

# mise au point sur les — TRANSISTORS

Les électroniciens, débutants ou chevronnés, sont animés par l'esprit de curiosité : ils aiment à découvrir le pourquoi des choses. Malheureusement, les auteurs de manuels croient que leurs lecteurs éventuels sont dotés d'un bagage mathématique important et ressemblent plus à des physiciens de laboratoire qu'à des praticiens.

C'est là une erreur trop répandue pour ne pas être relevée. Aussi, dans cette série d'articles, notre souci principal est-il la simplicité. Notre fil conducteur se résume en une phrase : « Comment expliquer à un profane \* le fonctionnement d'un transistor ? »

Le texte repose donc sur la clarté de l'expression et la multiplication des figures pour illustrer ce qui est avancé.

Voilà notre but, puisse-t-il convenir à tous ceux qui attendaient un tel exposé. Nous nous mettons à leur disposition pour les éclairer sur des points obscurs et nous acceptons d'avance leurs critiques afin de rendre plus constructif le travail que nous entreprenons pour eux... et tant pis pour les hauts savants s'ils n'y trouvent pas leur compte !

Bon courage.

## INTRODUCTION : LA BOITE NOIRE

**P**OUR comprendre comment « marche » un transistor et, plus encore, pour s'en servir, il n'est pas nécessaire de sortir de Polytechnique. Bien sûr, il y a un petit effort à accomplir : **apprendre quelques mots qui fixent les phénomènes mis en jeu**. Pour cela, il faut **revenir à la notion de courant**, continu et alternatif, c'est-à-dire remonter à la **bonne vieille loi d'Ohm**, que chacun cite et... utilise peu.

Nous commencerons donc par elle. Simultanément, il nous paraît capital de bien identifier les **unités**, non pas que nous désirions nous transformer en métrologistes éminents, mais parce qu'elles sont indispensables pour établir les feuilles de résultats d'expérience. Sans elles, aucune connaissance sûre ne peut être acquise et nous insistons sur cette discipline qui consiste à noter les valeurs relevées dans des tableaux, puis à tracer les « courbes » graphiques correspondantes. Car en comparant ces don-

nées entre elles, il est possible de saisir quelque détail qui **procure** une **astuce de montage**, ou qui fera **trouver** une **panne secrète**.

Pour découvrir comment un transistor agit, mieux vaut disséquer, d'abord, une diode. Nous procéderons ainsi, en excluant, toute référence à la « physique du solide », nous réservant, à la requête de nos lecteurs, d'y revenir si un coup d'œil sur cette question leur semble utile.

Comme nous allons souvent rencontrer des « boîtes noires », il nous appartient de définir, dès maintenant, ce dont il s'agit. Par **boîte noire**, nous désignerons, de façon classique, un **composant quelconque**, muni d'un certain nombre de « pattes » qui permettent l'entrée et la sortie du courant, sous certaines conditions, sans détailler son contenu, du moins, par le menu.

Nous apprendrons ensuite ce qu'est une jonction, comment on la met en évidence, et son rôle dans les applications. Ensuite, nous tâcherons de découvrir comment la combinaison de jonctions conduit à des phénomènes

tournez  
la page

infra  
vous  
informe

\* Au moins « amateur averti » en électricité.

nouveaux. Enfin, nous examinons **pourquoi** des résistances, des condensateurs et des self-inductances, associées aux **composants actifs** (diodes et transistors) aboutissent à des circuits amplificateurs, oscillateurs, plus ou moins sélectifs.

Ne nous attardons pas ici sur eux et passons au concret.

## 1. LA LOI D'OHM

Prenons une pile P de force électro-motrice U, mesurée à l'aide d'un voltmètre placé sur ses bornes (fig. 1.1a). Nous lisons par déviation de l'aiguille sur le cadran U volts [V]. La pile ne débite pas. Montons en série avec la pile un ampèremètre et une résistance R, dont la valeur en ohms [ $\Omega$ ] nous est rappelée par le code des couleurs qui ornent son corps (fig. 1.1b). L'ampèremètre affiche une grandeur en sous-multiples d'ampères [A]. Entre ces trois quantités U, R et I, l'intensité, déterminée par l'ampèremètre, il existe une relation simple, précisément la loi d'Ohm (tableau I; fig. 1-1c):

$$U_{[V]} = R_{[\Omega]} \cdot I_{[A]} \quad (1-1)$$

Si l'on substitue à la résistance R un fil dont on fait varier la longueur l (fig. 1-2a) et la section s (fig. 1-2b) on aboutit à une autre formule qui s'incorpore aisément dans la précédente:

$$U_{[V]} = I_{[A]} \cdot (R)_{[\Omega]}$$

avec :

