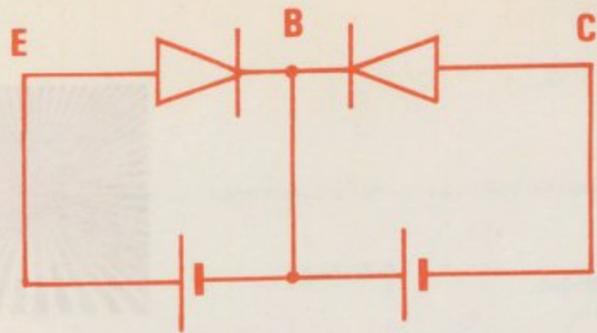
Notez bien que le cristal semiconducteur dopé N, qui est au milieu, réunit les 2 autres cristaux P sur toutes les surfaces en regard, surfaces relativement étendues.

Considérons un courant électronique, allant de gauche à droite et traversant les 3 cristaux, les diodes sont l'une « en sens direct », l'autre en « sens inverse ».

Question 2 : Laquelle est en sens direct ? Celle de gauche ou celle de droite ?

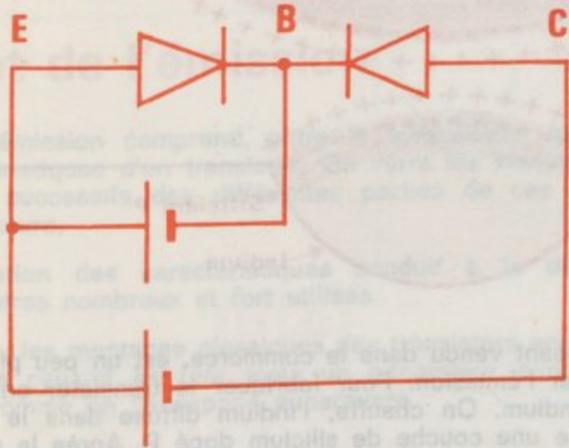
Question 3 : Peut-on imaginer une autre disposition des cristaux semiconducteurs dopés N et P ?

La partie centrale est appelée la base, les parties extrêmes sont l'émetteur et le collecteur.



polarisation

Jusqu'à maintenant nous avons polarisé ainsi nos deux diodes : (polariser veut dire réunir aux pôles d'un générateur). Ceci est un montage « **base commune** », c'est-à-dire que les deux sources continues sont toutes deux branchées à la base.



Nous allons employer maintenant le montage dit « **émetteur commun** ». Ce montage est le plus communément employé car ses caractéristiques et ses performances (ses limites d'utilisation) permettent de l'utiliser dans la plupart des cas.

effet transistor

Soit ce transistor PNP. La base est un cristal de semiconducteur du type N, le collecteur et l'émetteur sont des cristaux du même semiconducteur de type P.

Sur le dessin ci-contre, E_1 et E_2 représentent les champs internes aux barrières, dus aux ions.

Observons la jonction entre la base B et l'émetteur E : la jonction BE. La base est reliée au pôle $-$, l'émetteur est relié au pôle $+$. La jonction est polarisée en sens direct, donc la barrière a diminué de largeur ainsi que le champ électrique E_1 créé par les ions. Le courant électronique passe, donc aussi les trous en sens opposé.

La jonction BC, entre base et collecteur, au contraire est polarisée en sens inverse.

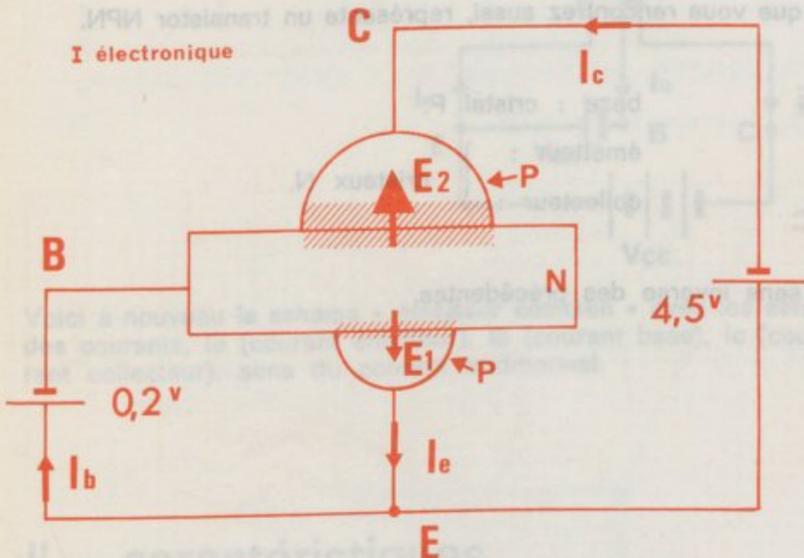
La polarisation augmente la largeur de la barrière mais aussi la valeur du champ électrique E_2 .

Comme nous avons un transistor PNP, considérons les porteurs positifs, les trous (qui circulent dans le sens du champ électrique). Toute l'explication est basée sur les mouvements de ces trous.

En fait « l'effet transistor » est constaté expérimentalement et il est certain que la barrière de la jonction BC, base-collecteur, est traversée par de très nombreux trous.

Ceux-ci sont nombreux dans l'émetteur de type P; ils franchissent normalement la jonction BE qui est un sens passant. Ensuite ces trous se trouvent sous l'influence du champ électrique important, créé par la barrière BC et suivent ce champ.

Les trous proviennent, ici, de l'émetteur où ils sont porteurs majoritaires. Ces trous traversent normalement la première barrière par diffusion; 98 à 99 % de ces trous atteignent la deuxième barrière.



0,2 V et 4,5 V sont des ordres de grandeur.

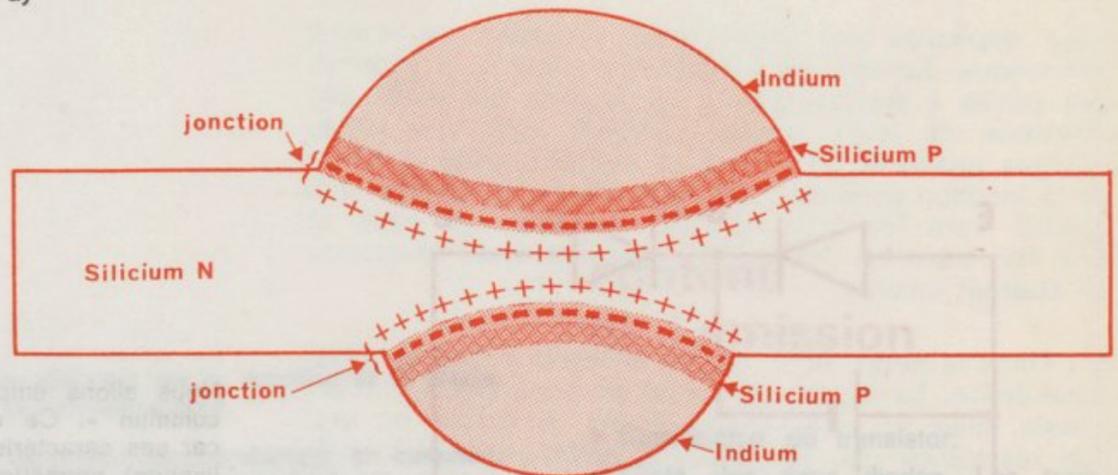
Question 4 : Le choix de l'émetteur et du collecteur dans ce montage utilisant le transistor est-il indifférent ?

Question 5 : Essayez de trouver une définition de l' « effet transistor ».

Question 6 : Quelles sont, d'après vous, les conditions électriques et technologiques pour obtenir « l'effet transistor ».

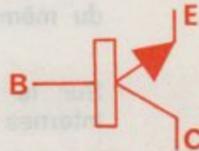
compléments

a)



La structure du transistor, composant vendu dans le commerce, est un peu plus compliquée que ne le laisse supposer l'émission. Pour fabriquer le transistor on dépose sur du silicium N des billes d'indium. On chauffe, l'indium diffuse dans le silicium sur une faible épaisseur et donne une couche de silicium dopé P. Après la diffusion il reste une partie de l'indium qui assure la conduction du courant. Néanmoins, les parties actives du transistor sont les trois couches cristallisées dopées P, N, P. Parfois, les techniciens emploient le mot indium pour désigner la matière de l'émetteur et collecteur ; il y a là une légère erreur.

b) Le symbole suivant, que vous rencontrez aussi, représente un transistor NPN.



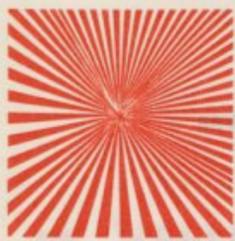
base : cristal P.

émetteur : }
collecteur : } cristaux N.

Les jonctions sont en sens inverse des précédentes.

réponses aux questions

- 1 : Les électrons peuvent aller du cristal N vers les cristaux P.
- 2 : Celle de droite. Habituellement la jonction BE est en sens direct et la jonction BC en sens inverse si le transistor est bien polarisé.
- 3 : Oui, on peut avoir des cristaux N, P, N, un transistor NPN. Le semiconducteur commun aux deux jonctions est appelé base ; les autres parties, parfois appelées électrodes, sont l'émetteur et le collecteur.
- 4 : Non, parce que la technologie du transistor fait toujours un collecteur beaucoup plus important que l'émetteur. Le collecteur dégage plus de puissance que l'émetteur, donc de chaleur.
- 5 : L'effet transistor est une « aspiration des trous d'une jonction passant par une jonction bloquée ».
- 6 : Il faut : une jonction polarisée en sens direct,
une jonction polarisée en sens inverse,
une base très mince (quelques microns),
une continuité dans le cristal (c'est-à-dire qu'on ne peut pas prendre deux diodes séparées pour faire un transistor).



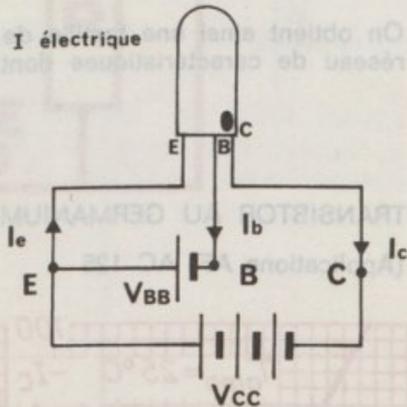
objet de l'émission

Cette émission comprend, outre la symbolique, le tracé des caractéristiques d'un transistor. On verra les mesures puis les tracés successifs des différentes parties de ces courbes et leur lecture.

L'utilisation des caractéristiques conduit à la définition de paramètres nombreux et fort utilisés.

Ensuite, les montages classiques des transistors sont expliqués puisque ceux-ci se font avec un générateur continu et non deux comme on l'a exposé auparavant.

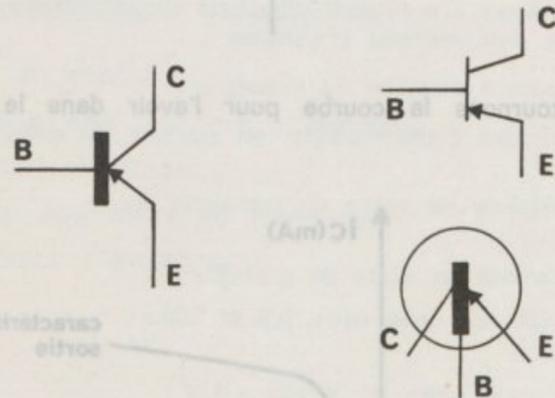
I. - symboles



Voici à nouveau le schéma « émetteur commun » avec les sens des courants, I_e (courant émetteur), I_b (courant base), I_c (courant collecteur), sens du courant traditionnel.

