



SEMI - CONDUCTEURS

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

Avec la précédente leçon, nous avons vu que les propriétés d'une diode peuvent être exprimées au moyen d'une **CARACTERISTIQUE TENSION-COURANT**. Cette caractéristique est obtenue en mesurant les diverses tensions appliquées à la diode ainsi que les intensités correspondantes, du courant qui la parcourt.

La figure 1 représente la courbe typique caractéristique d'une diode à jonction. En l'examinant attentivement, on remarque que la courbe passe toujours par les axes, c'est-à-dire qu'en l'absence de tension appliquée aux bornes de la diode, **LE COURANT NE PASSE PLUS**.

La partie de droite montre qu'en augmentant la tension directe V_d appliquée à la diode, le courant direct I_d augmente très rapidement. En effet, pour des tensions de quelques volts, le courant atteint déjà les limites maximum tolérées c'est-à-dire quelques milliampères pour une diode de petite puissance, jusqu'à plusieurs ampères pour les diodes de forte puissance.

La partie gauche de la caractéristique, correspondant à la polarisation inverse de la diode, montre qu'en augmentant la tension négative appliquée, le courant devient très faible, même si l'on arrive à des tensions de plusieurs volts. En effet, la caractéristique reste toujours à la même distance de l'axe horizontal (figure 1).

Compte-tenu de ceci, on peut donc penser que la tension inverse peut augmenter sans limitation puisque le courant, ayant atteint la limite de saturation (correspondant à la concentration des porteurs minoritaires) n'augmente plus.

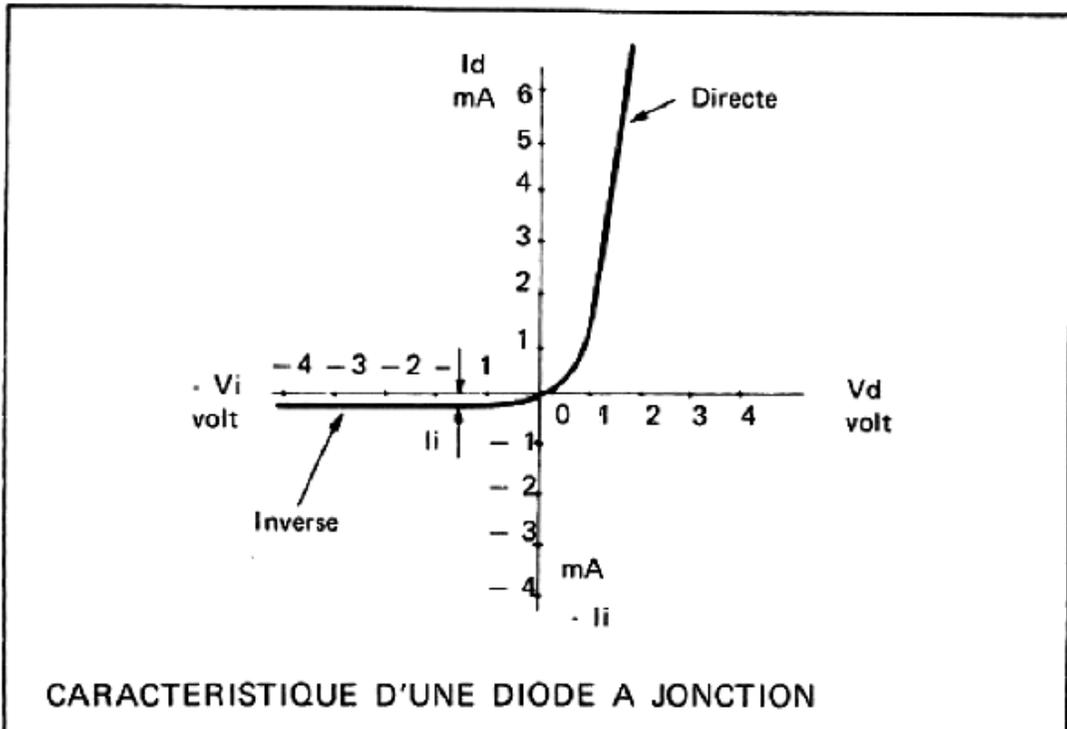


Figure 1

En réalité, le courant n'est constant que jusqu'à un point bien défini de la tension, après quoi il commence à augmenter très rapidement, à tel point que la CARACTERISTIQUE INVERSE PASSE DE LA POSITION PRESQUE HORIZONTALE A LA POSITION VERTICALE (figure 2).

On constate donc une augmentation considérable des porteurs minoritaires et par conséquent, le courant inverse devient beaucoup plus intense.

On appelle ce phénomène EFFET ZENER, d'après le nom du savant qui le découvrit et réussit à en donner l'explication.

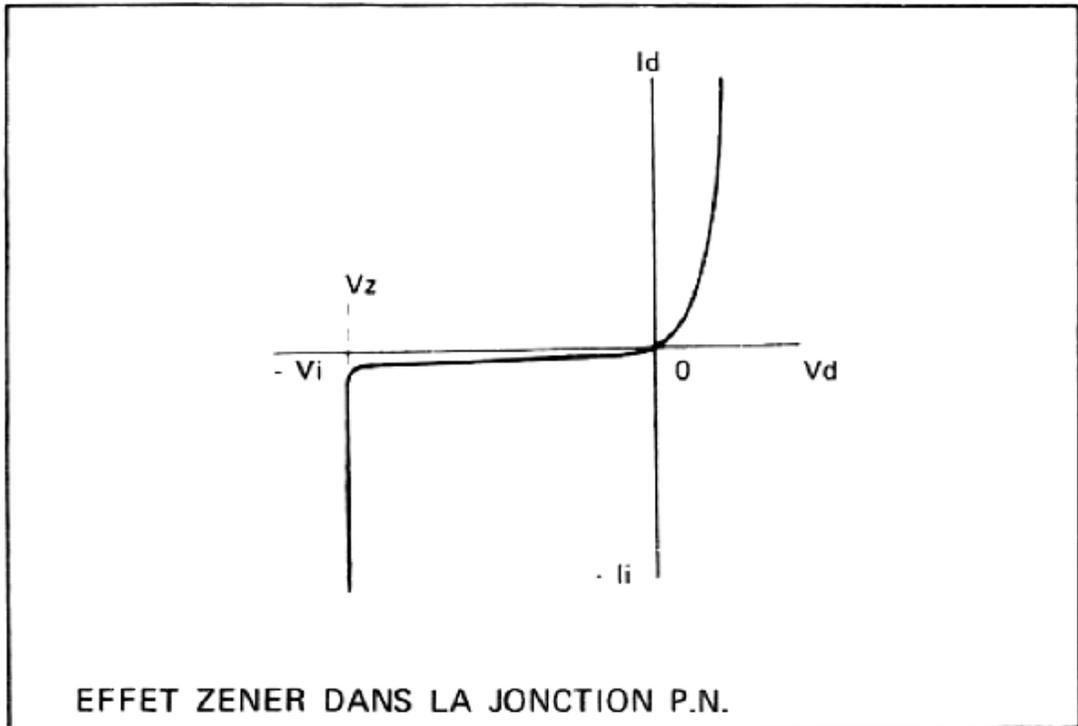


Figure 2

La tension à laquelle le phénomène se manifeste est dite **TENSION DE ZENER** (V_z de la figure 2).

I - EFFET ZENER ET EFFET AVALANCHE

Pour expliquer l'EFFET ZENER, il est nécessaire de rappeler que lorsqu'une diode est polarisée **INVERSEMENT**, nous avons un **COURANT INVERSE**, constitué de **PORTEURS MINORITAIRES**, dus à la formation de **COUPLES ELECTRON-TROUS**, causée par la rupture des liens existant entre les atomes du semi-conducteur.

La RUPTURE DES LIENS est provoquée par la vibration des atomes sous l'effet de la température.

Il existe également d'autres causes, susceptibles d'engendrer la formation d'un couple ELECTRON-TROU.

En étudiant la Jonction P.N, nous avons vu qu'à proximité de cette Jonction, il se forme une zone de CHARGES libres (ZONE D'EPUISEMENT), à laquelle correspond une différence de potentiel, appelée BARRIERE DE POTENTIEL.

Etant donné que cette zone est excessivement mince, le fait d'augmenter la TENSION DE POLARISATION INVERSE de la diode provoque une augmentation de la différence de potentiel près de la Jonction.

Cette augmentation atteint une telle proportion ($V_z =$ tension de ZENER), qu'elle engendre une force capable d'éloigner de leur orbite UN GRAND NOMBRE D'ELECTRONS PERIPHERIQUES, appartenant aux atomes se trouvant à proximité de la Jonction.

Or, pour chaque électron qui s'éloigne de son orbite, il apparaît un COUPLE ELECTRON-TROU, donc une augmentation considérable des PORTEURS MINORITAIRES.

Le COURANT INVERSE devient alors relativement intense.

Les diodes conçues pour tirer profit de ce phénomène sont appelées DIODES ZENER (figure 3).

Dans celles-ci il existe également un autre phénomène appelé L'EFFET AVALANCHE.