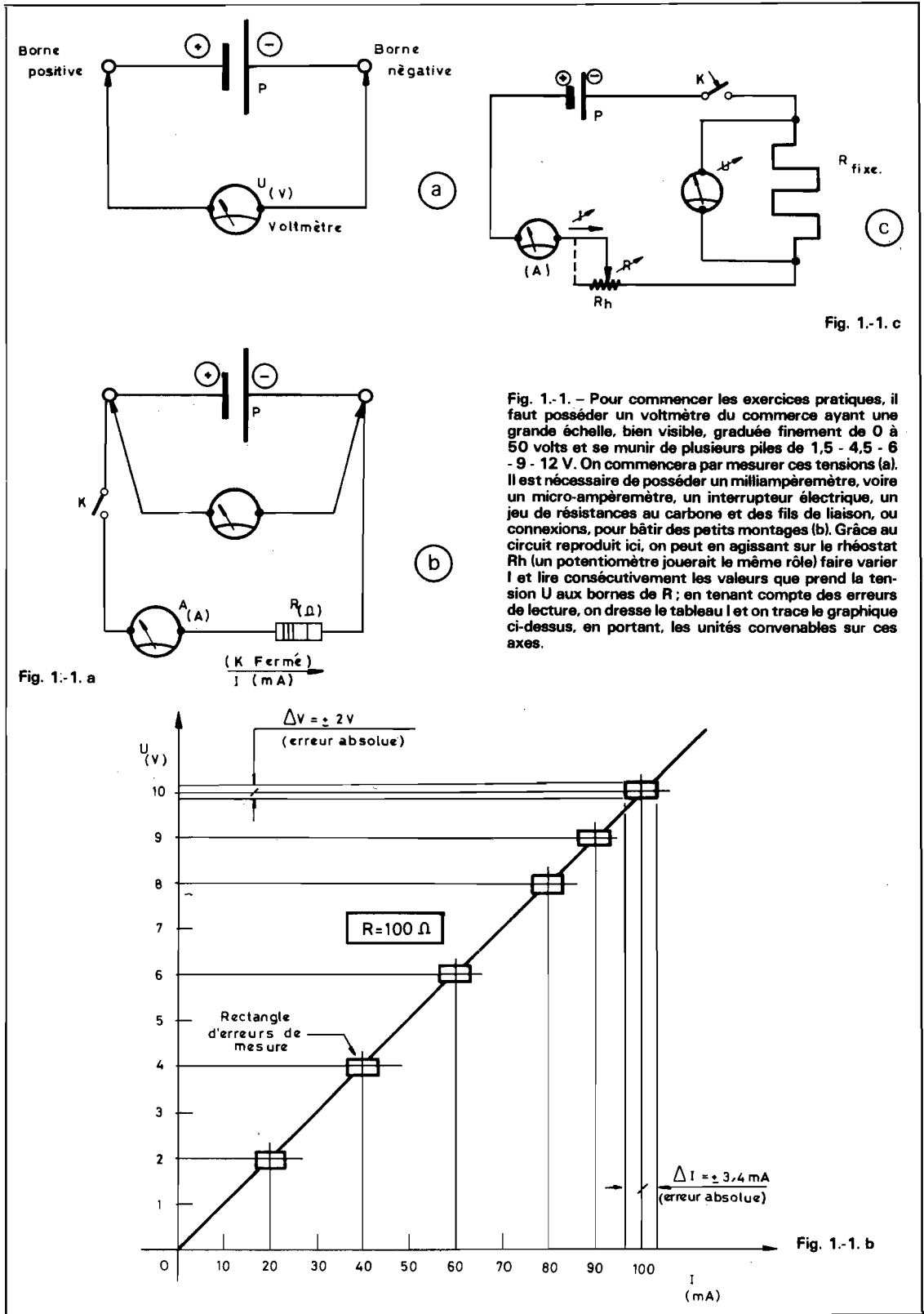
$$(R)_{[\Omega]} = \rho \cdot \frac{l_{[m]}}{S_{[m^2]}} \quad (1-2)$$

où  $\rho$  est le **coefficient de résistance** du fil, en ohms par mètre de longueur [ $\Omega \cdot m$ ] si la surface est mesurée en mètres carrés (aire du cercle pour un fil cylindrique, surface du polygone pour un fil de section quelconque). Le **coefficient de résistance** s'appelle la **résistivité**. Il indique avec quelle inertie le conducteur va s'opposer au passage du courant continu émanant de la pile P. L'inverse de  $\rho$  est la facilité accordée par le fil au transfert du courant; on l'appelle la **conductivité** et on la symbolise par la lettre grec « sigma »  $\sigma$  (parfois, on l'écrit « gamma »  $\gamma$ , mais il ne faut pas se laisser rebuter par ces changements de symboles, il suffit de bien retenir ce qu'ils représentent :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$\sigma$  en mhos-mètre [ $\Omega^{-1} \cdot m$ ].

Il s'en déduit que :



$$U = \left( \frac{1}{\sigma} \frac{l}{s} \right) \cdot I$$

Le facteur entre parenthèse, dans le second membre, la résistance, est l'inverse de la conductance G, en mhos, ou siemens (appellation normalisée aujourd'hui):

$$U = \frac{1}{G} \cdot I$$

$$\text{avec : } \frac{1}{G} = R$$

$$\text{d'où : } I = G \cdot U$$

Évidemment :

$$G = \frac{\sigma \cdot S}{l} \text{ [siemens]}$$

Ces rappels sont importants, car les transistors sont des composants qui agissent sur le cou-

rant, en fonction des différentes tensions qui existent entre leurs « pattes » (ou, en bon français, « connexions »).