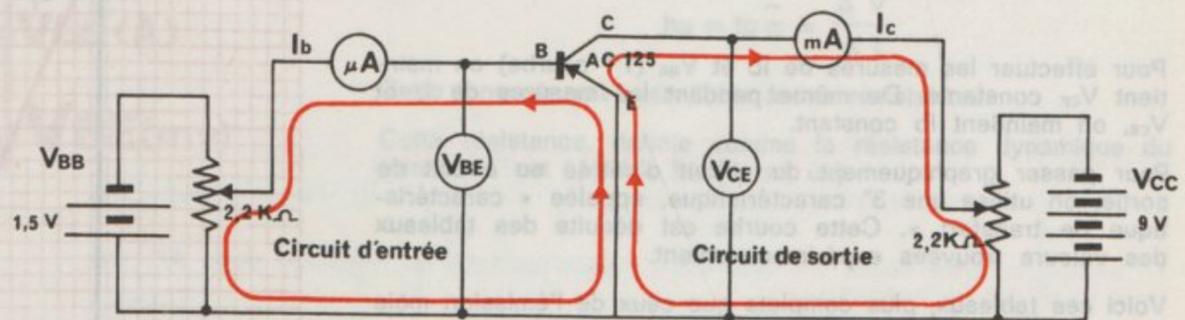
contenu de l'émission

- Symbolique.
- Etude expérimentale des caractéristiques.
- Tracé des courbes : (I_e, V_{CE}), (I_b, V_{BE}), (I_b, I_c).
- Leur lecture - Les paramètres hybrides.
- L'amplification β .
- Les montages classiques avec un seul générateur continu.
- Une expérience d'application : polarisation avec une seule batterie.



Voici des symboles représentant, tous, le transistor PNP. Seul le sens du courant dans l'émetteur est indiqué, les deux autres sortent du transistor.

II. - caractéristiques

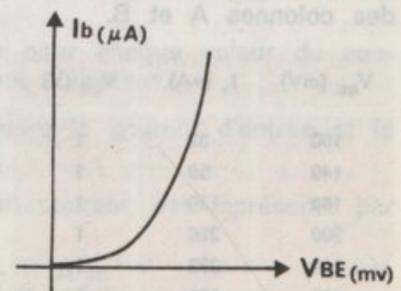


Pour étudier les caractéristiques d'un transistor, on réalise le schéma ci-dessus (on étudie le transistor AC 125).

La tension V_{CC} (collecteur continu) est créée par une pile ; une partie seulement est appliquée entre émetteur et collecteur, cette partie est mesurée par un voltmètre V_{CE} .

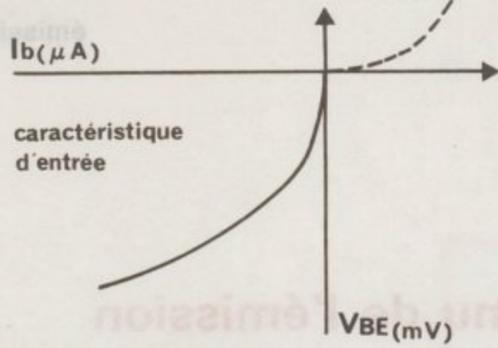
La tension V_{BB} (base-batterie) est créée par une autre pile ; elle est toujours inférieure à V_{CC} ; une partie est appliquée à la jonction BE, elle est mesurée par le voltmètre V_{BE} . Le milliampèremètre mesure I_c , le courant de collecteur ; le microampèremètre mesure I_b , le courant de base.

Nous réglons V_{CE} et V_{BE} à l'aide des potentiomètres (résistances variables).

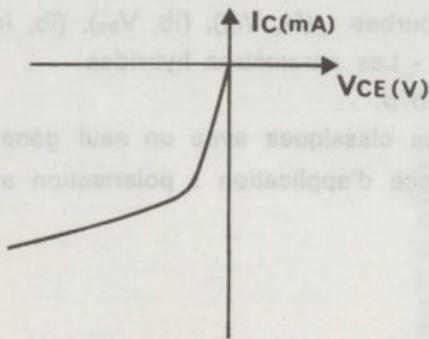


Considérons tout d'abord le circuit d'entrée, celui comprenant la jonction J_{BE} polarisée en sens direct. La courbe est la caractéristique en sens direct d'une diode.

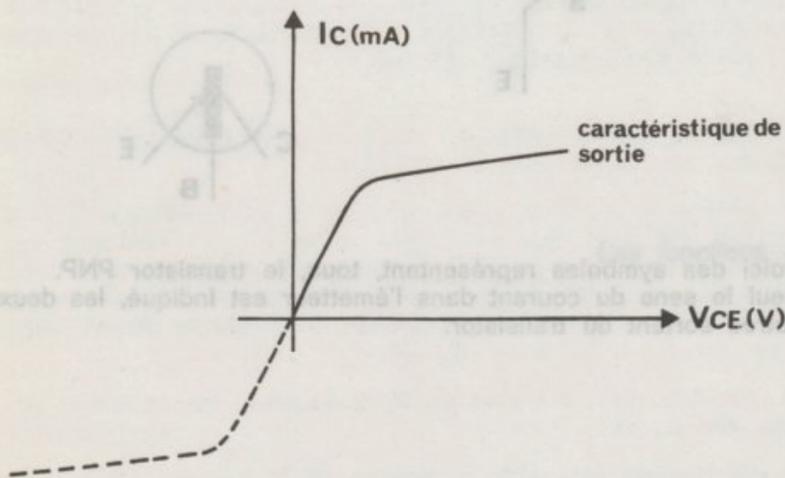
Nous retournons la courbe pour la mettre dans le quadrant opposé.



Considérons maintenant le circuit de sortie, celui comprenant la jonction J_{CE}.



Nous retournons la courbe pour l'avoir dans le quadrant opposé.



Pour effectuer les mesures de I_b et V_{BE} (1^{re} courbe) on maintient V_{CE} constante. De même pendant les mesures de I_c et V_{CE} , on maintient I_b constant.

Pour passer graphiquement du circuit d'entrée au circuit de sortie, on utilise une 3^e caractéristique, appelée « caractéristique de transfert ». Cette courbe est déduite des tableaux des valeurs trouvées expérimentalement.

Voici ces tableaux, plus complets que ceux de l'émission mais pour la même expérience :

Pour avoir la caractéristique d'entrée, on prend les valeurs des colonnes A et B.

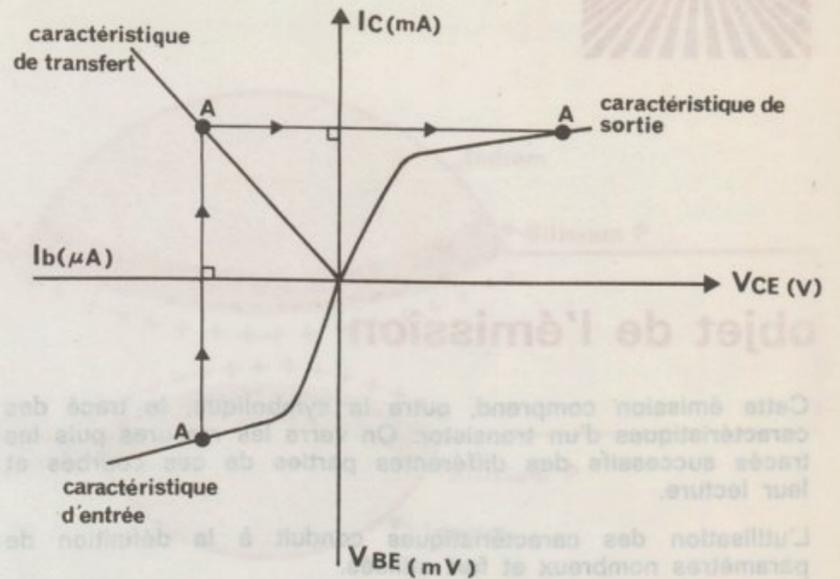
Pour avoir la caractéristique de sortie, on prend les valeurs des colonnes E et F.

V_{BE} (mV)	I_b (μA)	V_{CE} (V)	V_{CE} (V)	I_c (mA)	I_b (μA)
(A)	(B)	(C)	(E)	(F)	(G)
100	32	1	1	8	50
140	50	1	5	10	50
180	130	1	2,5	8,8	50
200	220	1	1	17	100
210	280	1	5	21	100
225	400	1	2,5	18,5	100

Pour avoir la caractéristique de transfert, on prend les valeurs des colonnes F et G.

RESULTAT FINAL :

Les 3 caractéristiques sont ainsi représentées :

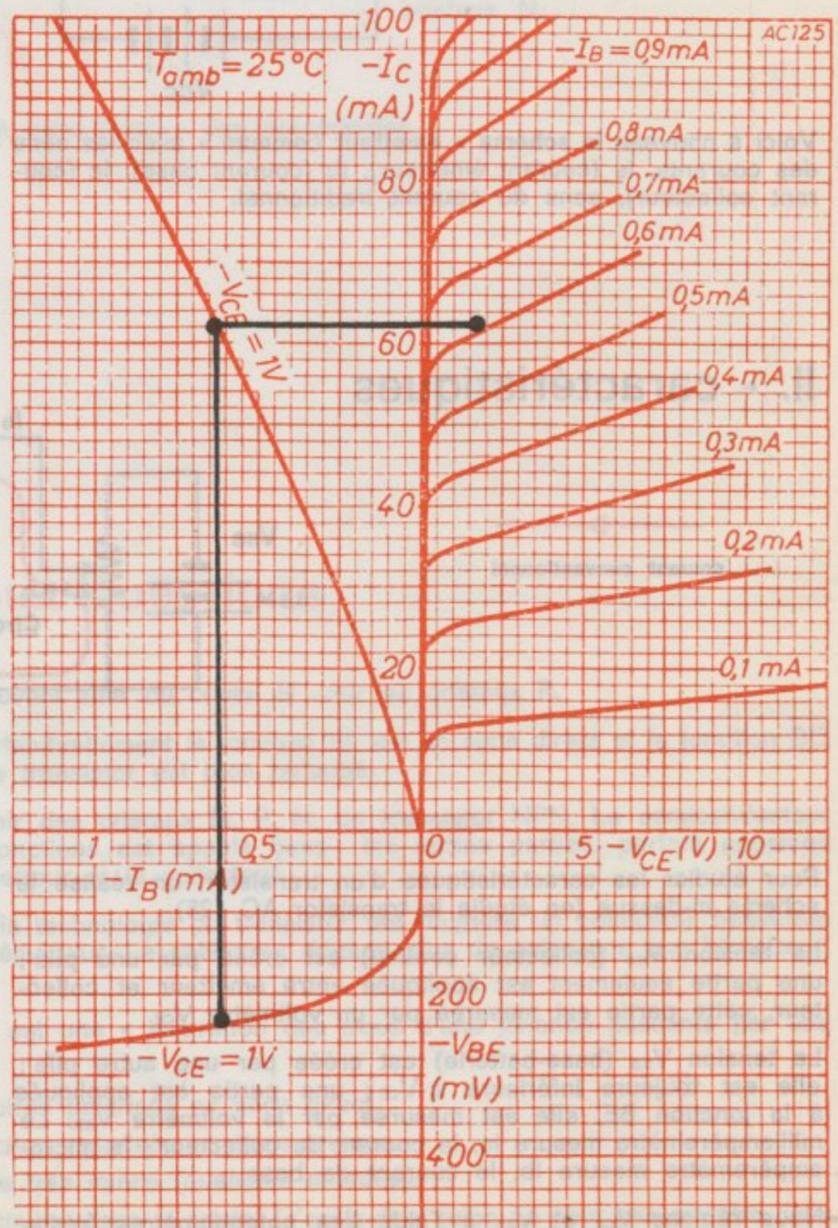


La courbe, caractéristique de sortie, correspond à une valeur de I_b constante. Si nous choisissons de faire à nouveau des mesures pour une autre valeur de I_b , constante, nous aurons une autre courbe de sortie.

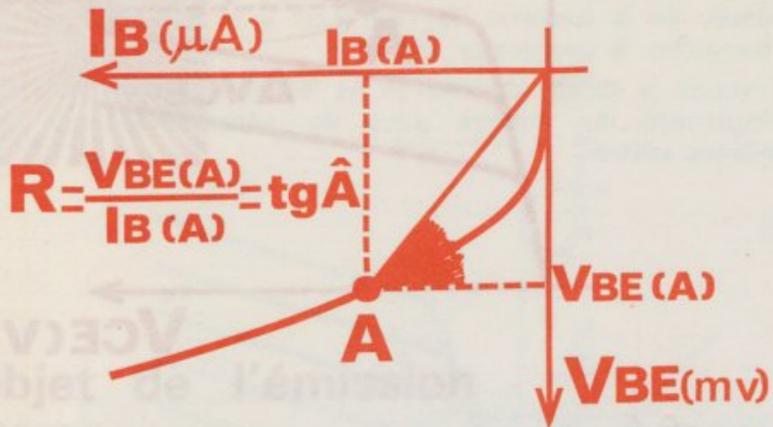
A est le point d'utilisation (il est triple).