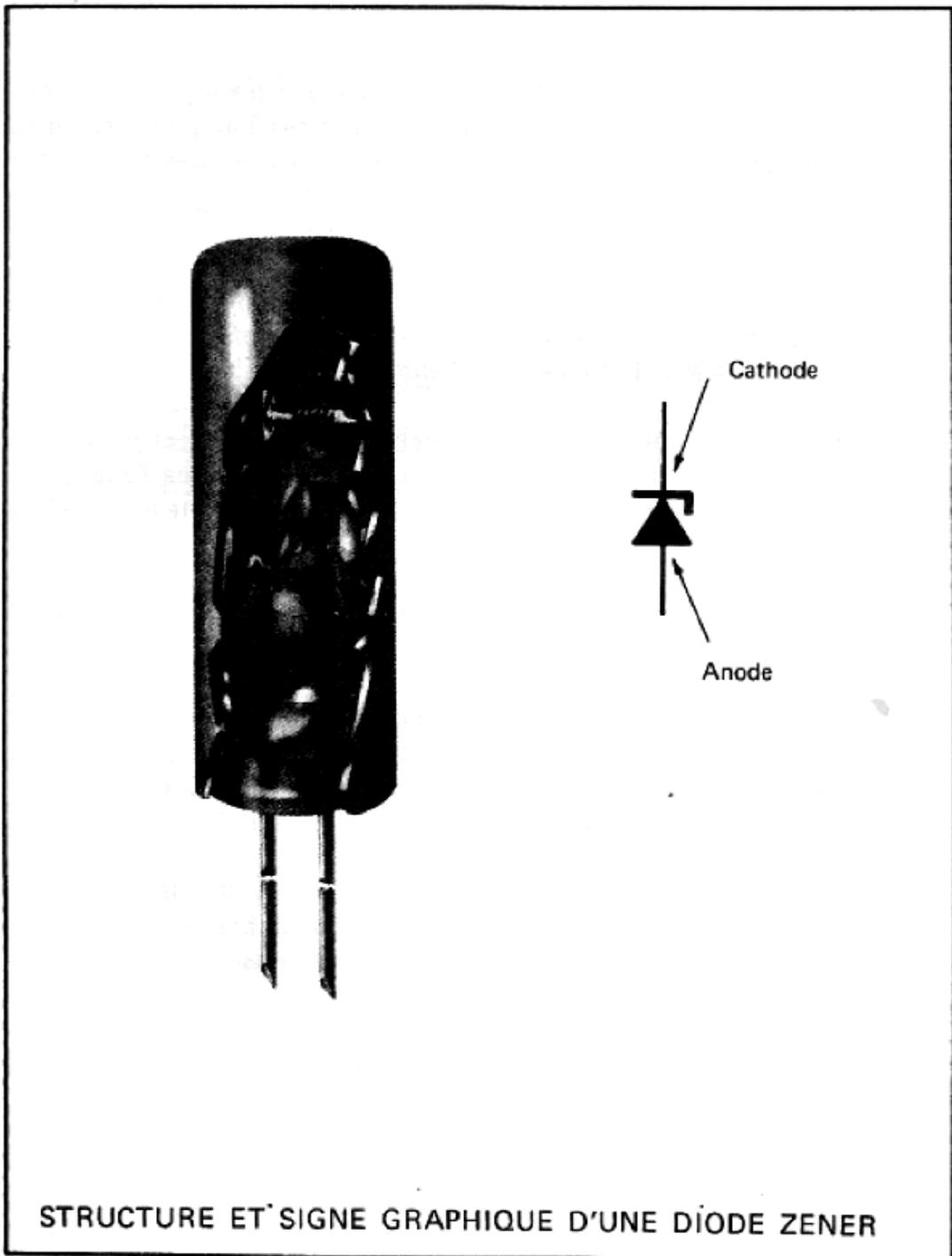


Figure 3

L'EFFET AVALANCHE se produit lorsque les porteurs minoritaires présents à proximité de la Jonction s'accélèrent à un point tel, qu'ils heurtent les électrons périphériques des atomes, à une vitesse suffisante pour les détacher de leur orbite.

Les charges libres ainsi obtenues sont accélérées et produisent à leur tour (toujours par chocs) de nouvelles charges libres et ainsi de suite. Ainsi le nombre de charges libres augmente très rapidement, d'où le nom **D'EFFET AVALANCHE** donné à ce phénomène.

Les charges rendues libres de cette manière font augmenter le courant dû à l'effet Zener. Cela signifie que selon la tension de Zener (V_z), le courant inverse passe très rapidement d'une valeur réduite à une valeur remarquablement élevée.

La figure 4 illustre très bien ce phénomène. Elle représente en effet l'allure de la caractéristique inverse d'une diode Zener.

Comme on peut le constater, le courant inverse est d'abord si petit (quelques microampères) que la caractéristique se trouve presque sur l'axe horizontal, duquel elle se détache ensuite assez brusquement pour passer pratiquement à l'état vertical.

En regardant la partie presque verticale de la caractéristique, tendant à démontrer que la tension reste constante bien que le courant varie dans de larges limites, on comprend que l'on puisse utiliser les diodes Zener comme **STABILISATEURS DE TENSION**.

En effet, après un **DOPAGE** approprié des semi-conducteurs, il est possible de faire varier dans de larges limites, la tension pour laquelle on vérifie l'**EFFET ZENER**.

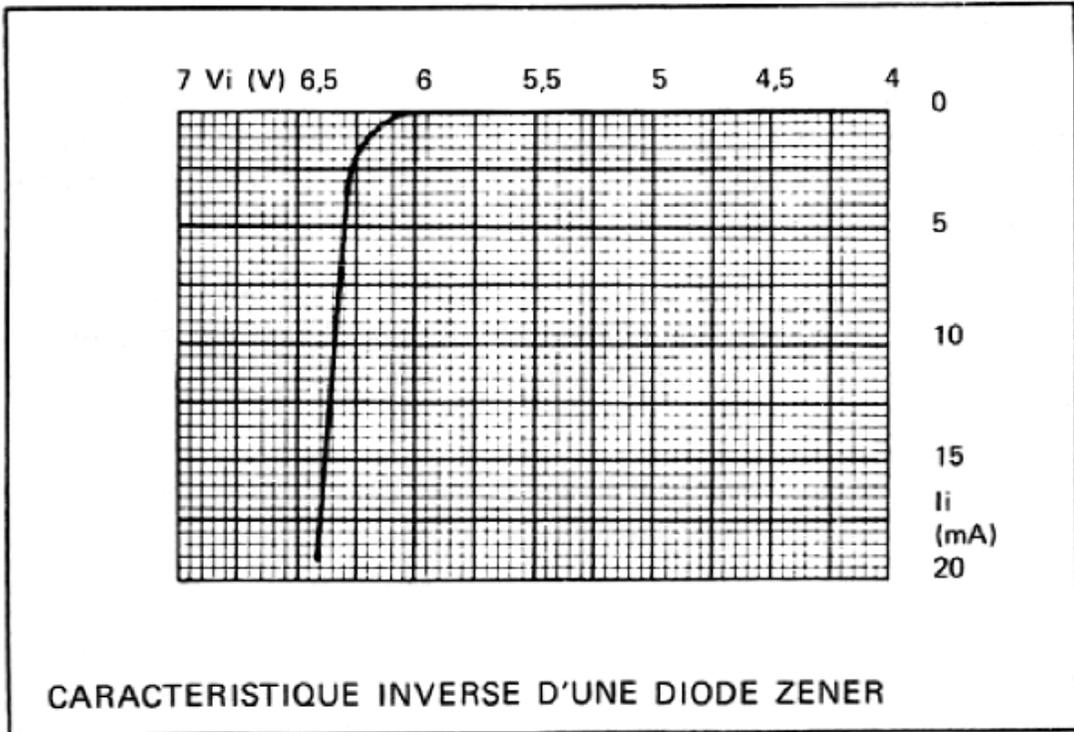


Figure 4

Avec de tels procédés, il est possible de fabriquer des diodes Zener, capables de stabiliser des tensions d'ordre différent, allant de quelques volts jusqu'à plusieurs dizaines de volts.

II - PREPARATION DES SEMI-CONDUCTEURS A USAGE ELECTRONIQUE

Le germanium et le silicium sont les semi-conducteurs les plus utilisés dans la fabrication des diodes à cristal et des transistors.

Le germanium se trouve sous forme de sel minéral dans certains types de roches et tout particulièrement dans les minerais de zinc et de cadmium, ainsi que dans la houille. Les cristaux de germanium sont le plus souvent retirés des sous-produits de travaux industriels.

En soumettant les suies du charbon et les scories du minerai de zinc à des traitements chimiques appropriés, on obtient un composé du germanium appelé BIOXYDE DE GERMANIUM.

Le bioxyde ainsi obtenu est bien loin de posséder la pureté demandée. Il contient en effet de nombreuses traces d'éléments étrangers, qu'il faut éliminer par des moyens chimiques avant d'extraire le germanium métallique.

Le bioxyde de germanium purifié est mis dans une nacelle que l'on introduit dans un four spécial, où s'opère la réduction du bioxyde à l'état métallique, grâce à l'action de l'hydrogène introduit dans le four (figure 5).

Le germanium métallique ainsi obtenu a un aspect blanc-argenté, mais il n'est toutefois pas encore suffisamment pur pour l'usage auquel il est destiné.

Pour augmenter le degré de pureté du germanium, on le place dans une nacelle de graphite, que l'on introduit dans un four spécial tubulaire, schématiquement illustré figure 6-a.

Le four est constitué d'un long tube de quartz, sur lequel se trouve diverses bobines reliées en série et parcourues par un courant à HAUTE FREQUENCE (H.F.) très intense. Le courant produit à l'intérieur du four un champ magnétique variable, particulièrement intense sous chaque bobinage.