La fig. 1-3 reprend les expériences des fig. 1-1 et 1-2 mais avec l et s constants, tandis que  $\rho$  (ou  $\sigma$ ) est variable. Cela veut dire que le matériau physico-chimique qui constitue le fil est de nature différente (fer, aluminium, cuivre,

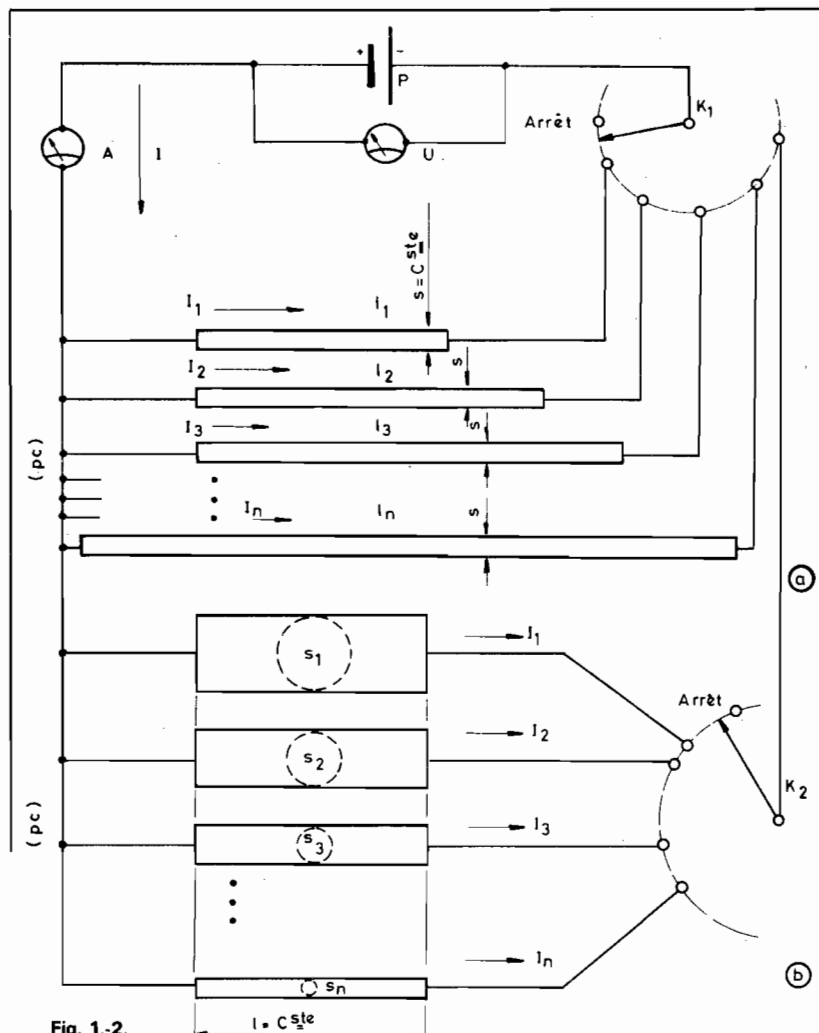


Fig. 1-2.

Fig. 1-2 - En montant sur une planchette plusieurs fils de différentes longueurs ayant un point commun (pc) et arrivant sur un rotacteur K<sub>1</sub>, on parvient à montrer l'influence de l dans la formule  $R = \rho \cdot l / s$ , si s, surface, et  $\rho$ , résistivité, demeurent les mêmes (a). On dressera un tableau et un graphique comme dans le cas précédent (fig. 1-1-c) ; en disposant un second rotacteur K<sub>2</sub>, derrière K<sub>1</sub>, et en prenant des conducteurs de sections diverses mais de même longueur l et de matériau de résistivité  $\rho$ , on met en évidence le rôle de s dans la formule  $R = \rho \cdot l / s$ . On inscrira les résultats et on tracera la courbe.

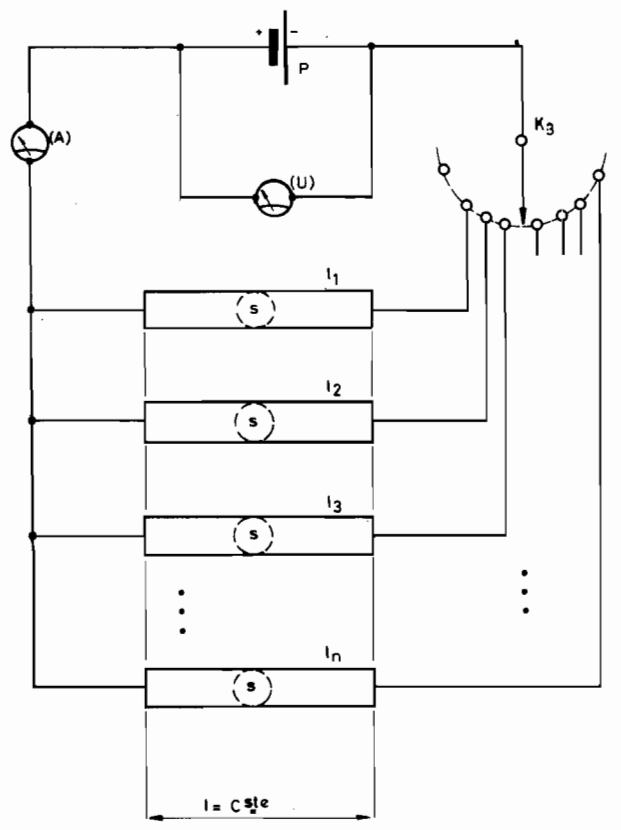


Fig. 1-3.