On obtient ainsi une famille de courbes, appelée couramment réseau de caractéristiques dont voici un exemple :

TRANSISTOR AU GERMANIUM A JONCTIONS (P. N. P.)
(Applications AF) AC 125



III. - utilisation des caractéristiques



a) Caractéristique d'entrée.

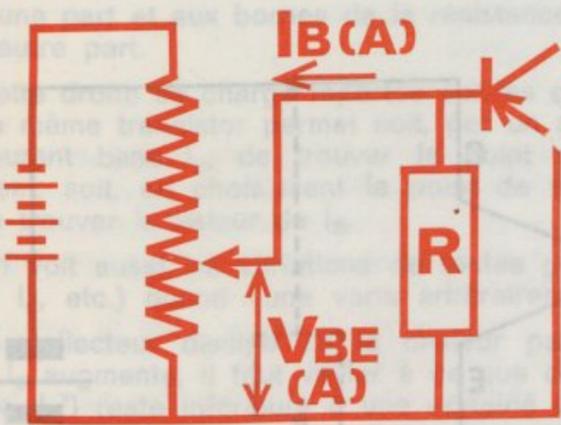
Cette courbe représentant les variations de \$I_B\$ en fonction de \$V_{BE}\$ traduit, d'après la loi d'Ohm, une résistance (\$V = RI\$).

Cette résistance prise en un seul point de la courbe est la résistance d'entrée « en continu » du transistor.

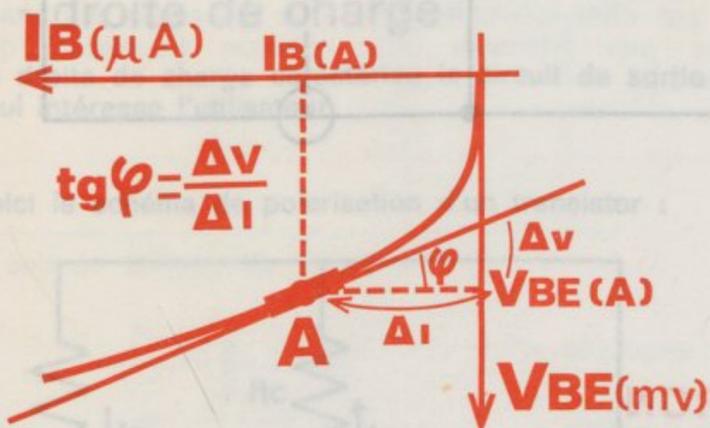
On peut dire également que \$R\$ est la tangente de l'angle \$\hat{A}\$:

$$\text{tg } \hat{A} = \frac{V_{BE}(A)}{I_B(A)}$$

\$R\$ n'est définie que pour un point de fonctionnement \$A\$.



Si \$V_{BE}\$ varie, \$I_B\$ varie, \$R\$ varie.



Reprenons la caractéristique d'entrée et considérons sa pente en \$A\$. Pour cela, tracer la tangente en ce point.

Sur une faible portion, la tangente et la courbe peuvent être confondues.

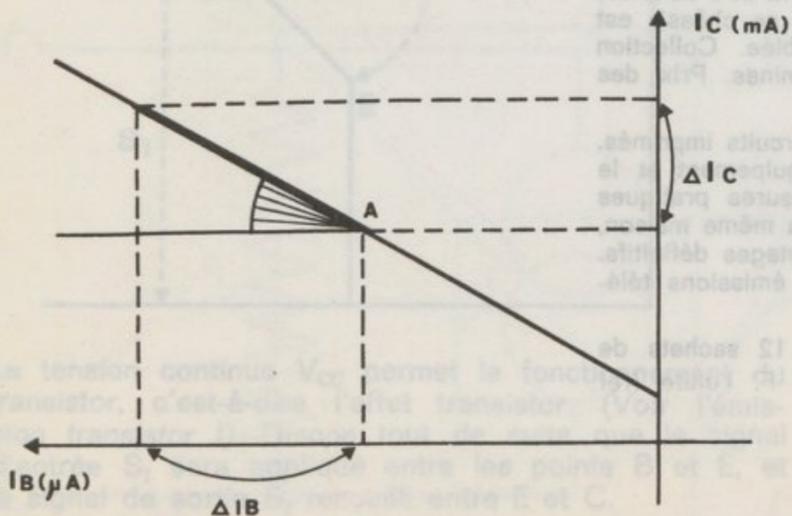
On applique en \$A\$ une faible variation de \$V\$ et de \$I\$.

Examinons cette fois-ci la tangente de l'angle \$\varphi\$:

$$h_{11} = \text{tg } \varphi = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Cette tangente est assimilable à une résistance.

Cette résistance, définie comme la résistance dynamique du transistor, est appelée \$h_{11}\$ (\$h\$, un, un).



b) Caractéristique de transfert.

Cette courbe fait correspondre pour chaque valeur du courant base, une valeur du courant collecteur.

Elle exprime donc le rapport entre le courant d'entrée et le courant de sortie du transistor.

Le coefficient d'amplification, en courant, est représenté par la tangente de l'angle \$\hat{A}\$:

$$h_{21} = \text{tg } \hat{A} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Le coefficient d'amplification est appelé \$h_{21}\$ (\$h\$, deux, un), il correspond à \$\beta\$ en courant alternatif et \$\beta_0\$ en courant continu.

(Le signe \$\Delta\$ signifie « variation de ».)

c) Caractéristique de sortie.

Reportons notre point A dans le réseau de sortie et faisons varier V et I autour de ce point.

La tangente de l'angle \hat{A} s'exprimera ainsi :

$$\operatorname{tg} \hat{A} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}}$$

Cette tangente est assimilable à l'inverse d'une résistance. Elle est appelée h_{22} (h, deux, deux).

$$h_{22} = \frac{1}{R}$$

Les valeurs des paramètres h_{11} , h_{21} , h_{22} sont données par le constructeur pour chaque transistor, mais elles ne sont valables qu'en un point A de la courbe, ce point étant choisi pour des conditions optimales de fonctionnement. Il est indispensable d'avoir à sa disposition les courbes caractéristiques du transistor pour pouvoir travailler en n'importe quel point de celles-ci.

d) Paramètres « h ».

Les paramètres « h » sont employés universellement. Rappelons leurs équivalences physiques :

h_{11} = résistance d'entrée du transistor ;

h_{21} = coefficient d'amplification, en courant, du transistor ;

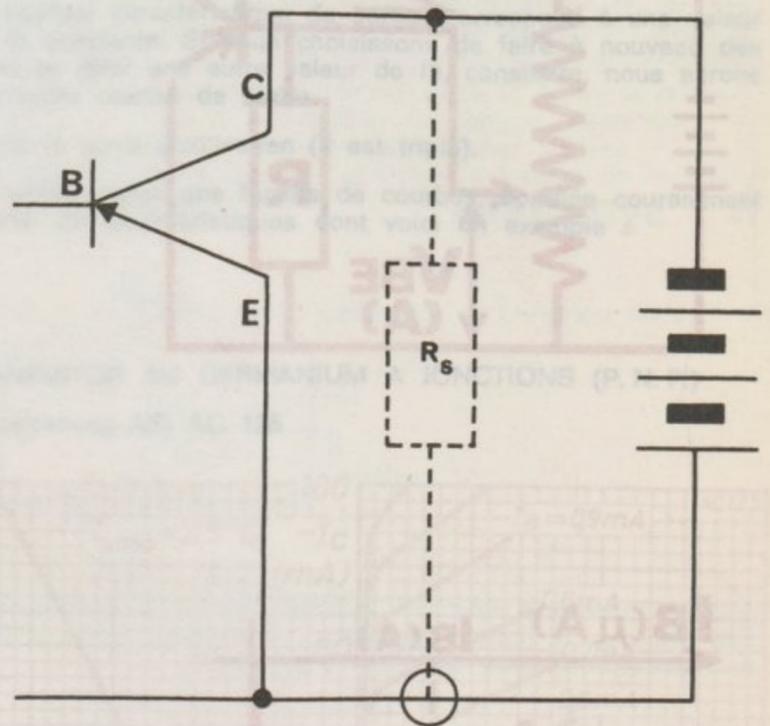
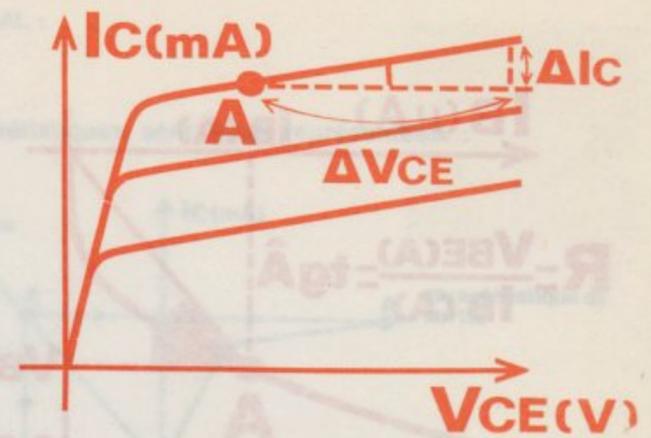
$\frac{1}{h_{22}}$ = résistance de sortie du transistor R_s .

Voici également un ordre de grandeur :

$h_{11} = 1 \text{ K}\Omega$; h_{21} varie entre 0,9 et 200 ;

$h_{22} = \frac{1}{R_s}$ varie entre 50 et 100 $\mu\text{A/V}$;

l'ampère par volt (A/V) est l'inverse de l'ohm, appelé mho.



matériel et fiches de manipulations PIERRON

Il existe une série de « fiches de manipulations d'électricité et d'électronique » fort bien faites.

En particulier, onze fiches ont pour objet l'étude statique du transistor PNP, AC 128, avec tracé des caractéristiques.

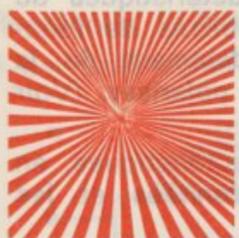
D'autres fiches, dans le même lot, permettent d'étudier les caractéristiques des diodes au germanium, au silicium et de la diode Zener. Ces composants peuvent être achetés, prêts à être enfilés sur le châssis correspondant à la manipulation : ce châssis est commode, fait d'une plaquette de polystyrène, 130 x 190 mm, câblée. Collection **L'électronique à l'école** de HOUZE, édition PIERRON, 57 Sarreguemines. Prix des fiches : 14,50 F ; prix du châssis et composants : 65 F.

Cette même maison édite aussi un ouvrage de travaux pratiques sur circuits imprimés. Il peut servir, soit à faire des circuits imprimés si on possède l'équipement et le temps nécessaire, soit seulement l'étude théorique qui suit les mesures pratiques en utilisant les circuits imprimés, gravés au pas standard de 508 par la même maison, et vendus en sachets avec tous les composants nécessaires aux montages définitifs. Les circuits et expériences proposées correspondent à la suite des émissions télévisées :

Travaux pratiques sur circuits imprimés, prix de l'ouvrage : 18 F ; 12 sachets de matériel pour la réalisation des travaux pratiques : ensemble : 550 F, l'unité (réf. MC 3980) : 65 F.

Ces prix ne sont qu'indicatifs et ont pu légèrement varier.

- Fiche établie par Denyse Cordier.



objet de l'émission

L'étude du transistor avec sa fonction **amplification** demande des notions préliminaires qui sont exposées dans cette émission. L'émission suivante exposera les montages amplificateurs et leurs emplois.

La *droite de charge* représente graphiquement la relation qui existe entre la tension de polarisation du transistor et les tensions entre collecteur et émetteur d'une part et aux bornes de la résistance du collecteur d'autre part.