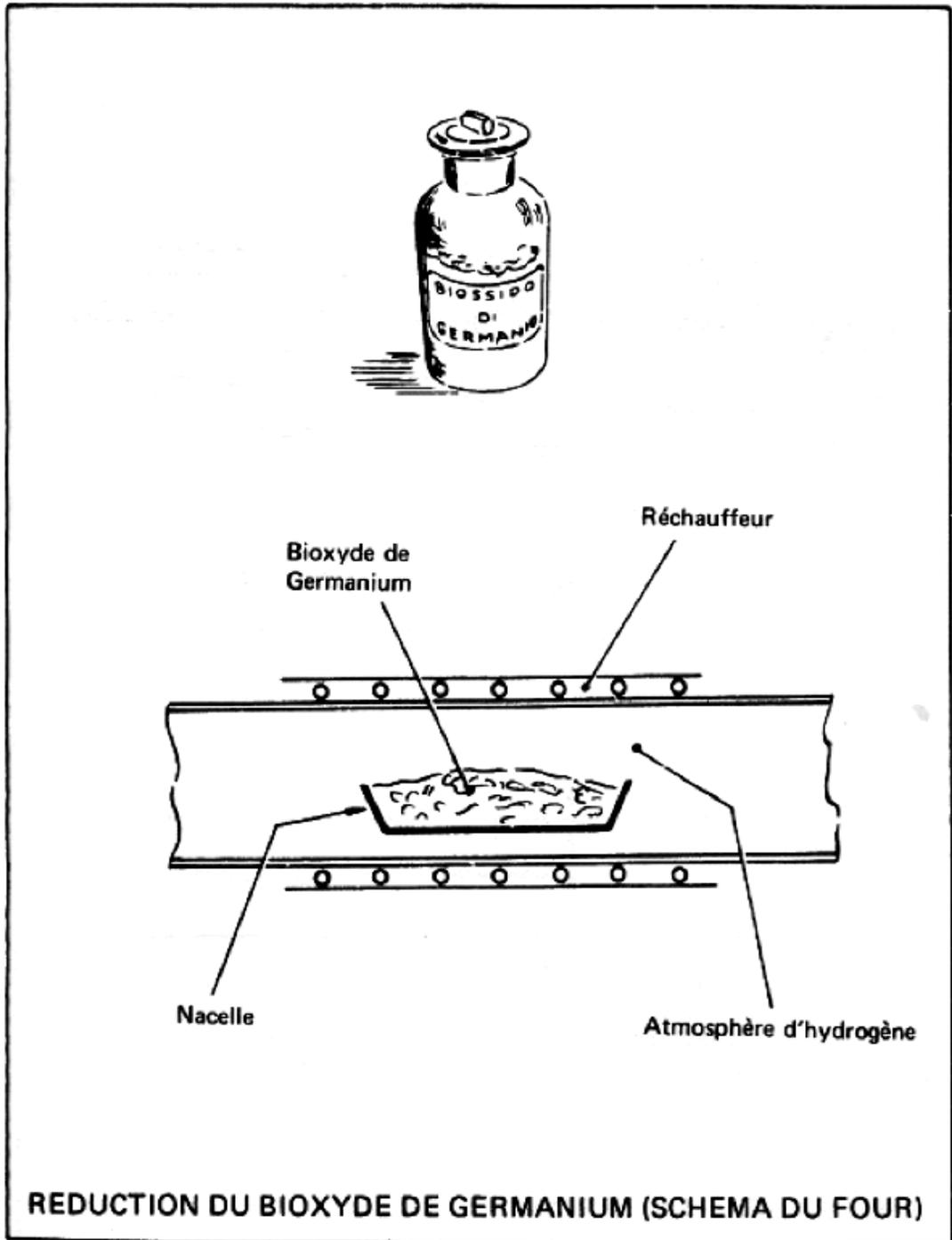


Figure 5

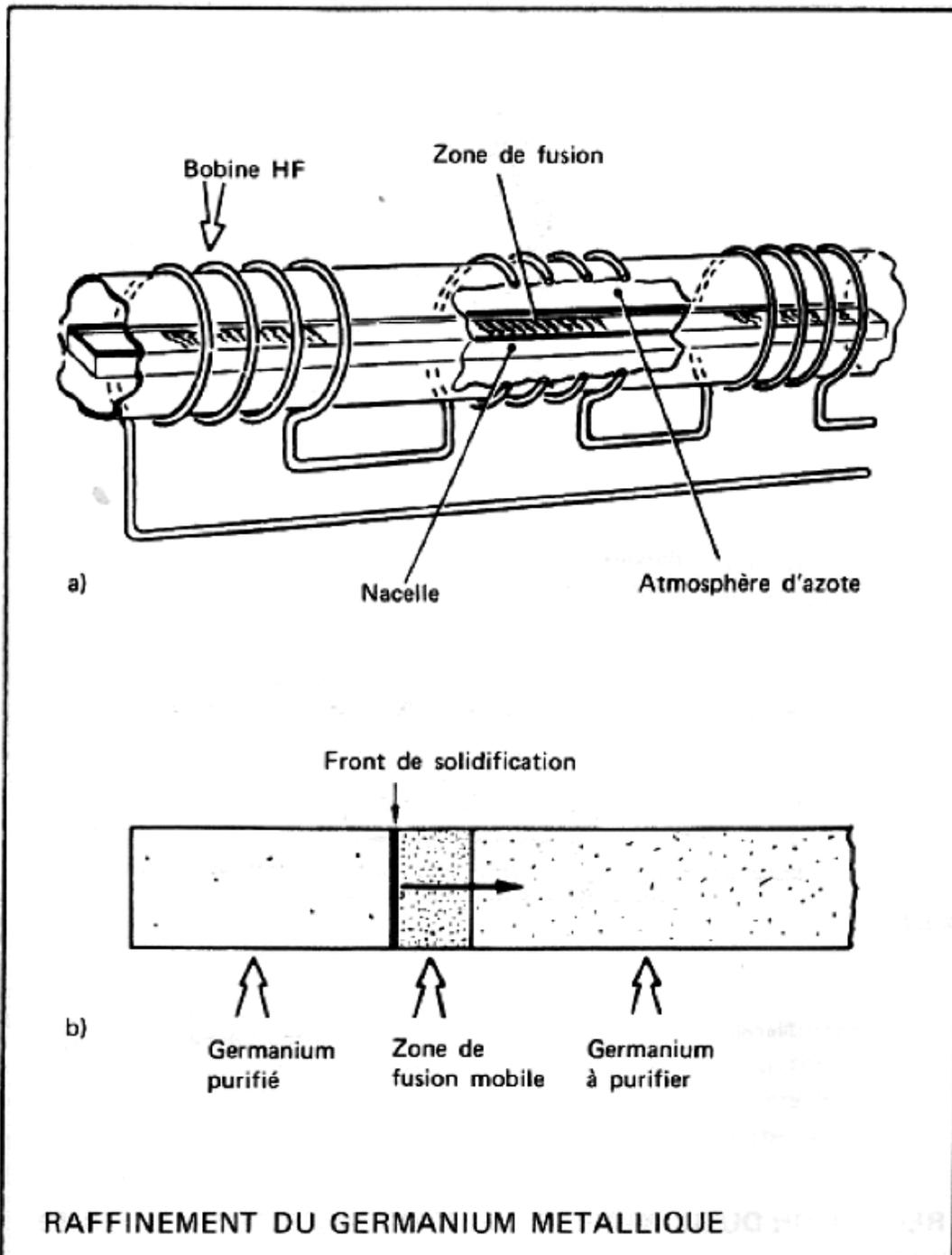


Figure 6

De cette façon, il se forme dans le germanium placé directement sous les bobines, des courants électriques (induits électromagnétiquement) si intenses, qu'ils provoquent la rapide fusion du métal, par suite de la très forte chaleur dégagée.

La fusion du germanium reste limitée aux différentes zones situées sous les bobines. Ainsi, lorsque la nacelle avance lentement d'une extrémité à l'autre du four, les zones de fusion se déplacent le long du germanium également d'une extrémité à l'autre. Le mouvement de la nacelle et celui des zones de fusion vont en sens inverse.

Voyons maintenant comment on obtient le raffinement du germanium grâce au procédé des ZONES DE FUSION, autrement dit, comment il est possible d'augmenter le degré de pureté du germanium avec le système en question.

Pour simplifier l'explication, considérons l'action d'une seule zone de fusion qui se déplace le long d'une barre de germanium dans le sens gauche-droite, comme indiqué figure 6-b.

Le front de solidification qui avance de gauche à droite, suivant la zone de fusion mobile, peut être comparé à un filtre poreux, laissant passer le germanium et recueillant les impuretés en les maintenant dissoutes dans la zone de fusion et en les poussant vers l'extrémité de la barre.

Malgré tout, une certaine quantité d'impuretés n'arrive pas à suivre la zone de fusion et se répand dans le germanium purifié.

Pour pallier cet inconvénient, le GERMANIUM est soumis à plusieurs zones de fusion successives, celles-ci étant placées à égale distance les unes des autres (figure 6-a).

Il est évident qu'à l'action filtrante de la première zone s'ajoute celle de la seconde, de la troisième... jusqu'à la dernière, de façon à obtenir un grand degré de pureté.

Tout comme le germanium, le SILICIUM destiné à la fabrication des transistors doit être lui aussi très pur.

Naguère, LE SILICIUM était extrait du BIOXYDE DE SILICIUM, tiré du sable porté à une température de 3000 C, obtenue au moyen de coke.

Le SILICIUM donné par ce procédé contenait un certain nombre d'impuretés, dans un pourcentage compris entre 2 et 3 % environ, alors que l'électronique nécessite du silicium très pur, avec un pourcentage d'impuretés, INFÉRIEUR à 0,05 %

L'élimination des impuretés était obtenue par un traitement chimique, à base d'acide.

Ce procédé un peu archaïque a été remplacé par un autre beaucoup plus moderne, permettant d'obtenir des cristaux d'une grande pureté en partant du traitement chimique d'un sel de silicium et non de sable, comme précédemment.

Pour le raffinement physique des cristaux de silicium, on utilise une variante de la méthode de la zone de fusion, déjà illustrée figure 6.

Dans ce cas toutefois, le silicium à raffiner n'est pas mis dans une nacelle, étant donné que le matériau constituant cette dernière se dissoudrait dans le silicium en fusion, causant des effets contraires à ceux recherchés.

La barre de silicium est placée verticalement, au centre d'un four tubulaire à haute-fréquence. La paroi extérieure du four est munie d'une spire, parcourue par un courant haute-fréquence très intense.

Grâce à la spire, il se forme dans le silicium une zone de fusion qui parcourt la barre d'une extrémité à l'autre, exerçant une action filtrante semblable à celle qui a déjà été décrite pour le germanium (figure 6-b).

Là aussi le procédé est répété plusieurs fois jusqu'à ce que le degré de pureté exigé soit atteint.