Fig. 1-3 - On recommencera les manipulations précédentes avec des fils de longueur et de section constantes mais de résistivités  $\rho_1 \dots \rho_n$  différentes. On consignera les résultats et on établira la courbe R fonction de  $\rho$ .

TABLEAU I : LA LOI D'OHM		
Mesure de I en [mA]	Mesure de U en [V]	Rapport de U sur I aux erreurs près, en [ $\Omega$ ]
10	1	100
20	2	100
30	3	100
40	4	100
50	5	100
60	6	100
70	7	100
80	8	100
90	9	100
100	10	100
Erreur relative sur I :	Erreur relative sur U :	Erreur relative sur R : 5,4 %
3,4 %	2 %	donc R = constante = 100 ohms

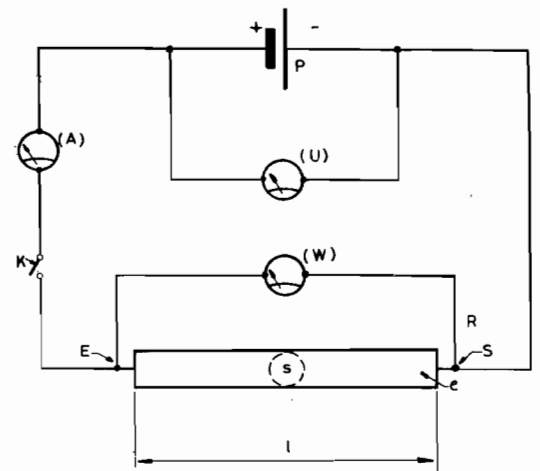


Fig. 1-4.

Fig. 1-4 - La puissance électrique dissipée par une résistance est  $P = u \cdot I = R \cdot I^2$  ou encore  $P = U^2 / R$ , ainsi qu'il résulte de l'application de la loi d'Ohm  $U = R \cdot I$ .

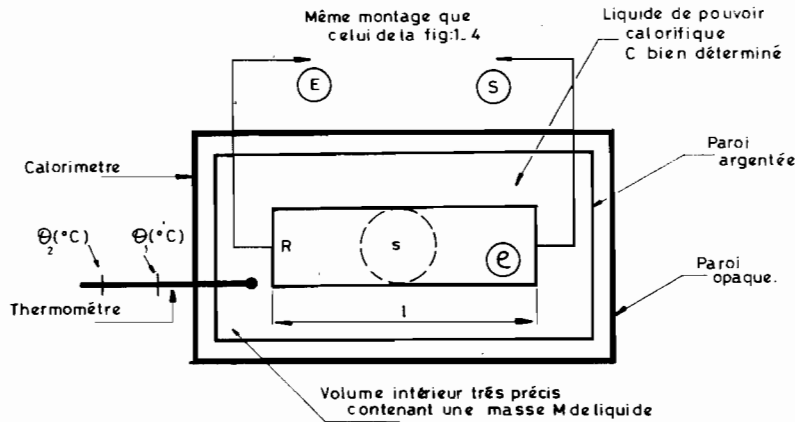


Fig. 1-5 - L'électronicien est homme heureux qui ne manipule que des petites pièces, aussi peut-il se « fabriquer » un calorimètre à bon compte en se servant du vase Dewar d'une bouteille « Thermos ». Comme disait un technicien : « Ma foi voilà un beau « dévouaire » de vacances ! » ; le thermomètre s'achète dans le commerce (sa graduation ne doit pas dépasser 150 °C).

mailechort, constantan, carbone, tungstène, etc.).

Enfin, si l'on branche (fig. 1-4) aux bornes du fil résistant R un wattmètre on s'aperçoit que son aiguille dévie lorsque le courant passe. Il y a consommation d'une certaine puissance P, mesurée en watts [W], l'énergie correspondante étant dégradée en chaleur. Un calorimètre (fig. 1-5) permet d'en connaître la valeur, exprimée en joules [J] et d'en apprécier la température  $\theta$ , en **degrés centésimaux**, ou CELSIUS (ne pas dire centigrades qui est un sous-multiple d'unité d'arc, le **grade**). Souvent, plutôt que de considérer la température  $\theta$  en degrés centésimaux [°C] on préfère la repérer en degrés KELVIN [°K], en ajoutant 273 °C à  $\theta$  [°C] :

$$T [°K] = \theta [°C] + 273 [°C]$$

par référence au zéro absolu qui est la température à laquelle les corps conducteurs deviennent, infiniment conducteurs, les corps isolants infiniment isolants (APP.I).