Cette droite de charge reportée sur les caractéristiques du même transistor permet soit, par un choix initial du courant base I_B , de trouver le point de fonctionnement, soit, en choisissant le point de fonctionnement, de trouver la valeur de I_B .

On voit aussi les variations de toutes grandeurs (V_{BE} , I_B , I_C , etc.) quand l'une varie arbitrairement.

Le collecteur dissipe de la chaleur par effet Joule ; si I_C augmente, il faut veiller à ce que cette puissance ($R_C \cdot I_C^2$) reste inférieure à une certaine valeur appelée *puissance maximale*, pour éviter une détérioration du transistor par fusion.

Les techniciens qui font les calculs nécessaires pour avoir les valeurs des composants d'un montage électronique remplacent le transistor par un montage fictif appelé *schéma équivalent* du transistor.

Ensuite, nous avons les notions d'amplification et de *coefficient d'amplification* illustrées par une expérience où l'amplification d'un signal sinusoïdal est visualisée sur un écran d'oscilloscope.

Les microphones, téléphones, électrophones contiennent tous des amplificateurs à transistors.

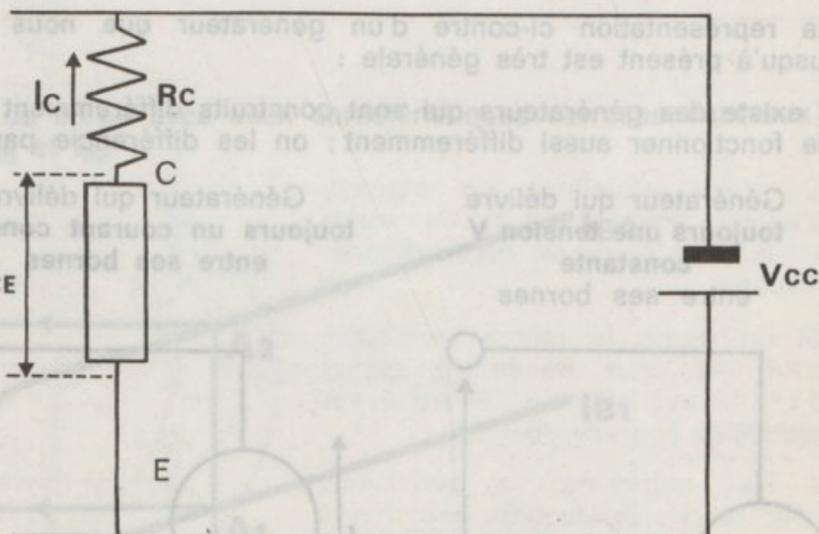
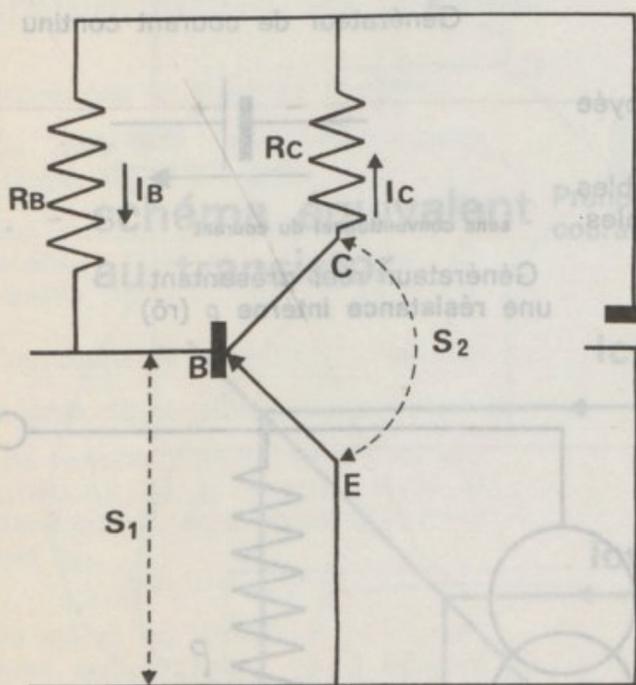
contenu de l'émission

- Droite de charge.
- Variations des tensions et courants.
- Puissance maximale.
- Schéma équivalent au transistor.
- Coefficient d'amplification.

I. - droite de charge

La droite de charge caractérise le circuit de sortie qui seul intéresse l'utilisateur.

Voici le schéma de polarisation d'un transistor :



La tension continue V_{CC} permet le fonctionnement du transistor, c'est-à-dire l'effet transistor. (Voir l'émission transistor I). Disons tout de suite que le signal d'entrée S_1 sera appliqué entre les points B et E, et le signal de sortie S_2 recueilli entre E et C.

On peut transformer cette égalité en :

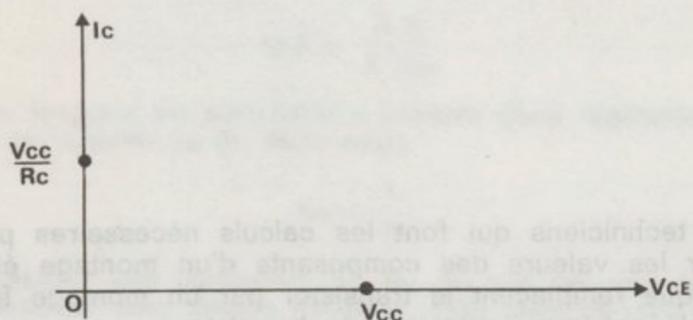
$$V_{CC} = V_{CE} + R_C \cdot I_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$$

où V_{CC} et R_C sont constants.

Si nous donnons des valeurs différentes à I_C , à chacune d'elles correspondra une valeur de V_{CE} ; nous pouvons tracer un graphique en mettant les valeurs de I_C sur l'axe de coordonnées vertical et V_{CE} sur l'axe horizontal.

A chaque couple de valeurs (I_C , V_{CE}) correspond un point et tous les points sont sur une droite (représentation de $y = ax + b$).

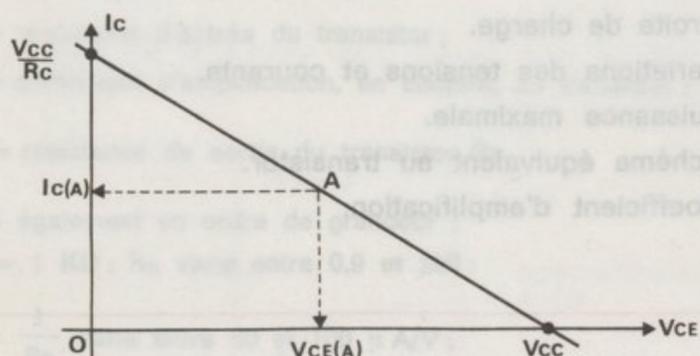


Pour tracer cette droite, supposons $I_C = 0$; $V_{CE} = V_{CC}$ tension de la batterie de polarisation. On a le point sur l'axe horizontal.

Supposons que $V_{CE} = 0$, c'est-à-dire si la résistance interne du transistor est nulle,

$$V_{CC} = R_C \times I_C$$

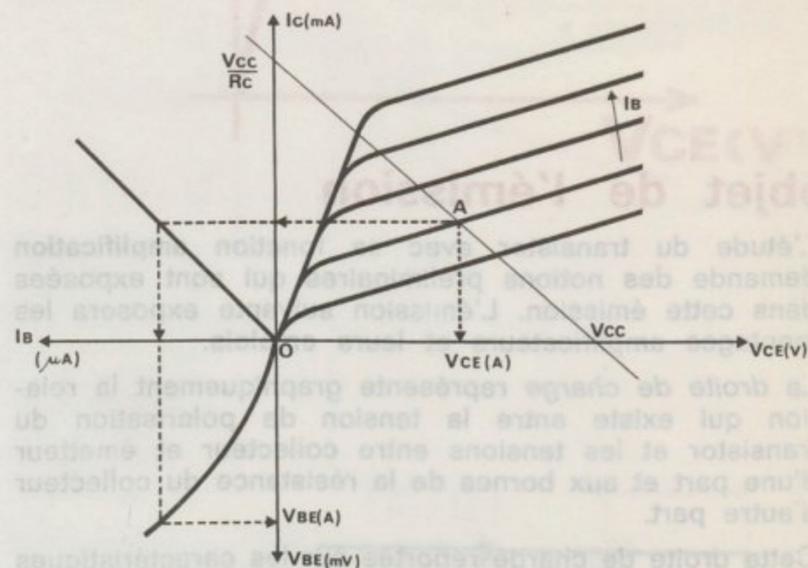
et $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$. Cela permet de placer le point sur l'axe vertical, et de tracer la droite de charge.



Chaque point A donne une possibilité de fonctionnement du transistor polarisé par V_{CC} avec la valeur de la tension V_{CE} (A) et du courant I_C (A).

Reprenons maintenant les courbes caractéristiques du transistor qui donnent toutes les possibilités de fonctionnement de ce transistor, **indépendamment de la valeur de la batterie V_{CC} qui sert à le polariser.** (Voir l'émission 8 transistor II).

Traçons la droite de charge et les caractéristiques, en employant **les mêmes axes de coordonnées et les mêmes unités.**



L'ensemble donne les possibilités de fonctionnement du transistor polarisé avec V_{CC} et R_C .

A chaque valeur de I_B , correspond un point A sur la droite de charge. Supposons maintenant que l'on fasse varier I_B en changeant R_B .

Si R_B diminue, I_B augmente, A monte vers la gauche, I_C croît, I_B aussi, de même V_{BE} .

Si la droite de charge change, par exemple parce que R_C diminue, $\frac{V_{CC}}{R_C}$ augmente, la droite se redresse;

l'ensemble des points A possibles change avec les valeurs correspondantes de V_{CE} , I_C , I_B , V_{BE} .

En particulier I_C augmente et il faut craindre la détérioration du transistor par échauffement car le transistor dégage « de la puissance », c'est-à-dire de la chaleur par effet Joule. Il existe une **puissance maximale** à ne pas dépasser pour chaque transistor, qui limite I_C .

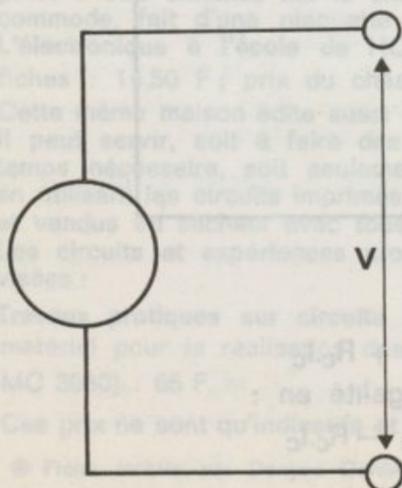
II. - notion d'amplification

Note préliminaire

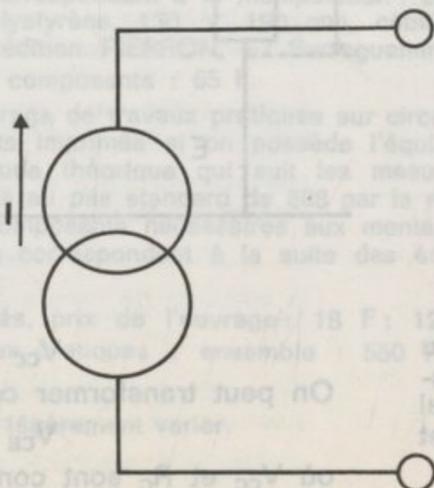
La représentation ci-contre d'un générateur que nous avons employé jusqu'à présent est très générale :

Il existe des générateurs qui sont construits différemment et sont capables de fonctionner aussi différemment; on les différencie par leurs symboles.