III - EXPLOITATION ET DOPAGE DES MONOCRISTAUX

Au terme des procédés de raffinement, le semi-conducteur se présente sous forme d'agrégat solide, constitué d'innombrables cristaux très petits, orientés de diverses façons.

Le semi-conducteur ainsi formé, tout en étant très pur, ne peut encore être utilisé pour la construction des diodes et des transistors.

Il faut pour cela transformer l'agrégat en un MONOCRISTAL c'est-à-dire en un unique cristal sans imperfections importantes.

La figure 7 montre deux méthodes d'exploitation des monocristaux de germanium.

La première méthode (figure 7-a) consiste en une nouvelle application du four H.F. et de la zone de fusion mobile.

La barre de germanium après raffinement, est placée dans une nacelle de quartz, contenant une plaque de graphite et un monocristal de germanium, appelé GERME.

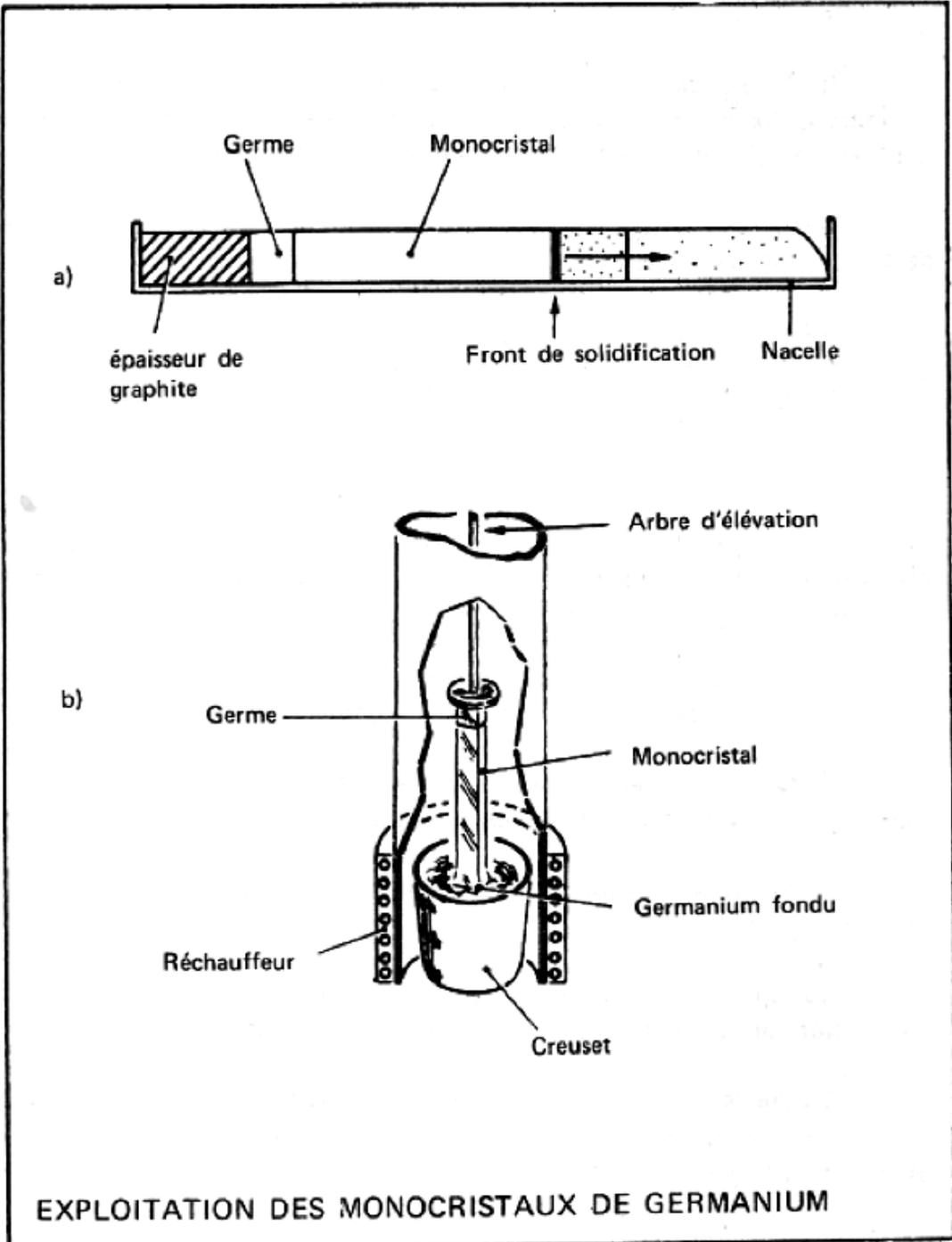


Figure 7

On fait avancer la nacelle très lentement dans le four, de manière à ce qu'il se forme une zone de fusion, avançant tout aussi lentement, d'une extrémité à l'autre de la barre.

Cette zone de fusion doit d'abord se trouver près du germe après quoi, cette partie se solidifie sous forme d'un cristal unique, orienté selon le réseau cristallin du germe.

Durant ce traitement, on dissout également dans la masse de germanium en fusion, des quantités rigoureusement dosées de substances étrangères, aptes à transformer le semi-conducteur intrinsèque EN SEMI - CONDUCTEUR DOPE, de type P ou N.

Les substances les plus fréquemment utilisées pour former le semi-conducteur P sont l'INDIUM, l'ALUMINIUM et le GALLIUM, par contre, celles que l'on utilise pour former le semi-conducteur N sont l'ARSENIC, le PHOSPHORE et l'ANTIMOINE.

L'opération qui consiste à incorporer dans le germanium intrinsèque, des substances étrangères dans le but d'augmenter sa conductibilité électrique est appelée DOPAGE.

On peut également exploiter et doper le monocristal en suivant la méthode illustrée figure 7-b.

Ici, l'appareil utilisé est essentiellement constitué d'une SOURCE DE CHALEUR, d'un CREUSET et d'un ARBRE D'ELEVATION.

Une première opération consiste à faire fondre dans le creuset, le germanium et les substances étrangères nécessaires au dopage.

Il faut ensuite faire adhérer le germe (appliqué à la partie inférieure de l'arbre d'élévation) à la surface du germanium liquide contenu dans le creuset.

En réglant soigneusement la température du liquide, on arrive à ce que le germanium commence à se cristalliser au point de contact avec le germe.

Arrivé à ce point, on fait monter lentement l'arbre d'élévation, de manière à ce que le cristal en formation continue à grossir et que son extrémité inférieure reste toujours au contact de la surface de germanium liquide.

Avec cette technique, il est donc possible d'obtenir des monocristaux dopés de type P ou de type N ou alternativement de type P et N.

IV - CONSTRUCTION DES DIODES A SEMI-CONDUCTEURS

Au terme du traitement d'exploitation, le monocristal se présente généralement sous la forme d'un lingot cylindrique, assez irrégulier. Ce lingot, après quelques contrôles tendant à s'assurer de la parfaite répartition des substances étrangères, est coupé en fines lamelles, appelées PASTILLES (figure 8).

Chaque pastille est parfaitement aplanie sur les deux faces, nettoyée avec des solvants et polie. Après ces travaux de finition, on coupe les pastilles en plaquettes, plus ou moins grandes suivant l'usage auquel elles sont destinées (figure 8-b).

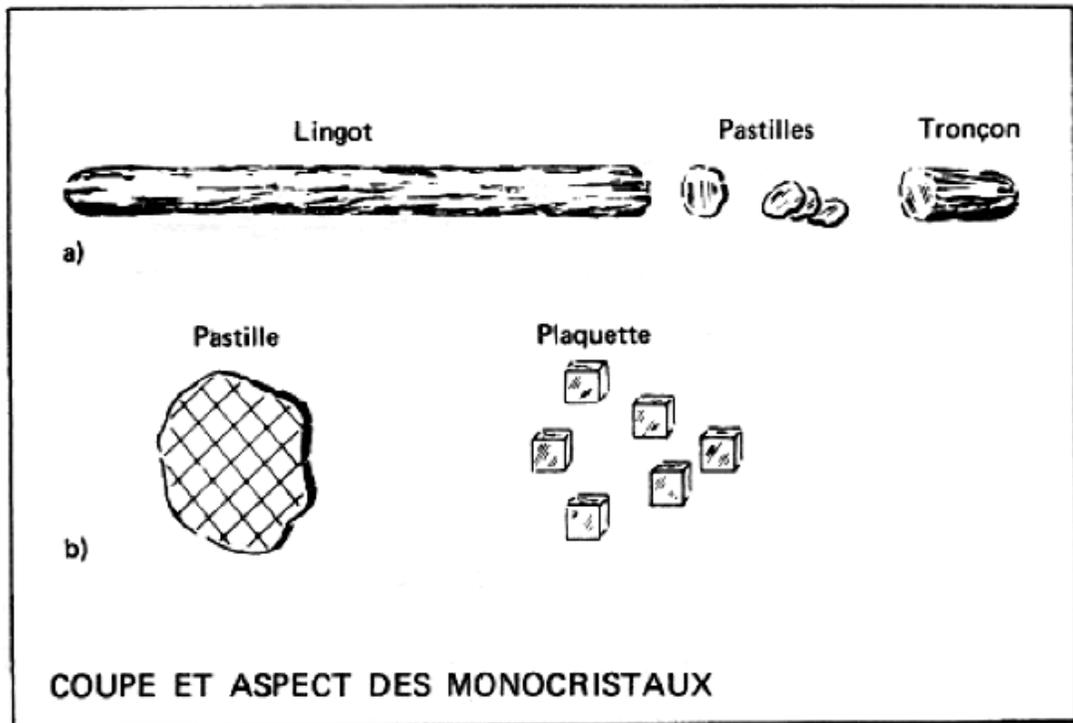


Figure 8

On voit clairement figure 9 comment sont constituées la plupart des diodes à pointe d'usage courant.

Une petite plaquette de germanium N est soudée à l'extrémité d'un fil de cuivre, tandis qu'une pointe de tungstène est soudée à l'extrémité d'un autre conducteur de cuivre (figure 9-a).