Grâce à la loi d'Ohm, on peut calculer les données supplémentaires que nous venons de rappeler. C'est ainsi que l'on constate que la puissance P dissipée dans la résistance R est proportionnelle au carré de l'intensité I qui la traverse et que le coefficient de proportionnalité est précisément la résistance :

$$P_{[W]} = R_{[\Omega]} \cdot I_{[A]}^2$$

Or, une puissance est une énergie W, en joules [J], divisée par un temps t, mesuré en secondes [s], donc :

$$W_{[J]} = P_{[W]} \cdot t_{[s]} = R \cdot I^2 \cdot t$$

Comme l'équivalent mécanique de la calorie est de J = 4,18 joules, la quantité de chaleur Q re-

levée sur le calorimètre de la fig. 5, à la température  $\theta_2$  [°C] est, en calories :

$$Q = \frac{W}{J} = \frac{1}{4,18} R \cdot I^2 \cdot t = 0,24 R \cdot I^2 \cdot t$$

La quantité de chaleur sert à échauffer le liquide (contenu dans le calorimètre) caractérisé par : — M, **masse de liquide** portée de la température initiale  $\theta_1$  [°C] à  $\theta_2$  [°C] lors du passage du courant I, en ampères [A] ;

— C, **pouvoir calorifique du liquide** employé, en général de l'eau, donc  $c = 1$ .

Nous arrivons donc à :

$$Q_{[cal]} = c \cdot M (\theta_2 - \theta_1)$$

ou, dans le cas présent (avec  $c = 1$ ) :

$$Q = 1 \times M (\Delta\theta)$$

Si bien que :

$$Q = 0,24 R I^2 t = M \cdot \Delta\theta$$

Pratiquement, il existe un **rapport** entre l'énergie utile et l'énergie fournie, ou **rendement  $\eta$  (électro-thermique)** :

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie fournie}} = \frac{\text{énergie calorifique}}{\text{énergie électrique}}$$

qui définit, en quelque sorte, la **qualité de l'opération**. Par exemple, il faut que  $\eta$  soit très élevé dans les bouilloires, les fers à repasser, les appareils de chauffage, etc. En revanche,  $\eta$  doit être aussi faible que possible dans les composants électroniques afin d'éviter les pertes par dissipation thermique, qui non seulement nuisent au bon fonctionnement des circuits, mais, de plus, en cas d'emballement calorifique, aboutissent à des destructions irréversibles des pièces. Pour qu'un composant

actif (diode, transistor, circuit intégré) dure plus longtemps (fiabilité) il est nécessaire de veiller à

son refroidissement, d'où l'emploi de **radiateurs à ailettes**, ou **massiques** et de ventilateurs pour améliorer la **convection** (la circulation) de l'air dans les modules électroniques.

Afin de bien assimiler ces notions, nous allons résoudre un petit problème (fig. 1-6). Une bouilloire dotée d'une résistance R échauffe en  $t = 5$  minutes, 1 litre d'eau de 15 °C à 100 °C. On a mesuré son rendement électro-thermique  $\eta$  et on l'a trouvé égal à 0,8. Le réseau d'alimentation alternatif U est de 120 [V], pris aux bornes d'un Variac. Un ampèremètre et un voltmètre ont été montés dans le circuit. On demande d'abord de déterminer la grandeur de l'intensité qui circule dans R.

Sachant que :