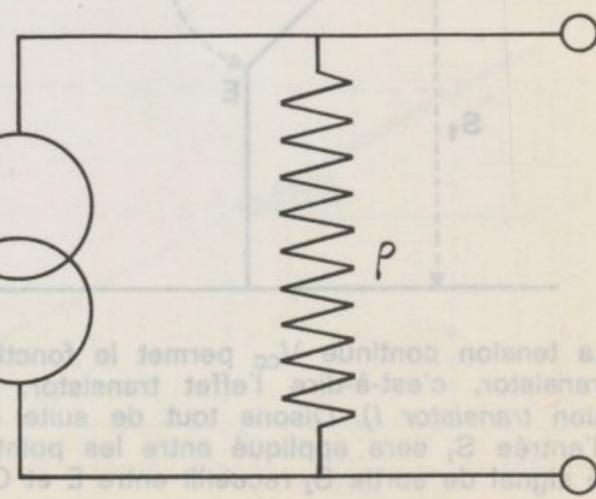
Générateur qui délivre toujours une tension V constante entre ses bornes



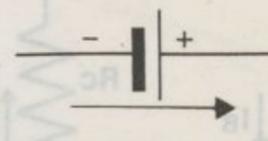
Générateur qui délivre toujours un courant constant entre ses bornes



Générateur réel présentant une résistance interne ρ (r_0)



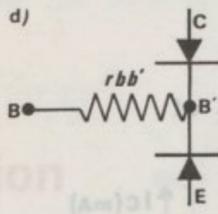
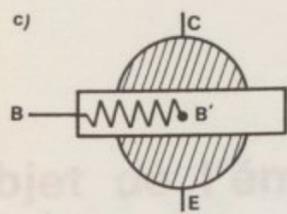
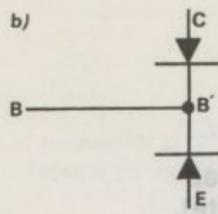
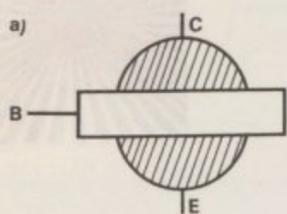
Générateur de courant continu



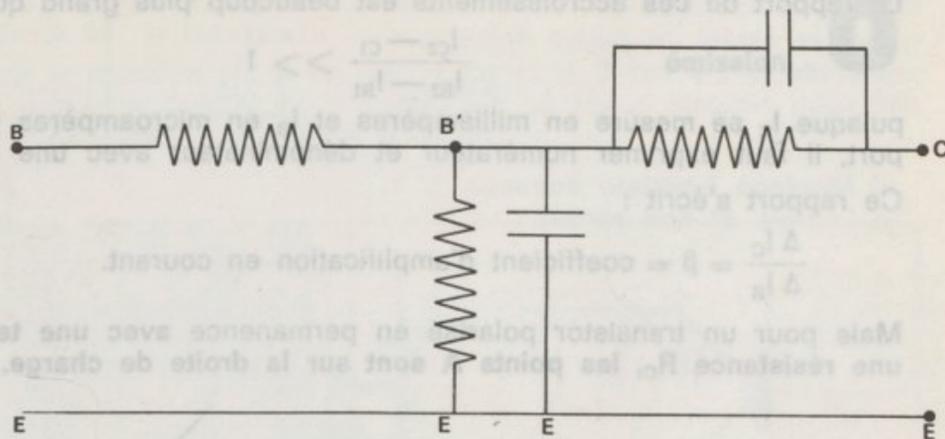
sens conventionnel du courant

Reprenons le transistor.

Il est assimilable à deux jonctions :



En fait ce schéma est souvent présenté autrement ; il suffit de le tordre pour rapprocher collecteur C et émetteur E entre lesquels sont branchés les appareils d'utilisation, et où l'on a le signal de sortie transformé par le transistor.



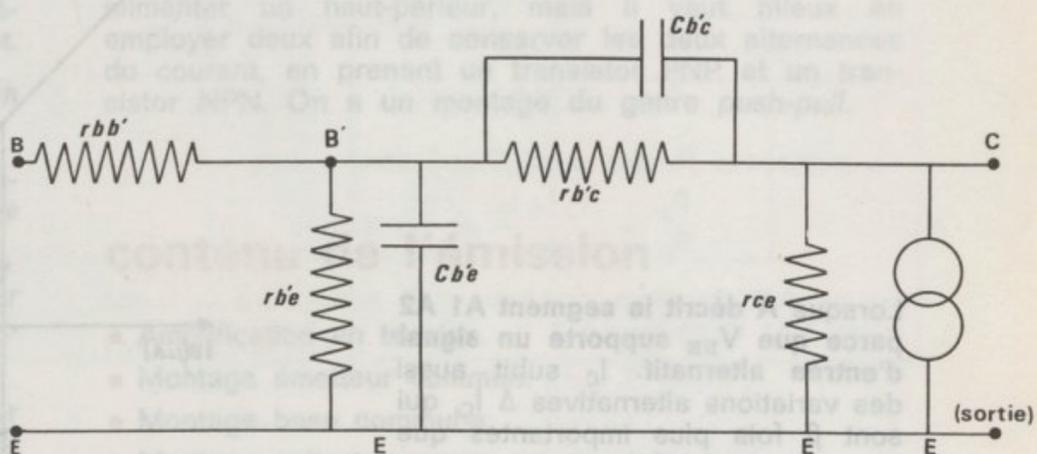
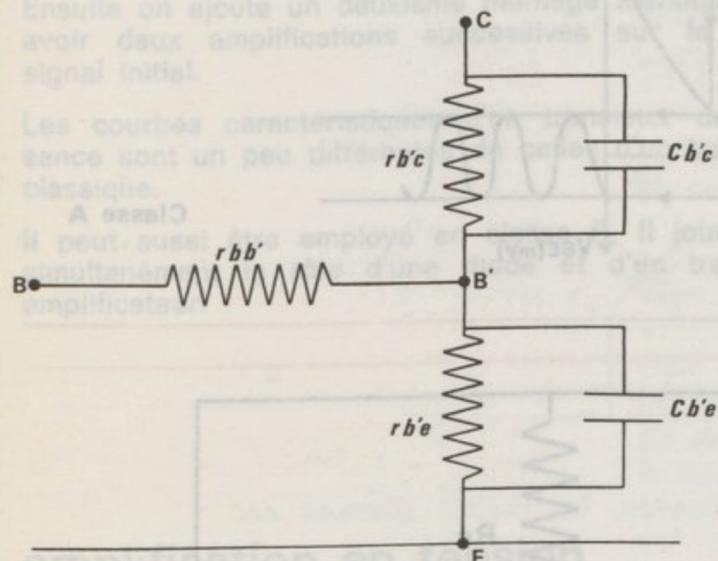
La base entre B, à la soudure de connexion, et B', au centre du cristal, possède une résistance $r_{bb'}$.

La jonction J_{BE} en sens direct a une résistance faible.

La jonction J_{BC} en sens inverse a une résistance forte.

Chaque jonction est constituée par une barrière d'ions positifs et négatifs comme un condensateur (voir l'émission jonction PN).

Voici donc le schéma équivalent :



Il existe toujours entre collecteur et émetteur une résistance interne.

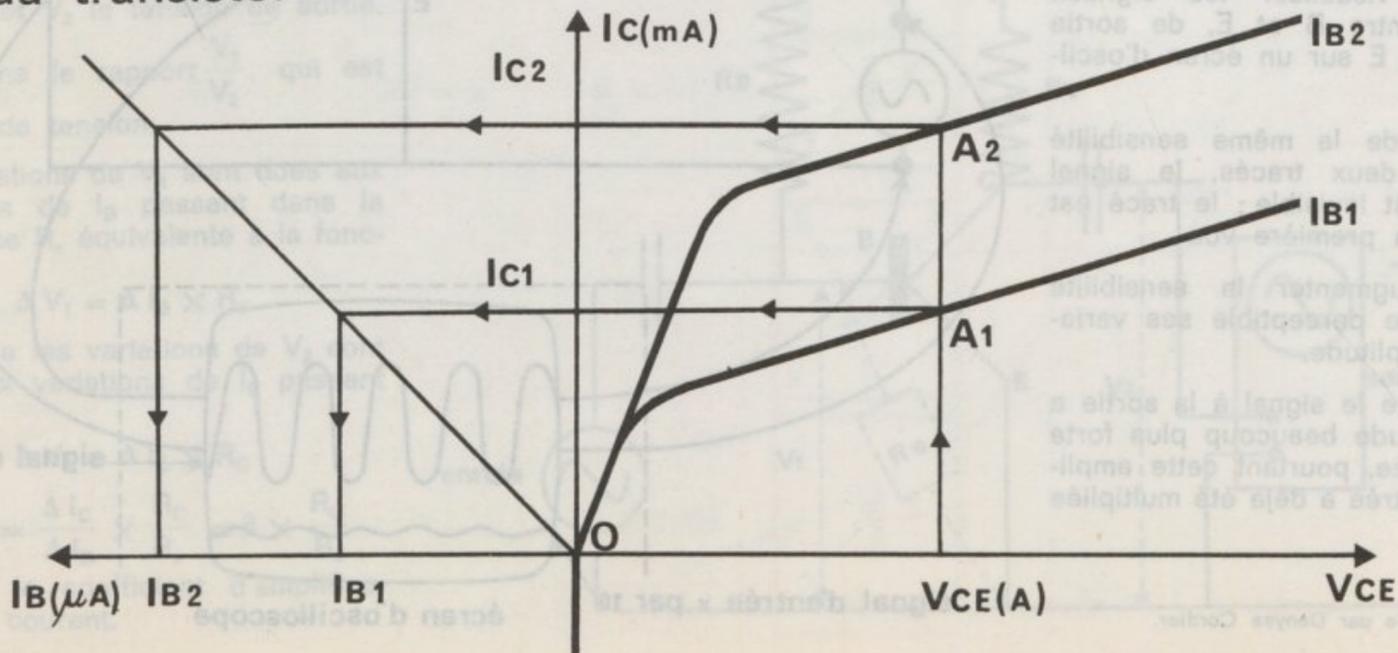
Ajoutons-la, entre C et E ; de plus il y a génération de porteurs dans l'émetteur (voir l'effet transistor dans l'émission transistor I), donc il faut mettre le symbole d'un générateur de courant.

Ce circuit se comporte mathématiquement comme un transistor ; malgré sa complexité, il rend de grands services dans les calculs. Voici quelques valeurs :

- $r_{bb'}$ = 70 ohms
- $r_{b'c}$ = 1 mégohm (MΩ)
- $r_{b'e}$ = 1 000 ohms
- r_{ce} = 10 000 ohms.

III. - schéma équivalent au transistor

Prenons le réseau de sortie avec deux caractéristiques correspondant aux courants de base I_{B1} et I_{B2} .



Pour une même valeur de la tension de polarisation V_{CE} (A) avec les valeurs I_{B1} et I_{B2} , nous avons deux valeurs correspondantes de I_C : I_{C1} et I_{C2} . L'accroissement de I_B qui vaut $(I_{B2} - I_{B1})$, engendre l'accroissement $(I_{C2} - I_{C1})$.

Le rapport de ces accroissements est beaucoup plus grand que UN.

$$\frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}} \gg 1$$

puisque I_C se mesure en milliampères et I_B en microampères (dans le rapport, il faut exprimer numérateur et dénominateur avec une même unité).

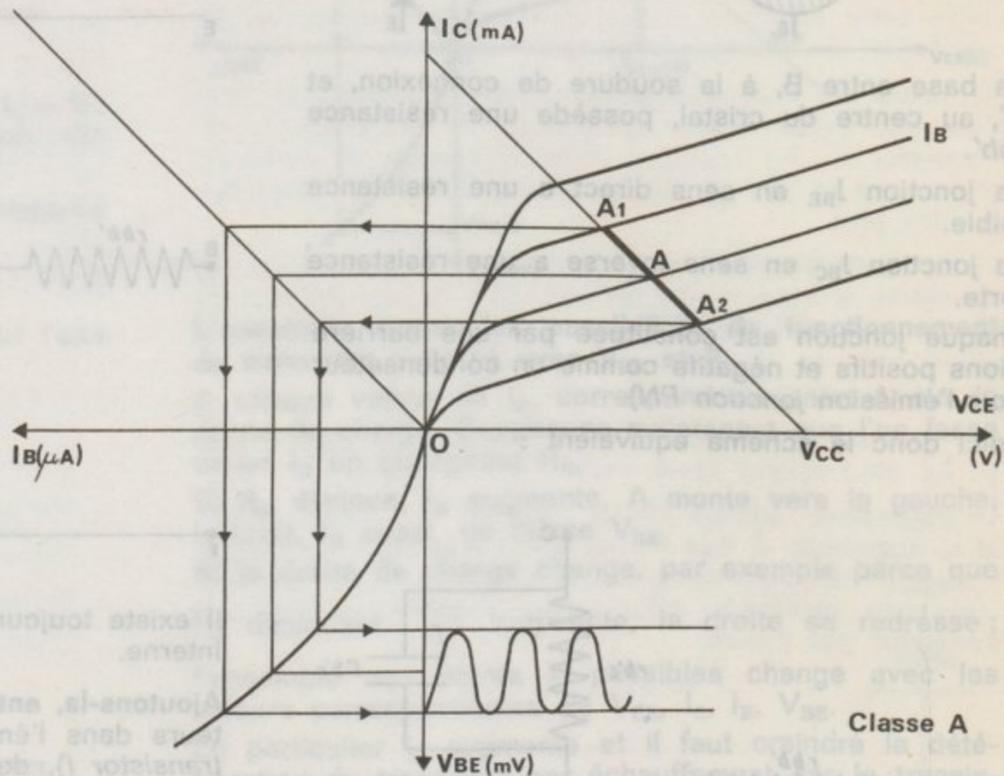
Ce rapport s'écrit :

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \beta = \text{coefficient d'amplification en courant.}$$

Mais pour un transistor polarisé en permanence avec une tension V_{CC} et une résistance R_C , les points A sont sur la droite de charge.