Ces deux éléments sont introduits dans un petit tube de verre, de façon à ce que la pointe de tungstène appuie sur la plaquette.

L'ensemble est hermétiquement fermé dans le tube de verre (figure 9-b). Le verre constituant l'enveloppe est généralement peint de couleur foncée, pour éviter que la lumière ne modifie les conditions de fonctionnement du semi-conducteur.

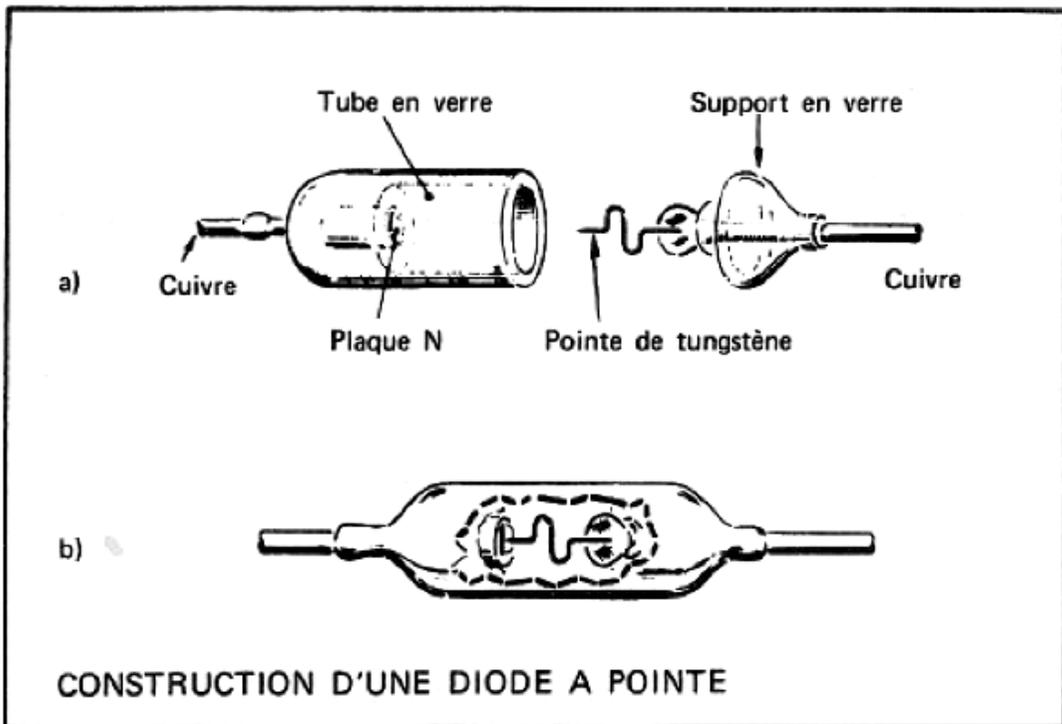


Figure 9

La figure 10, illustre les phases principales de la fabrication d'un autre type de diode à cristal puisqu'il s'agit en effet de la diode A JONCTION D'ALLIAGE.

Une diode de ce type est essentiellement constituée d'une plaquette de semi-conducteur N sur laquelle on place une certaine dose d'aluminium (figure 10-a) ou d'indium.

Le tout est ensuite chauffé pour obtenir la fusion de l'aluminium (ou de l'indium) ainsi que la fusion PARTIELLE du semi-conducteur (figure 10-b).

L'ensemble ainsi obtenu est refroidi très lentement ce qui provoque la solidification des matériaux et la formation d'une zone P et d'une Jonction P.N. dans la plaquette (figure 10-c).

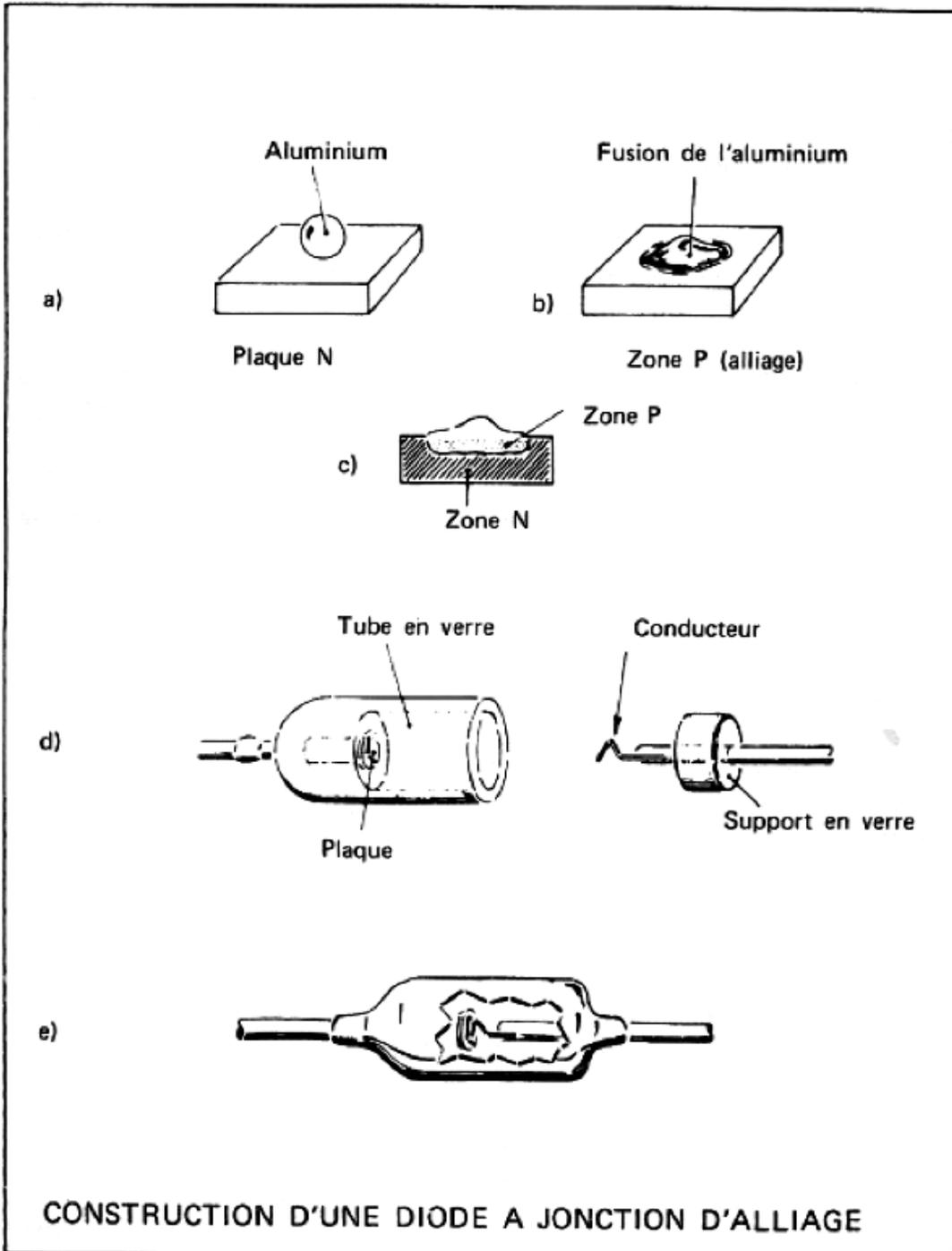


Figure 10

Le montage et la fermeture de la diode (figure 10-d et figure 10-e) sont effectués selon des procédés semblables à ceux qui ont déjà été décrits pour la diode à pointe.

Ici, toutefois, le conducteur qui remplace la pointe de tungstène n'est pas simplement appuyé contre la plaquette, mais il est soudé sur l'aluminium (ou l'indium) qui recouvre la zone P de la plaquette.

Il existe également d'autres procédés pour la fabrication des diodes. Certaines jonctions P.N. sont obtenues par la méthode de DIFFUSION.

La diffusion consiste à faire évaporer des matériaux d'impureté de manière à ce qu'ils pénètrent dans une plaquette P, de façon à former une zone N.

Ce procédé est utilisé pour la fabrication des diodes au silicium, destinées à fonctionner sur des tensions et des courants élevés.

Outre les diodes à cristal de différents types, on utilise encore actuellement les DIODES AU SELENIUM et pour certains appareils de mesures, les DIODES A OXYDE DE CUIVRE.

Les diodes au sélénium et à oxyde de cuivre appartiennent à la catégorie des dispositifs à semi-conducteurs, tout comme les diodes au germanium et au silicium, mais à la différence de ces dernières, elles ne sont pas constituées de jonctions P.N, ni de plaquettes retirées de monocristaux préparés et traités avec des impuretés.

Les diodes ou SELENIUM et à oxyde de CUIVRE fonctionnent d'après des phénomènes mal connus. Elles sont cependant fabriquées avec succès selon des procédés empiriques.

Les redresseurs au sélénium sont constitués de plusieurs éléments superposés, chaque élément (figure 11-a) étant formé d'un support d'acier mickelé ou d'aluminium, sur lequel est déposé une fine couche de sélénium, d'une épaisseur de 1 dixième de millimètre environ.

La surface libre du sélénium est recouverte d'un alliage à basse température de fusion. A cet effet, on utilise généralement un alliage à base de cadmium et d'étain, servant d'électrode négative (CATHODE) alors que le sélénium sert d'électrode positive (ANODE).

Signalons à ce sujet, que les constructeurs utilisent souvent le signe + pour indiquer la cathode. Ce signe ne doit toutefois pas être interprété comme étant le symbole de l'ELECTRODE POSITIVE c'est-à-dire l'anode.

CE SIGNE INDIQUE SEULEMENT QUE DANS UN CIRCUIT REDRESSEUR, LA TENSION REDRESSEE POSITIVE EST PRELEVEE SUR LA CATHODE (par rapport à la masse).

De la même façon, le signe – (côté anode) indique que dans un circuit redresseur, on prélève sur ce point la tension continue négative (par rapport à la masse).