$$\eta = \frac{\text{énergie calorifique}}{\text{énergie électrique}}$$

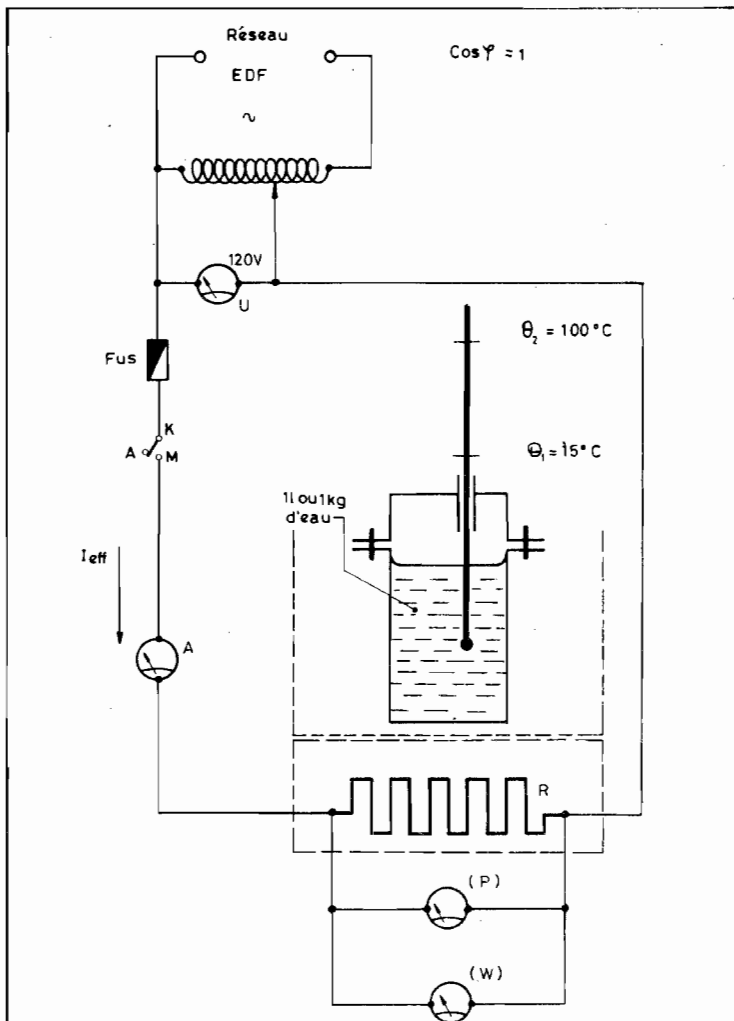


Fig. 1-6 - Un auto-transformateur, un voltmètre et un ampèremètre alternatifs, un interrupteur, un fusible-secteur, un réchaud électrique et... une casserole suffisent pour monter cette petite expérience grâce à laquelle, en résolvant le problème du texte, les notions de résistance, d'intensité, de tension, de puissance, d'énergie, de quantité de chaleur et de rendement, n'auront plus de secret pour quiconque, désormais assuré d'aborder l'étude des diodes et des transistors sans aucun souci.

$$= \frac{J.Q.}{U.I.t}$$

ou, dans ce cas :

$$\eta = \frac{J.M.c.\Delta\theta}{I.U.t}$$

avec :  $M = 1^l$  ou 1000 grammes d'eau ; dans ces conditions, on a :

$$I = \frac{J.M.c.\Delta\theta}{\eta.U.t}$$

$$= \frac{4,18 \times 1 \times 10^3 \times (100 - 15)}{0,8 \times 120 \times 5 \times 60}$$

d'où, tous calculs achevés :

$$I = 12,33 \text{ ampères}$$

Il s'agit là de l'intensité efficace parcourant le circuit.

Quelle est la valeur  $R_0$  de la résistance chauffante  $R$  à  $0^\circ\text{C}$  ?

$$R = R_0(1 + \alpha\theta)$$

puisque  $\alpha = 1/273 = 0,004$  est le coefficient de dilatation thermique du fil résistif constituant  $R$ , il vient :

$$R_0 = \frac{R}{(1 + 100 \times 0,004)} = \frac{R}{1,4}$$

Or, par la loi d'Ohm, on sait que  $R = U/I$ , donc :

$$R_0 = \frac{U}{1,4I} = \frac{120}{1,4 \times 12,33}$$

donc :  $R_0 = 6,93$  ohms à  $0^\circ\text{C}$ .

Donnons-nous un fil (de cuivre) dont  $\rho$  égale  $0,000\,002$  ohm-cm ; sa section  $s$  a deux millimètres de diamètre. Quelle est alors la longueur  $l$  du fil (plusieurs fois replié sur lui-même dans le bloc chauffant) ?

Nous partirons de :

$$R_0 = \rho \frac{l}{s}$$

$$= 0,000\,002 \times \frac{l}{\pi \times (0,1)^2} = 6,93$$

et en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$l = \frac{6,93 \times 0,01 \times 3,14}{2 \times 0,000\,002} = 1088 \text{ [m]}$$

L'emploi du cuivre n'est pas raisonnable pour un tel usage, la longueur requise étant excessive. On préfère employer des corps beaucoup moins conducteurs dans les appareils de chauffage (néanmoins on est obligé de torsader en hélice serrée le fil, puis de le bobiner sur un support céramique à spires étroites).

Sans tenir compte du  $\cos \varphi$  de l'installation électrique (facteur de mérite du réseau) on demande de déterminer la puissance  $P$  consommée pendant la durée du chauffage, soit 5 mn (ou  $5 \times 60 = 300$  secondes) ainsi que l'énergie électrique dépensée.

La puissance  $P$  mesurée sur  $R$  est :

$$P = U.I$$

Donc :  $P = 120 \times 12,33$

soit :  $P = 1480$  watts

L'énergie fournie est :

$$W = \frac{JQ}{\eta.t}$$

$$= \frac{4,18 \times 10^3 \times 1 \times (100 - 15)}{0,8 \times 300}$$

$$W = 1480 \text{ [J/s] ou [W]}$$

L'énergie électrique consommée pour amener l'eau de la bouilloire à l'ébullition a été :

$$W_{(w.h)} = \frac{P \times t}{3600} = \frac{1480 \times 300}{3600}$$

$$= \frac{1480}{12}$$

soit :  $0,123$  [kWh] comme l'expriment les recommandations E.D.F.

Toutes ces bases mémorisées et ré-exploitées, nous sommes suffisamment armés pour aborder les diodes et les transistors, sans crainte, et, surtout, avec la possibilité d'aller très loin dans l'étude de leur fonctionnement sans avoir à manipuler des... intégrales triples.