Lorsque A décrit le segment A1 A2 parce que V_{BE} supporte un signal d'entrée alternatif. I_C subit aussi des variations alternatives ΔI_C , qui sont β fois plus importantes que les variations alternatives correspondantes ΔI_B .

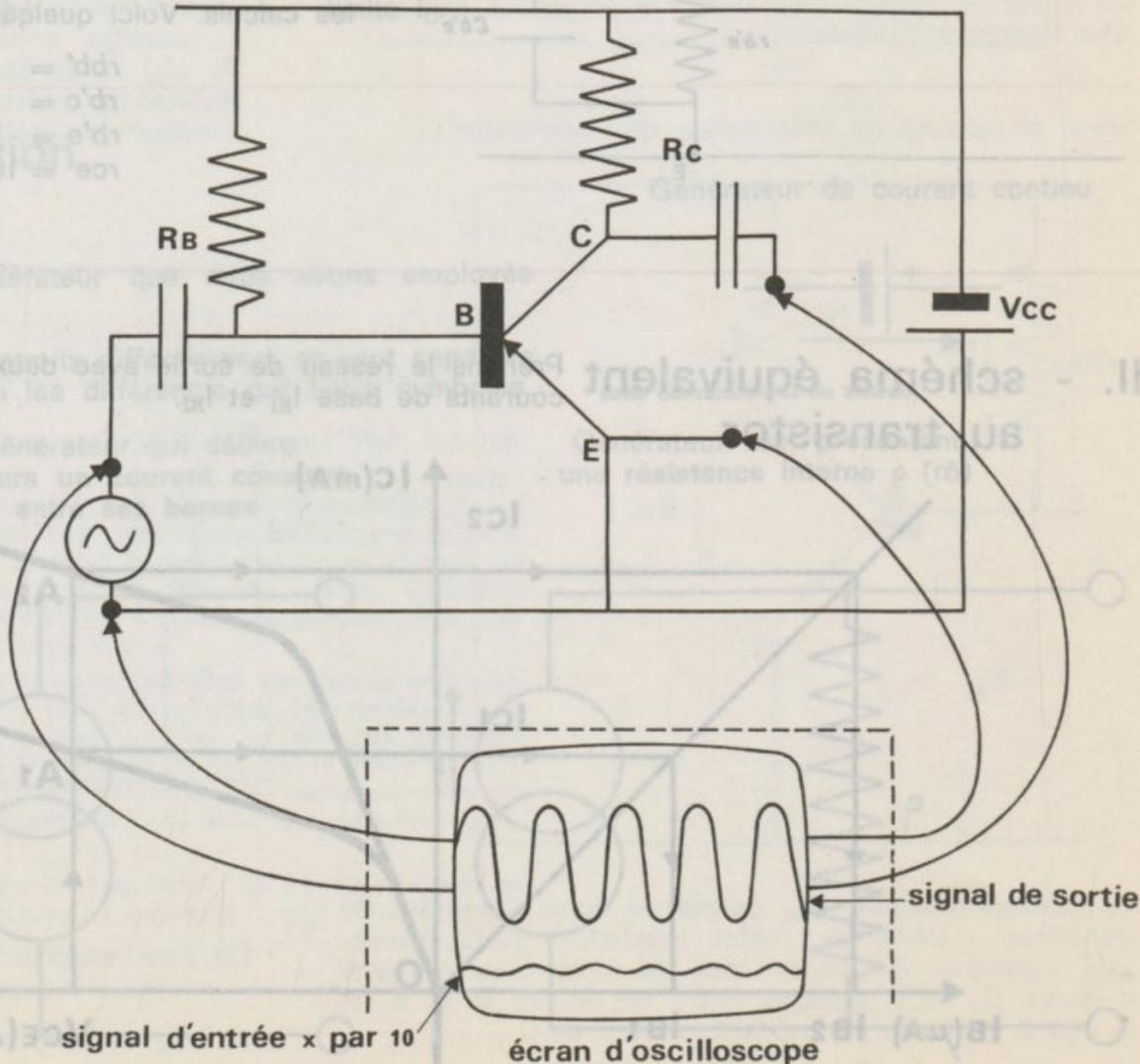
Il y a aussi une variation de V_{CE} , beaucoup plus importante que celle de V_{BE} (les unités sur le graphique sont volt et millivolt).



Classe A

IV. - expérience

Si on fait une expérience en réalisant le montage suivant :



On peut visualiser les signaux d'entrée entre B et E, de sortie entre C et E sur un écran d'oscilloscope.

Si on garde la même sensibilité pour les deux tracés, le signal d'entrée est invisible ; le tracé est rectiligne à première vue.

Il faut augmenter la sensibilité pour rendre perceptible ses variations d'amplitude.

On voit que le signal à la sortie a une amplitude beaucoup plus forte qu'à l'entrée, pourtant cette amplitude à l'entrée a déjà été multipliée par dix.

● Fiche établie par Denyse Cordier.



objet de l'émission

L'étude théorique étant faite dans l'émission précédente, le but de cette émission est d'exposer les différents montages fondamentaux employés couramment.

Il y a ainsi des gains en courant, des gains en tension ou en puissance, différents selon les montages.

On passe facilement d'un montage à l'autre en déplaçant un condensateur et en branchant différemment les signaux d'entrée et de sortie.

Une expérience montre l'amplification d'un signal par un transistor; le signal de sortie alimente un haut-parleur.

Ensuite on ajoute un deuxième montage identique pour avoir deux amplifications successives sur le même signal initial.

Les courbes caractéristiques d'un transistor de puissance sont un peu différentes de celles d'un transistor classique.

Il peut aussi être employé en classe B. Il joue alors simultanément le rôle d'une diode et d'un transistor amplificateur.

On peut utiliser un tel transistor de puissance pour alimenter un haut-parleur, mais il vaut mieux en employer deux afin de conserver les deux alternances du courant, en prenant un transistor PNP et un transistor NPN. On a un montage du genre *push-pull*.

contenu de l'émission

- Amplification en tension.
- Montage émetteur commun.
- Montage base commune.
- Montage collecteur commun.
- Récapitulation des gains obtenus.
- Expériences d'amplification.
- Amplificateur de puissance employé en classe B.
- Alimentation d'un haut-parleur par deux transistors PNP et NPN.
- Rendement des classes A et B.

amplification en tension

Reprenons le montage ci-contre.

On met une tension alternative comme signal d'entrée.

On obtient une amplification en tension. Soit V_1 la tension de l'entrée et V_2 la tension de sortie.

Cherchons le rapport $\frac{V_2}{V_1}$, qui est le gain de tension.

Les variations de V_1 sont dues aux variations de I_B passant dans la résistance R_e équivalente à la fonction J_{BE} .

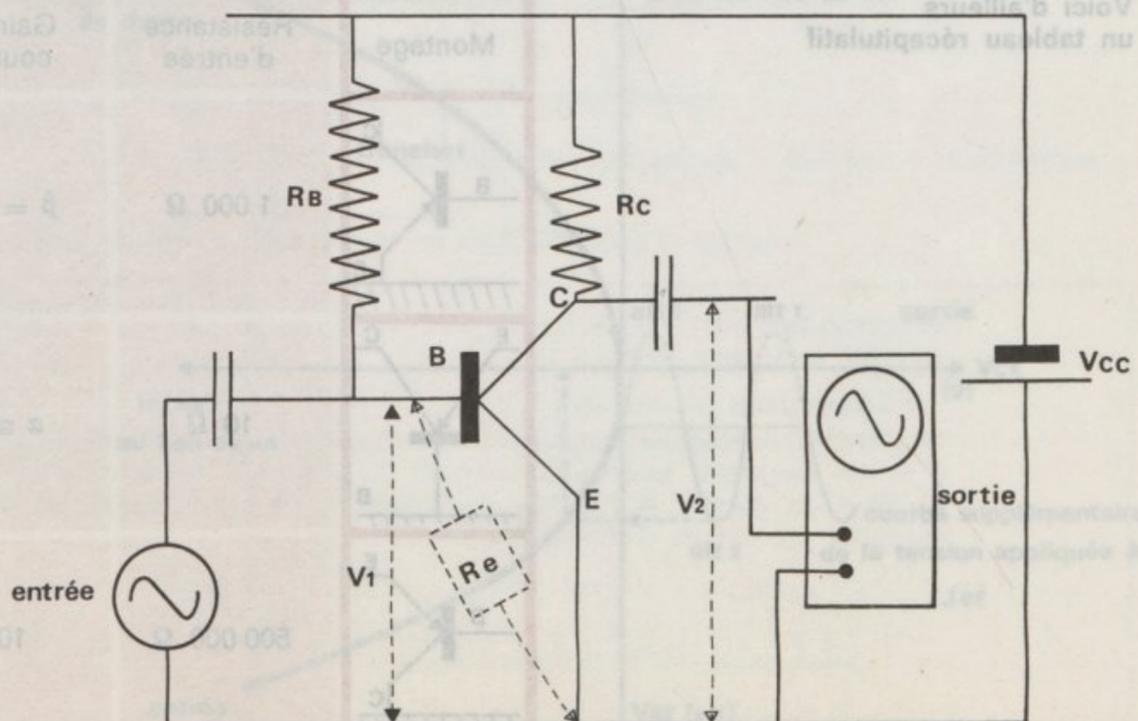
$$\Delta V_1 = \Delta I_B \times R_e$$

De même les variations de V_2 sont dues aux variations de I_C passant par R_C .

$$\Delta V_2 = \Delta I_C \times R_C$$

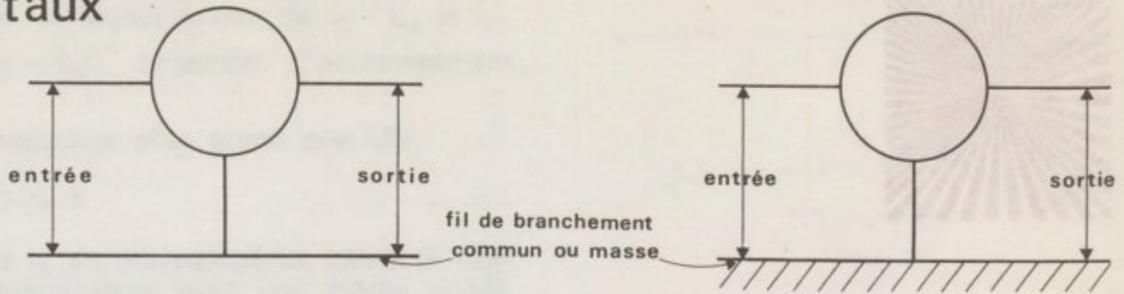
$$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \times \frac{R_C}{R_e} = \beta \times \frac{R_C}{R_e}$$

β étant le coefficient d'amplification en courant.