Tout comme le redresseur au sélénium, le redresseur à oxyde de cuivre (figure 11-b) est également constitué d'une lamelle de cuivre, qui ne sert pas seulement de support, comme dans le type précédent, mais constitue la cathode du redresseur.

L'anode est constituée d'une fine couche d'un oxyde de cuivre, indiqué en chimie par le symbole (CuO_2). L'épaisseur de cette couche est à peu près égale à celle du sélénium c'est-à-dire (1 dixième de millimètre environ).

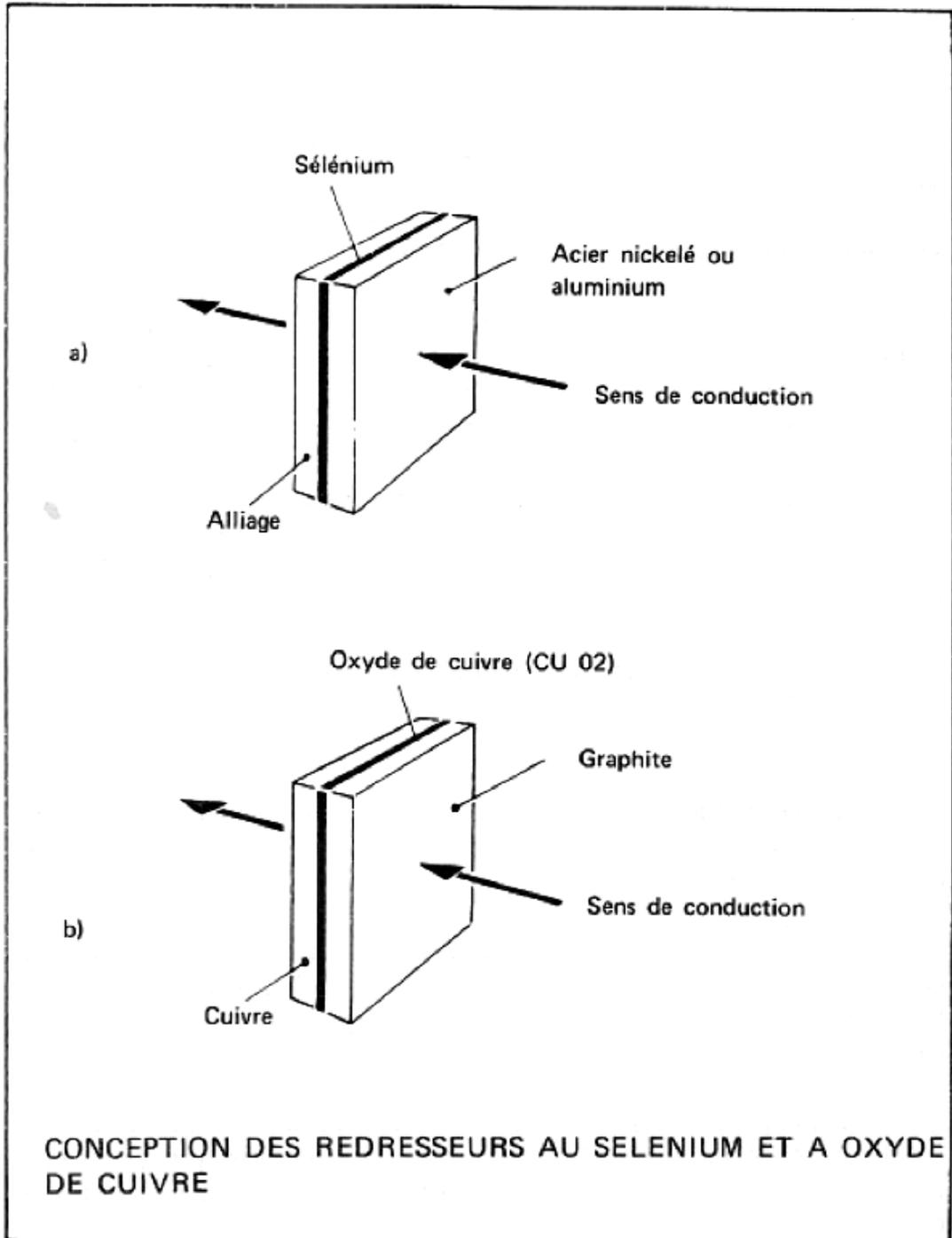


Figure 11

L'oxyde de cuivre est recouvert de graphite, afin d'assurer le contact électrique entre l'oxyde et le conducteur.

Il n'existe pas de Théorie parfaitement valable, expliquant vraiment le fonctionnement des redresseurs au sélénium et à oxyde de cuivre.

On peut toutefois imaginer que dans ces redresseurs, il existe un BARRAGE, constitué d'une couche de séparation, placée entre un bon conducteur (alliage, étain, cadmium, cuivre) et un semi-conducteur (sélénium, oxyde de cuivre).

Le semi-conducteur est traité par des procédés spéciaux de façon que la résistance du matériau soit réduite à un dixième de sa valeur normale.

La couche de séparation située entre les deux électrodes, se comporte comme un très mince isolant, à travers lequel les électrons peuvent passer dans un seul sens.

Nous pouvons expliquer ce phénomène de façon plus imaginée, en comparant cette zone de séparation au barrage établi sur un cours d'eau.

En effet, si l'on construit un barrage sur un cours d'eau, on crée une dénivellation, à travers laquelle l'eau passe dans un seul sens, ne pouvant en aucun cas revenir en arrière.

De la même façon, en mettant un bon conducteur c'est-à-dire un matériau riche en électrons libres, en contact avec un semi-conducteur, pauvre en électrons libres, on crée une "dénivellation de potentiel" et par conséquent un barrage qui, par rapport au flux d'électrons se comporte à peu près comme la digue du cours d'eau, autrement dit : les électrons peuvent facilement circuler du bon conducteur au semi-conducteur, alors qu'ils sont dans l'impossibilité de faire l'inverse.

Les redresseurs conçus sur ce principe sont souvent appelés **REDRESSEURS METALLIQUES** ou plus couramment **REDRESSEURS SECS**.

V - CIRCUITS D'UTILISATION DES DIODES A SEMI-CONDUCTEURS

Les diodes au germanium et au silicium sont de plus en plus utilisées dans les circuits électroniques actuels.

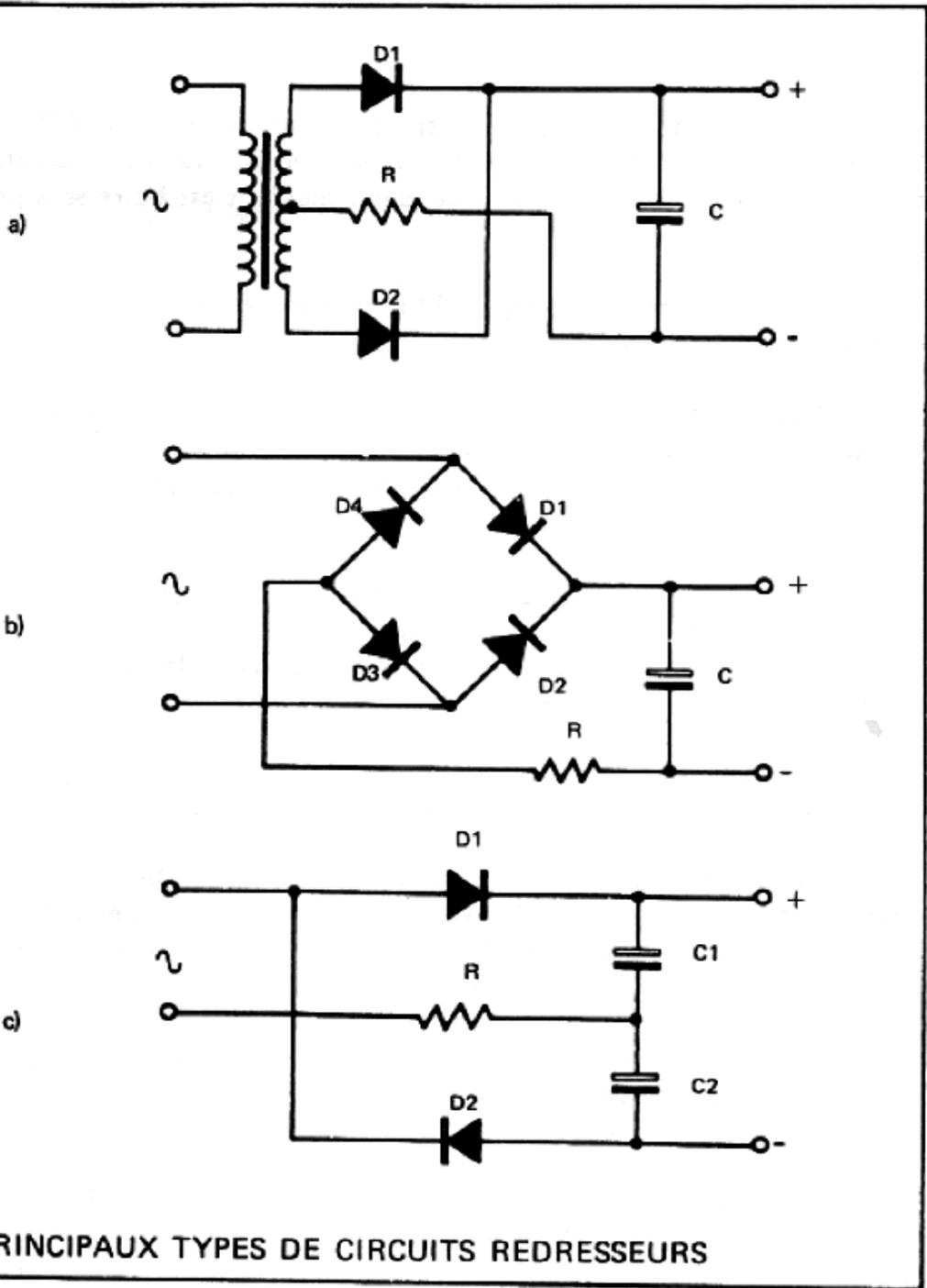
Les redresseurs au sélénium et à l'oxyde de cuivre sont au contraire exclusivement utilisés comme redresseurs de courant alternatif.