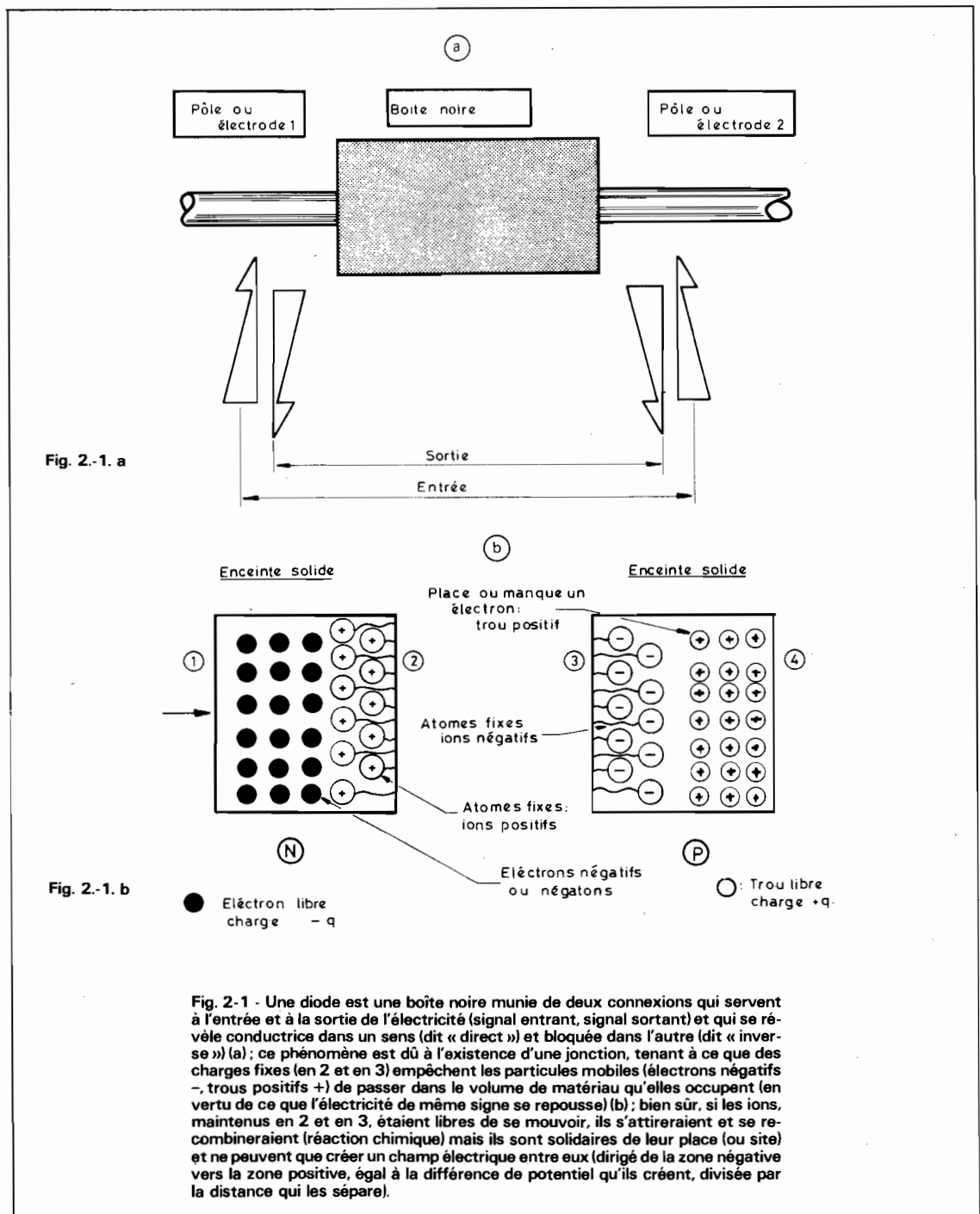
L'ouvrier belge Gramme, inventeur de la génératrice qui porte son nom, qualifiait, devant le docteur d'Arsonval, les intégrales

de « porte-manteaux ».

Voilà un beau sourire de la science qui prouve que l'on n'a pas besoin d'être « normalien » pour devenir un inventeur de talent !

## 2. LA DIODE

Nous appelons diode une boîte noire pourvue de deux électrodes, à la fois d'entrée et de sortie du courant, à l'intérieur de laquelle il n'existe pas de continuité de potentiel, c'est-à-dire qu'elle comporte une jonction, ou barrière de potentiel.