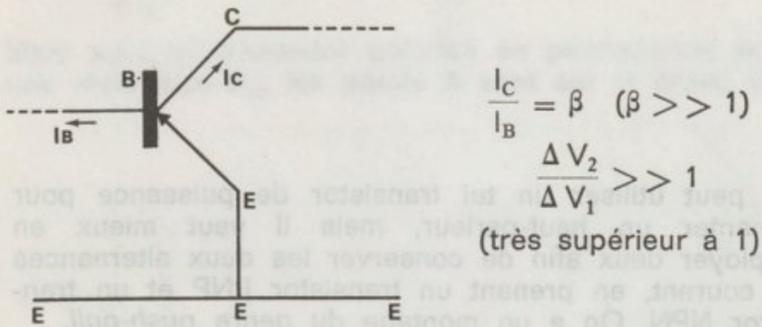


les montages fondamentaux

Dans tous les montages suivants le signal d'entrée est reçu à gauche, le signal de sortie disponible à droite.



a) Montage émetteur commun (à l'entrée et à la sortie).



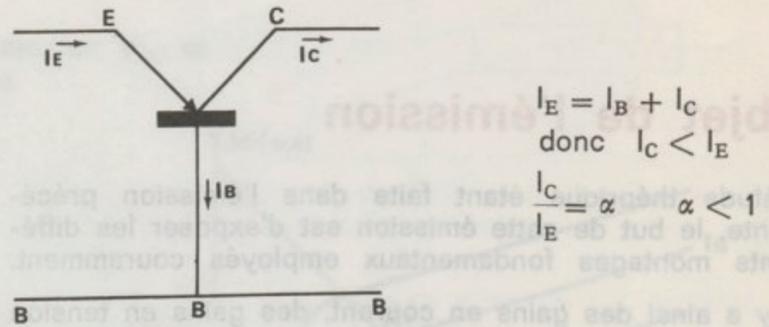
La puissance P vaut donc $V \times I$ donc :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 \times I_C}{V_1 \times I_B} = \frac{V_2}{V_1} \times \frac{I_C}{I_B}$$

Le produit de deux nombres très supérieurs à 1 est aussi très supérieur à 1

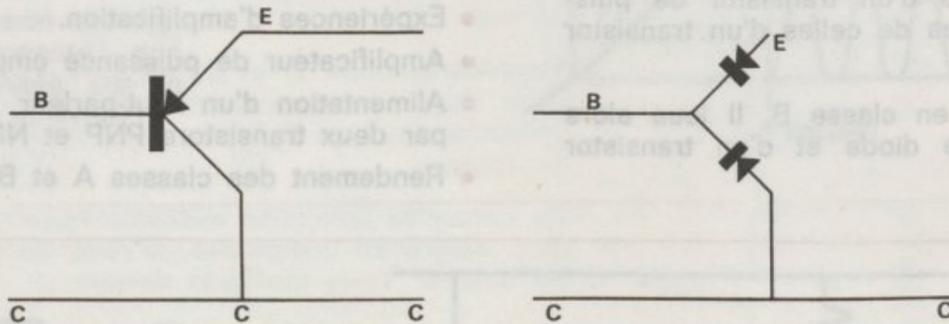
$$P_2 \gg P_1$$

b) Montage base commune (à l'entrée et à la sortie) la résistance d'entrée est faible.



Le gain en tension est assez fort ; le gain en puissance est moyen.

c) Montage collecteur commun



La jonction J_{BC} est bloquée, elle a une grande résistance, le courant d'entrée est faible (I_B).

Le courant de sortie est fort (I_E).

Il y a un gain en courant élevé, un gain en tension faible, un gain en puissance moyen.

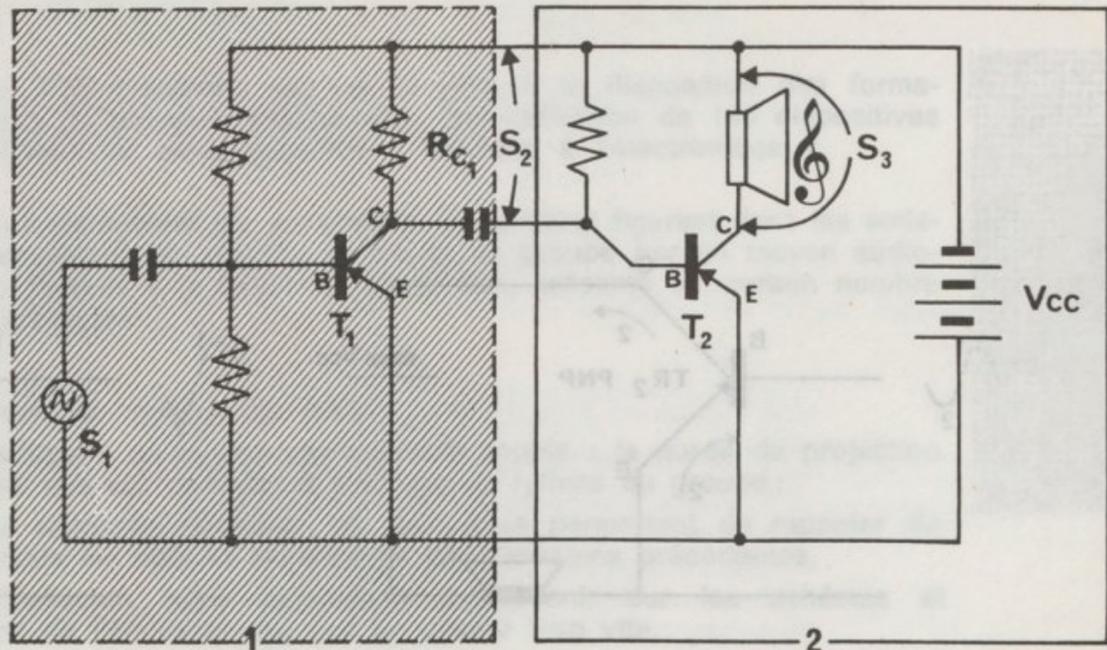
Voici d'ailleurs un tableau récapitulatif

Montage	Résistance d'entrée	Gain en courant	Gain en tension	Gain en puissance
	1 000 Ω	$\beta = 100$	200	fort
	10 Ω	$\alpha \approx 1$	2 000	moyen
	500 000 Ω	100	≈ 1	moyen

expérience d'amplification double

Dans cette expérience on compare deux amplifications d'un même signal S_1 . On emploie le montage (2) seul, le haut-parleur donne un son faible. (S_1 est à la place de S_2 sur la figure).

Puis on ajoute le montage (1) et on met le signal S_1 à son entrée, sa sortie S_2 servant à alimenter l'entrée du montage (2). Le signal amplifié deux fois devient S_3 . Le haut-parleur donne un son fort.



amplificateurs de puissance

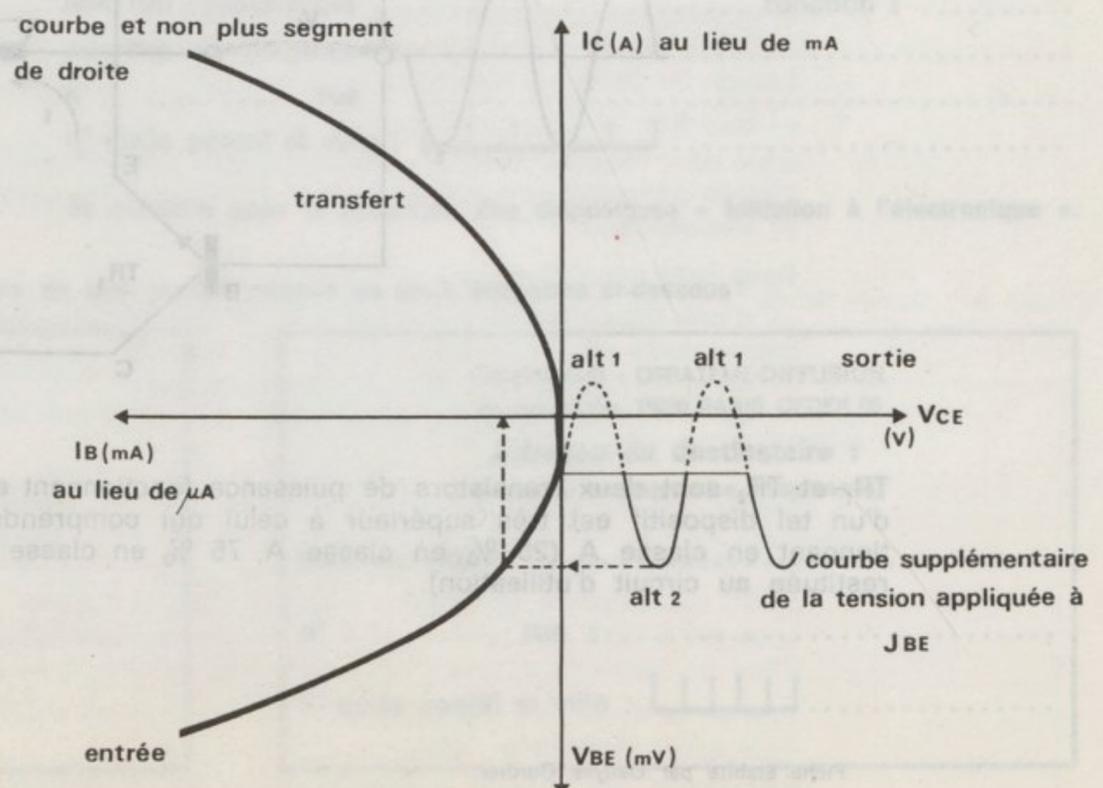
Un amplificateur de puissance a des courbes caractéristiques différentes de celles d'un transistor classique.

D'autre part, il fonctionne en **classe B**. Reprenez la seconde figure du § III de l'émission précédente *amplification 1*, vous voyez que, lorsque V_{BE} varie suivant une sinusoïde, I_B varie aussi autour d'une valeur moyenne, de même I_C .

Ceci est un fonctionnement en **classe A**, le transistor est toujours traversé par un courant plus ou moins fort.

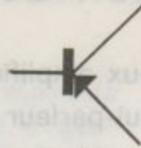
En **classe B**, il n'est traversé par un courant que la moitié du temps car la tension alternative d'entrée varie autour d'une valeur nulle de telle sorte que la jonction J_{BE} est bloquée la moitié du temps. (La courbe d'entrée est la caractéristique en sens direct de la diode J_{BE}).

Le transistor ne conduit le courant que durant une seule alternance sur deux, ici alt_2 . Durant alt_1 le courant I_B est nul et donc aussi I_C .

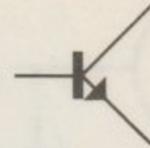


Alimentation d'un haut-parleur par deux transistors PNP et NPN de puissance (classe B).