Nous allons examiner les principaux circuits d'emploi des diodes à semi-conducteurs, sans toutefois nous arrêter sur leur fonctionnement puisqu'il s'agit en général de circuits largement étudiés dans les leçons théoriques et faisant l'objet d'applications dans les leçons "pratiques".

La figure 12 donne le schéma de trois montages d'alimentation, constituant les exemples classiques de circuits redresseurs utilisés en électronique.

Le circuit de la figure 12-a représente un redresseur **DOUBLE ALTERNANCES**, utilisant deux diodes (D1 et D2) et un condensateur de filtrage (C).

La résistance R insérée sur le retour commun des courants, sert à protéger les diodes contre les pointes de courant présentes, lorsque le condensateur n'est pas encore chargé.



PRINCIPAUX TYPES DE CIRCUITS REDRESSEURS

Figure 12

Le circuit de la figure 12-b, représente un redresseur à **PONT DE GRAETZ**. Ce circuit utilise quatre diodes mais présente l'avantage d'utiliser un transformateur avec secondaire simple, c'est-à-dire sans prise médiane.

Enfin le circuit de la figure 12-c, représente un circuit redresseur **DOUBLEUR DE TENSION**.

Dans un tel circuit les deux diodes fonctionnent alternativement comme dans le circuit de la figure 12-a, mais elles chargent respectivement les condensateurs C1 et C2 à la valeur de crête de la tension alternative d'entrée.

Etant donné que les deux condensateurs sont reliés en série, les tensions présentes entre leurs armatures **S'ADDITIONNENT** et l'on obtient à la sortie, une tension redressée **DOUBLE** de celle qu'il est possible d'obtenir avec un seul condensateur.

La figure 13 montre un circuit plus complet puisqu'il s'agit d'une alimentation **REDRESSEE** et **STABILISEE** au moyen d'une diode Zener.

Comme on peut le voir, le circuit redresseur est du type double-alternances. Le condensateur C1 effectue un premier nivellement de la tension redressée, tandis que la résistance R limite le courant qui circule dans la diode Zener afin d'éviter les surcharges.

Cette résistance, couramment appelée **RESISTANCE CHUTRICE**, sert également à faire varier légèrement la tension de sortie, en agissant en même temps sur le courant circulant dans la diode Zener.

La figure 14, montre le schéma de principe d'un **MODULATEUR** avec suppression de la porteuse en l'absence de modulation. Il s'agit d'un système utilisé dans les retransmissions stéréophoniques et en téléphonie.

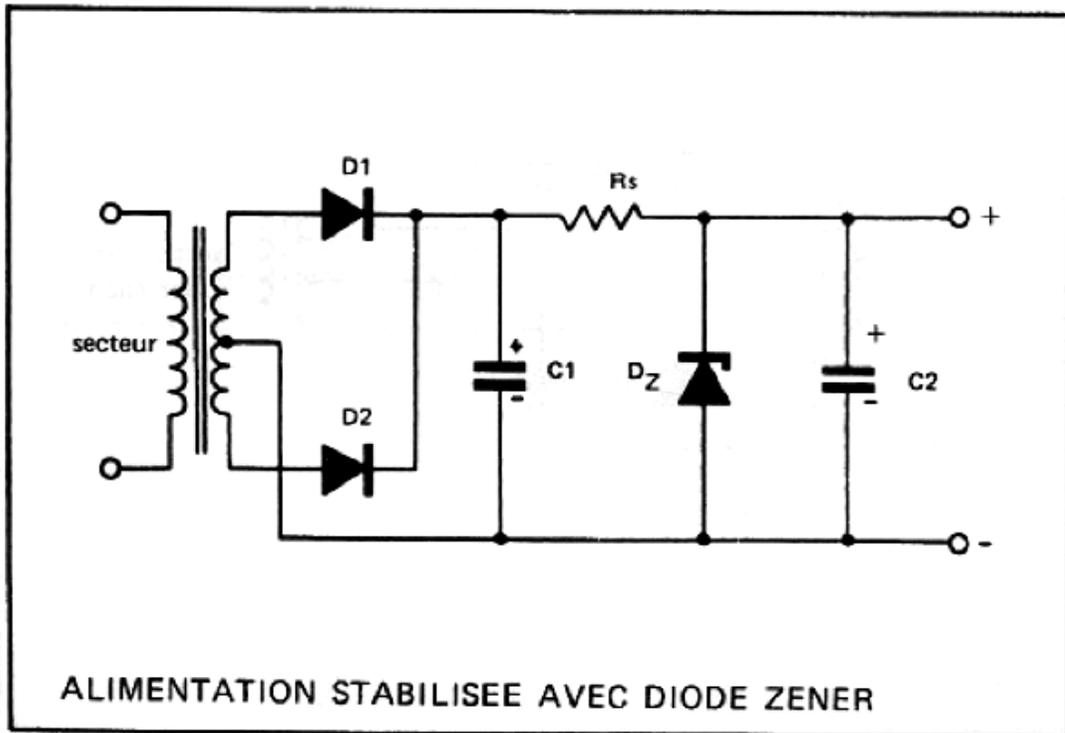


Figure 13

Ce circuit sera traité en détail dans les leçons du cours **SPECIALISATION RADIO**.

La figure 15-a donne un exemple d'utilisation de la diode à cristal, dans un circuit de **DETECTION** et de **CAG** (commande automatique de gain).

Dans la figure 15-b, on a représenté un autre type de détecteur : le **DETECTEUR DE RAPPORT** appelé également **DISCRIMINATEUR**.

Ces circuits seront étudiés en détail dans les cours de spécialisation, faisant suite au cours de base.

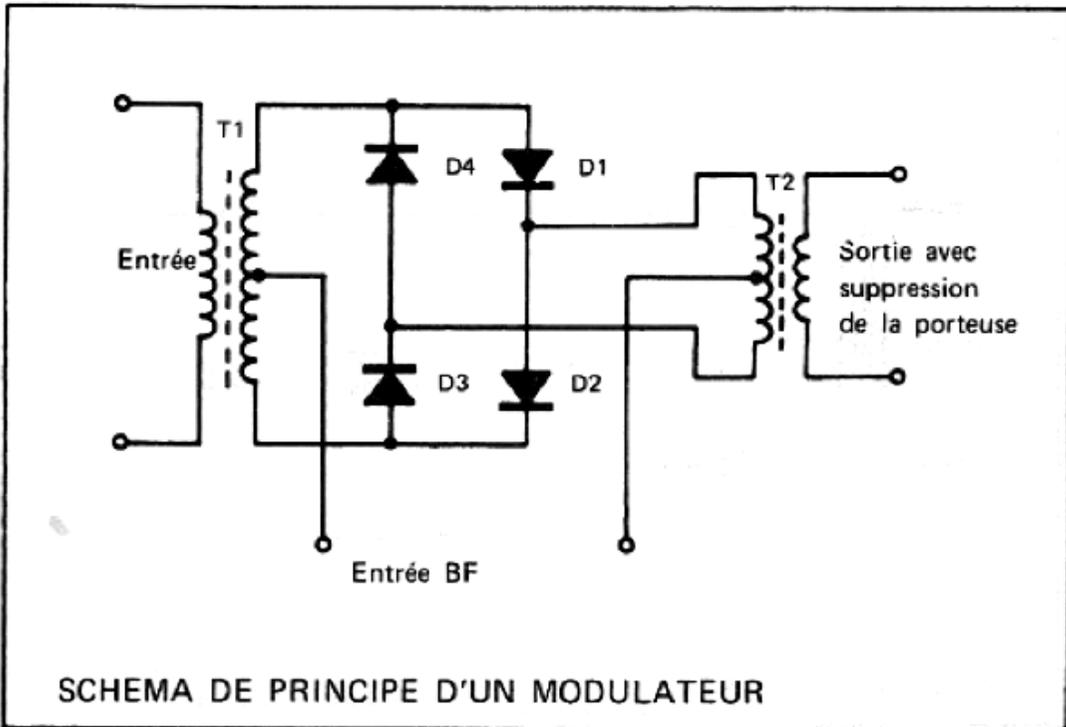


Figure 14

Il suffit pour le moment de noter que dans le circuit de la figure 15-b, les diodes D1 et D2 doivent être parfaitement identiques. A cet effet, le constructeur fournit des DIODES APPAIREES (sélectionnées par couple de deux).

Le schéma de la figure 16 donne une autre application de la diode à cristal. Il s'agit là en effet d'un TEMPORISATEUR. Un tel système permet l'exécution d'un ordre, avec un retard contrôlable.

Ici, la diode D sert seulement à charger un condensateur (C) de forte capacité (1000 μ F ou plus).