Transistor PNP, de symbole



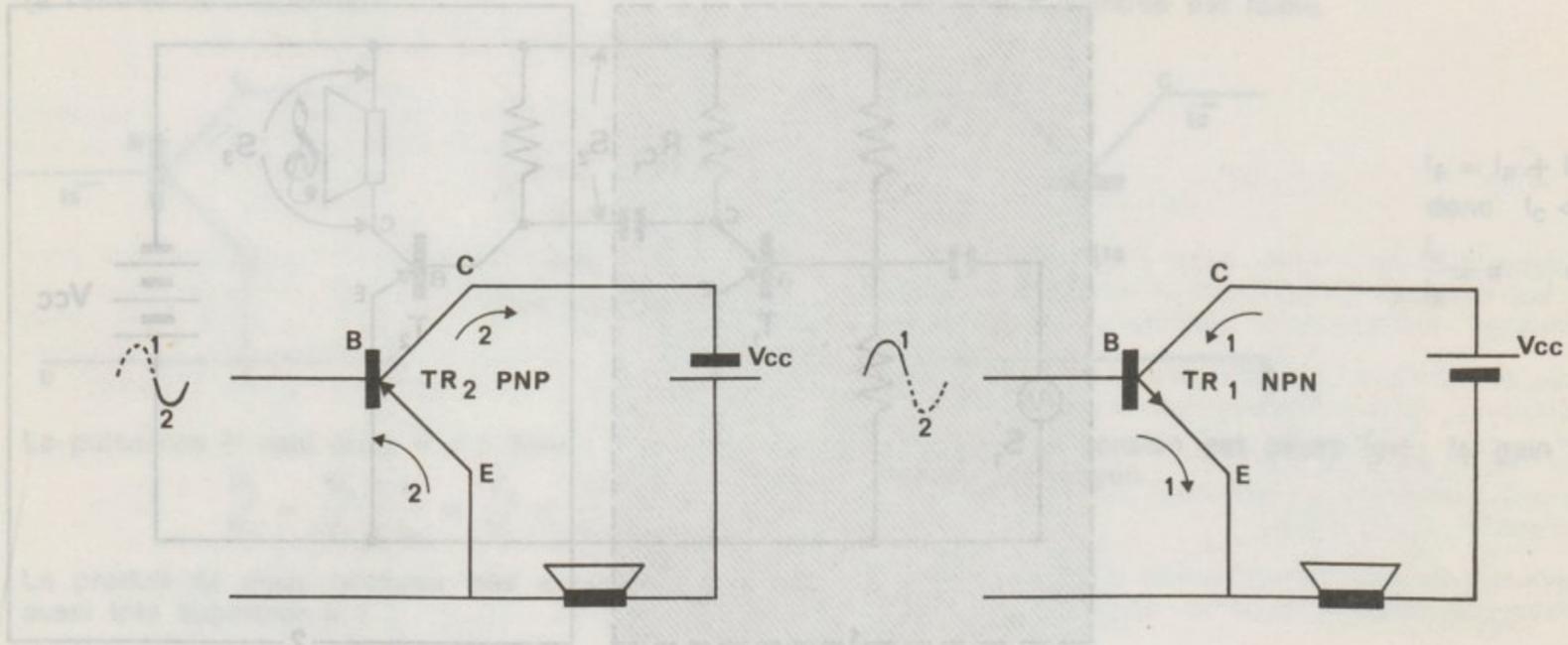
Transistor NPN, de symbole



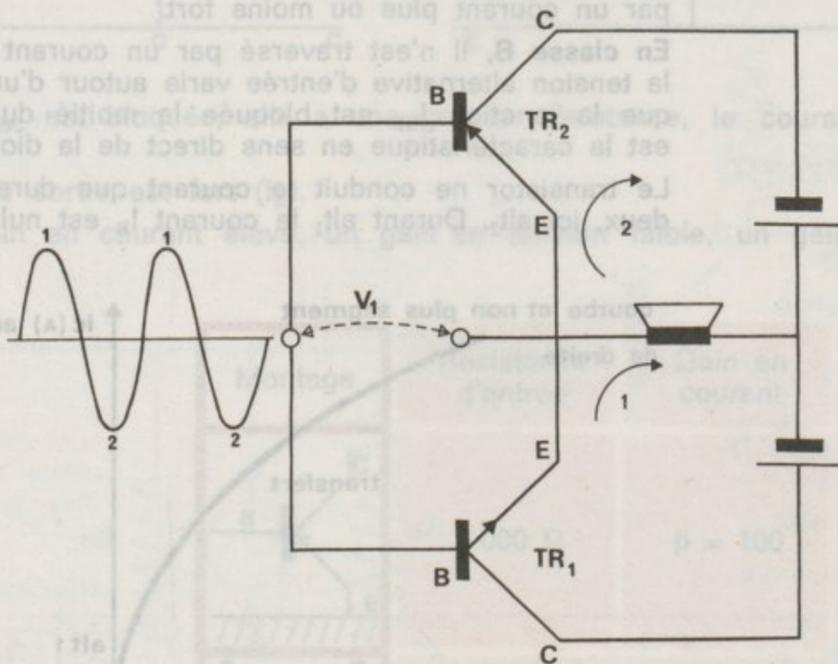
Seule l'alternance négative permet le passage des courants I_B et I_C .

le sens de la jonction J_{BE} est inversé.

Dans un circuit comme le précédent, il faut inverser le sens de V_{CC} pour que J_{BE} soit en sens passant. Le transistor conduira pendant la demi-période ou alternance positive.



Si on réunit ces deux circuits sur une même figure, puis si nous retournons le circuit de gauche et si enfin, nous branchons le haut-parleur sur les 2 circuits associés, nous arrivons à un fonctionnement continu du haut-parleur ou appareil d'utilisation lorsque les jonctions J_{BE} supportent une tension alternative.



TR_1 et TR_2 sont deux transistors de puissance fonctionnant en classe B. Le rendement d'un tel dispositif est très supérieur à celui qui comprendrait des transistors fonctionnant en classe A (25 % en classe A, 75 % en classe B, de l'énergie reçue est restituée au circuit d'utilisation).

techniques modernes

AUTOMATISMES

série 12

De la logique aux automatismes séquentiels

7 émissions (extraites de la série de 13 émissions diffusées l'an dernier)

formant un ensemble ou **module**

1 émission par semaine

le dimanche à 10 h 30 sur la 2^e chaîne

le mercredi à 9 h sur la 1^{re} chaîne (rediffusion)

1^{re} émission le 8 décembre 1974



Une formation à votre disposition comprenant :

● 7 émissions issues de la série de 13 émissions déjà diffusées;

● 1 cahier d'accompagnement rassemble :

— le contenu des émissions,

— des compléments d'information,

— des exercices d'application préparatoires à l'utilisation d'un « Matériel d'entraînement »;

● 1 « Matériel d'entraînement au raisonnement logique pour le dépannage et la conception » (2 tomes).

Un ensemble de travail pour vous faire acquérir le vocabulaire de base des automatismes logiques,

... et vous faire

— analyser le fonctionnement d'un automate industriel (électromagnétique, pneumatique, électronique),

— apprendre à lire des schémas d'automatismes,

— utiliser les différents modes de simplification des schémas;

... vous apprendre

— à identifier des mémoires, des temporisateurs, des conditions de sécurité, des types de marche,

— à construire des diagrammes, à les lire et à les interpréter,

— à connaître les méthodes qui vous permettront d'analyser les spécifications d'une étude, et de la résoudre...

— à concevoir des installations automatiques.

Le « Matériel d'entraînement » comprend pour chaque émission :

— des fiches d'évaluation

à travers les questions posées et les solutions adaptées à chaque type de réponse, vous vous rendrez compte de ce que vous savez après l'émission et l'étude du cahier d'accompagnement;

— des fiches d'apprentissage

vous vous rapprocherez des situations, des problèmes que vous rencontrez par l'étude d'installations choisies en technologie électromécanique, pneumatique et électronique.

Pour cela vous disposez :

— d'une maquette qui simule le fonctionnement d'une installation à l'aide de composants en carton mobiles sur une plaque;

— de schémas dans différentes technologies;

— de rhodoïds qui vous permettent de comparer vos schémas avec les réponses proposées.

POUR LE TRAVAIL EN GROUPE

● 1 cahier destiné au formateur.

● 60 diapositives en couleurs constituent un précieux outil d'évaluation qui vous permettra de faire le point de connaissances acquises.

Elles ne sont exploitables qu'avec le cahier destiné au formateur.

Prix de la collection franco : 80 F.

+ le livret formateur : 20 F.

Règlement par chèque postal, bancaire ou mandat-lettre établi à l'ordre de M. l'Agent comptable de l'Ofrateme, C.C.P. 9135 16 Paris.

bon de commande

à découper et à renvoyer
sous enveloppe, avec son règle-
ment, à
OFRATEME-DIFFUSION

29, rue d'Ulm,
75230 Paris Cedex 05
Ci-joint 80 F.

- par : Chèque postal
- Chèque bancaire
- Mandat-lettre

établi à l'ordre de M. l'Agent comptable
de l'OFRATEME (R. T. S.-Promotion),
C. C. P. n° 9135-16 Paris.

DES DIAPOSITIVES - AUTOMATISMES -

nom de l'organisme :

nom du responsable : fonction :

adresse de l'organisme :

n° : rue :

n° code postal et ville : [][][][][][]

Afin d'éviter toute erreur, nous vous remercions de bien vouloir remplir l'étiquette
ci-dessous, qui servira à l'envoi :

EXPEDITEUR : OFRATEME-DIFFUSION
29, rue d'Ulm, 75230 PARIS CEDEX 05
Adresse du destinataire :
(à libeller en majuscules d'imprimerie)
nom ou étabt. :
n° : rue :
n° code postal et ville : [][][][][][]



bon de commande

à découper et à renvoyer
sous enveloppe, avec son règle-
ment, à
OFRATEME-DIFFUSION

29, rue d'Ulm,
75230 Paris Cedex 05
Ci-joint 40 F.

- par : Chèque postal
- Chèque bancaire
- Mandat-lettre

établi à l'ordre de M. l'Agent comptable
de l'OFRATEME (R. T. S.-Promotion),
C. C. P. n° 9135-16 Paris.

DES 2 TOMES DU « MATERIEL D'ENTRAINEMENT AU RAISONNEMENT LOGIQUE
POUR LE DEPANNAGE ET LA CONCEPTION »

nom :

s'il s'agit d'un organisme :

nom du responsable : fonction :

adresse de l'organisme :

n° : rue :

n° code postal et ville : [][][][][][]

Afin d'éviter toute erreur, nous vous remercions de bien vouloir remplir les deux
étiquettes ci-dessous :

EXPEDITEUR : OFRATEME-DIFFUSION
29, rue d'Ulm, 75230 PARIS CEDEX 05
Adresse du destinataire :
(à libeller en majuscules d'imprimerie)
nom ou étabt. :
n° : rue :
n° code postal et ville : [][][][][][]

EXPEDITEUR : OFRATEME-DIFFUSION
29, rue d'Ulm, 75230 PARIS CEDEX 05
Adresse du destinataire :
(à libeller en majuscules d'imprimerie)
nom ou étabt. :
n° : rue :
n° code postal et ville : [][][][][][]

adresses utiles

direction générale :

OFRATEME
29, rue d'Ulm,
75230 PARIS Cedex 05
Téléphone : 325.41.64

pour toute demande
de renseignements,
écrivez à :

R.T.S.-PROMOTION

31, RUE DE LA VANNE 92120 MONTROUGE

(métro Porte d'Orléans).
657.11.88

ou téléphonez à :

vous pouvez
vous adresser également
aux Centres régionaux
de recherche
et de documentation pédagogiques :

80026	AMIENS cedex	33, rue des Minimes	92.07.08
25003	BESANÇON cedex	17, rue Renan (b. p. 1153)	83.74.49
33075	BORDEAUX cedex	75, cours d'Alsace-Lorraine	44.12.92
14034	CAEN cedex	21, rue du Moulin-au-Roy	81.08.60
63037	CLERMONT-FERRAND cedex	15, rue d'Amboise	92.41.91
21013	DIJON cedex	Campus universitaire de Montmuzard, boulevard Gabriel (b. p. 490)	30.83.92
38031	GRENOBLE cedex	11, rue du Général-Champon	87.77.61
59046	LILLE cedex	3, rue Jean-Bart	57.16.60
87031	LIMOGES cedex	44, rue Gay-Lussac	77.79.53
69316	LYON cedex 1	47, rue Philippe-de-Lassalle (4 ^e)	29.97.75
13291	MARSEILLE cedex 2	55, rue Sylvabelle (6 ^e)	37.40.39
34064	MONTPELLIER cedex	Allée de la Citadelle	72.25.30
54000	NANCY	99, rue de Metz	52.85.14
44036	NANTES cedex	17, rue Gambetta (b. p. 1001)	74.85.19
06000	NICE	117, rue de France	87.91.10
45012	ORLEANS cedex	55, rue Notre-Dame-de-la-Recouvrance	62.23.90
75230	PARIS cedex 05	29, rue d'Ulm (5 ^e)	325.41.64
86034	POITIERS cedex	6, rue Sainte-Catherine	41.34.83
51063	REIMS cedex	47, rue Simon (b. p. 387)	47.94.25
35003	RENNES cedex	92, rue d'Antrain (b. p. 113)	36.05.76
76041	ROUEN cedex 3038	2, rue du Pr.-Fleury, Mont-Saint-Aignan	74.16.85
67007	STRASBOURG cedex	5, quai Zorn (b. p. 279/R7)	35.57.74
31069	TOULOUSE cedex	3, rue Roquelaine	62.54.54

série

11