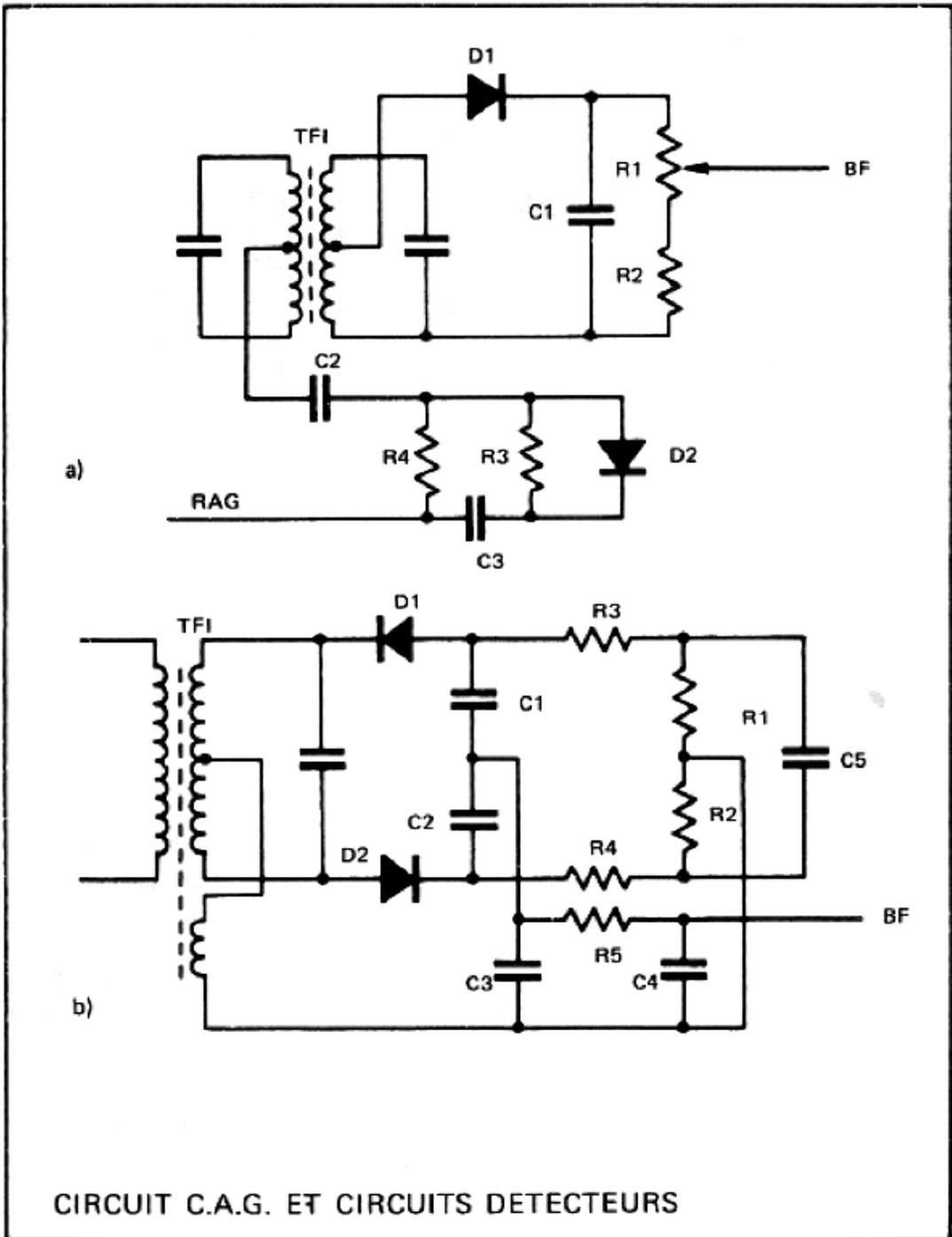


Figure 15

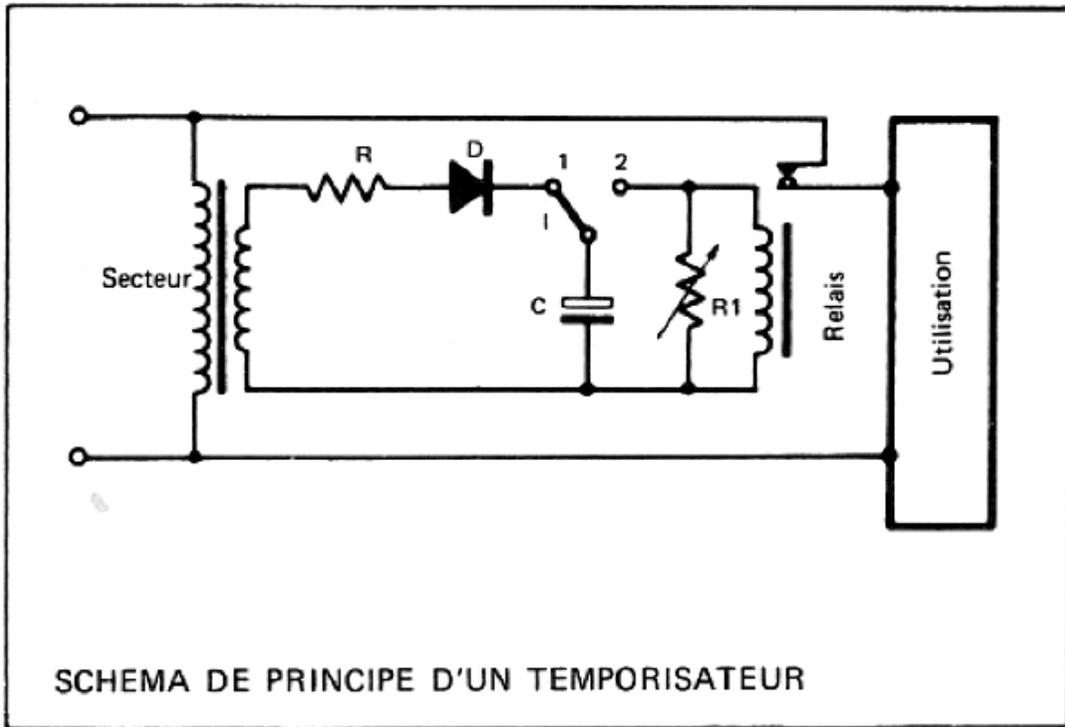


Figure 16

Lorsque l'interrupteur (I) se trouve en position 1, la diode fonctionne en redresseur à la valeur de crête et le condensateur se charge au maximum de la tension d'entrée.

Lorsque l'interrupteur passe de la position 1 à la position 2, le condensateur se décharge en partie à travers la résistance ajustable R1 et en partie à travers la bobine du relais.

Le courant circulant dans la bobine durant un temps déterminé, fait basculer le relais pour faire en sorte que l'utilisation soit reliée au secteur tant que dure la décharge du condensateur.

La durée de la décharge peut être réglée à volonté pour un intervalle de temps donné. Ce réglage s'effectue en faisant varier la résistance R1, reliée en parallèle sur la bobine du relais.

Au cours de la prochaine leçon, nous poursuivrons notre étude sur les semi-conducteurs en abordant l'étude et le fonctionnement du TRANSISTOR.

NOTIONS A RETENIR

- Dans une diode, le **COURANT INVERSE** ne conserve une valeur constante que jusqu'à un point bien défini de la **TENSION**. Au-delà de ce point il augmente très rapidement et la caractéristique inverse passe de la position presque horizontale, à la position verticale. Ce phénomène est connu sous le nom d'**EFFET ZENER** et la tension pour laquelle il se manifeste est appelée **TENSION DE ZENER**.
- Le phénomène dit **EFFET AVALANCHE**, se produit lorsque les **PORTEURS MINORITAIRES** présents à proximité de la jonction, s'accélèrent à un point tel qu'ils heurtent les électrons périphériques des atomes, à une vitesse suffisante pour les détacher de leur orbite. Ces électrons (charges libres) heurtent à leur tour d'autres électrons qui deviennent ainsi des charges libres et ainsi de suite. Le nombre des charges libres augmente donc très rapidement, d'où le nom d'**EFFET D'AVALANCHE**.
- Le **DOPAGE** est l'opération qui consiste à incorporer dans le semi-conducteur intrinsèque, des substances étrangères, de façon à augmenter sa **CONDUCTIBILITE ELECTRIQUE**.
- Pour former un **SEMI-CONDUCTEUR** de type P, on le dope le plus souvent avec de l'**INDIUM**, de l'**ALUMINIUM** ou du **GALLIUM**, éléments **TETRAVALENTS**, c'est-à-dire ne comportant que **TROIS ELECTRONS SUR L'ORBITE EXTERNE**. Par contre, pour former un **SEMI-CONDUCTEUR** de type N, on le dope le plus souvent avec de l'**ARSENIC**, du **PHOSPHORE** ou de l'**ANTIMOINE**, éléments **PENTAVALENTS**, c'est-à-dire comportant **CINQ ELECTRONS SUR L'ORBITE EXTERNE**.

- Les **DIODES ZENER** sont utilisées, comme composants **STABILISATEURS DE TENSION**.

- Les **DIODES ORDINAIRES** sont utilisées, comme composants **REDRESSEURS, DETECTEURS, COMMULATEURS, LIMITEURS** etc...

Dans la fonction de **REDRESSEUR, DETECTEUR** et **LIMITEUR**, la diode se trouve principalement dans les circuits **Radio** et **Télévision**. Par contre dans la fonction de **COMMUTATION**, on trouve surtout les diodes dans le domaine de l'électronique industrielle.



EXERCICE DE REVISION SUR LA LECON SEMI-CONDUCTEURS 3

- 1) **Qu'exprime la caractéristique tension-courant d'une diode ?**
- 2) **Qu'appelle-t-on tension de Zener ?**
- 3) **Obtient-on des monocristaux au terme du raffinement des semi-conducteurs ?**
- 4) **Est-il possible de distinguer les diodes à cristal en fonction du traitement suivi pour la formation de la jonction P.N. ?**
- 5) **Les diodes à cristal sont-elles seulement utilisables dans les circuits d'alimentation électroniques ?**



**REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA
LECON SEMI-CONDUCTEURS 2**

- 1) Les semi-conducteurs qui ont des électrons libres et des trous en quantité égale sont appelés SEMI-CONDUCTEURS INTRINSEQUES.
- 2) Les semi-conducteurs qui ont un nombre d'électrons libres supérieur à celui des trous sont appelés SEMI-CONDUCTEURS TYPE N.
- 3) Les semi-conducteurs qui ont un nombre de trous supérieur à celui des électrons libres sont appelés SEMI-CONDUCTEURS TYPE P.
- 4) Une jonction P.N. est obtenue par la formation d'une zone P dans un monocristal N ou inversement, une zone N dans un monocristal P.
- 5) On appelle POTENTIEL DE CONTACT, POTENTIEL DE DIFFUSION ou BARRIERE DE POTENTIEL d'une jonction P.N, la DIFFERENCE DE POTENTIEL qui se forme le long de l'épaisseur de la zone d'épuisement.