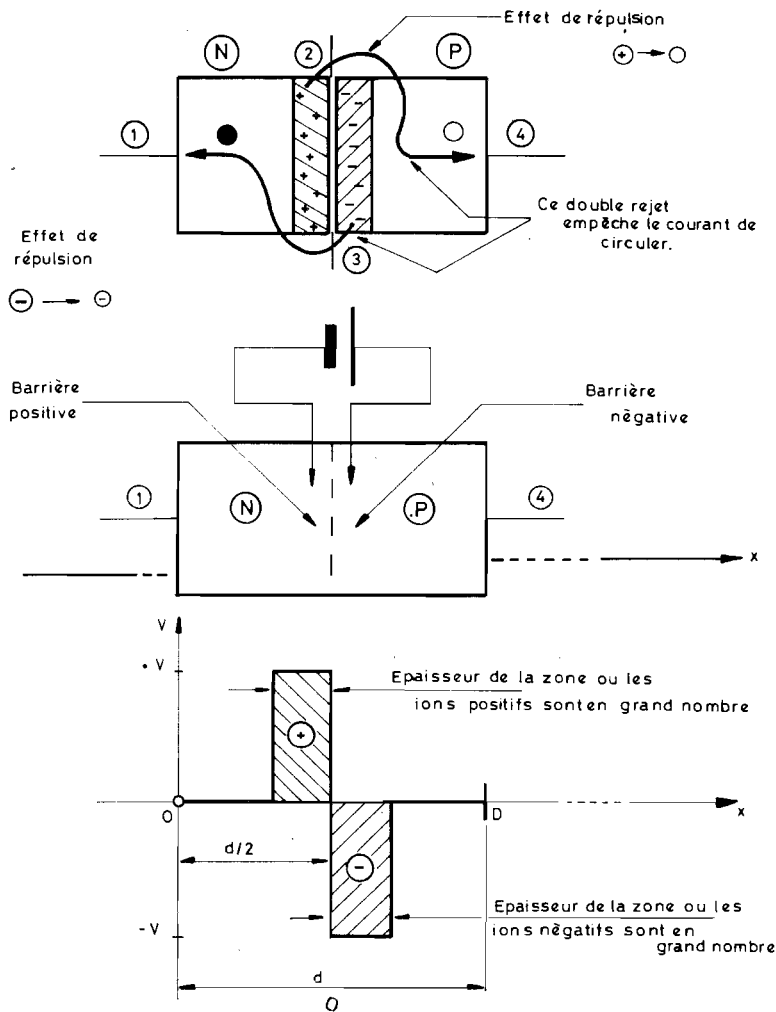


Fig. 2-2 - Les parois 2 et 3 sont fusionnées. Elles deviennent équivalentes à une pile mais leur force électromotrice n'est pas suffisante pour mettre les charges libres en mouvement, même en court-circuitant les électrodes 1-4. Grosso-modo, on peut estimer que la zone positive et la zone négative sont placées au même potentiel (positif, négatif) en valeur absolue (on dit qu'il s'agit du potentiel local, ou électrochimique, dépendant de la composition du matériau); en réalité, il existe toujours une petite d.d.p. car il est difficile d'obtenir l'égalité des charges fixes (au signe près) de part et d'autre de la jonction, ou mur de potentiel, ou colline, ou barrière, selon les terminologies de la littérature.

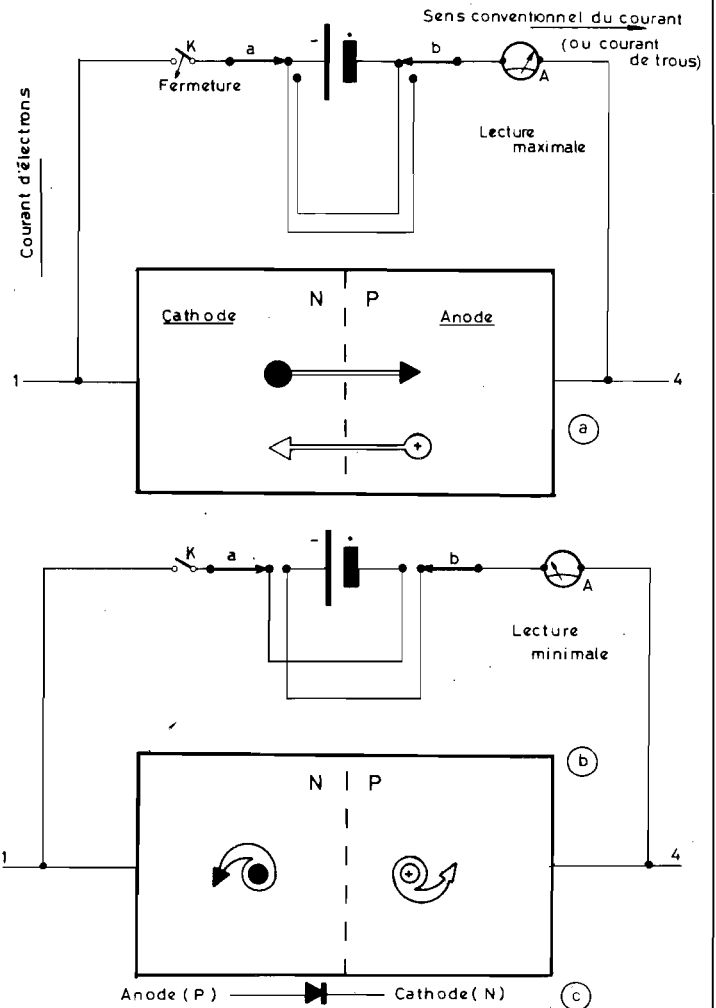


Fig. 2-3 - Au matériel expérimental décrit dans la première partie, il faut adjoindre deux interrupteurs inverseurs pour mettre en évidence le phénomène de polarisation directe et inverse d'une diode; dans le sens passant (a), la résistance est très faible (région positive P, ou anode, au pôle + de la pile; région négative, ou cathode, au pôle - de la pile); elle passe à plusieurs centaines d'ohms, dans le sens opposé (b); les constructeurs marquent la cathode d'un repère (point rouge) ou dessine sur l'enveloppe protectrice de la diode le symbole (C) qui montre dans quel sens circule le courant.

Expliquons ce donc il s'agit (fig. 2-1).

Prenons un matériau semi-conducteur \* qui contient beaucoup d'électrons libres. Nous aurons une enceinte (solide) 1 pleine de particules négatives (négatons n). Comme elle en est surchargée nous la désignerons par zone N. Supposons que nous ayons arraché ces charges à des atomes fixés le long de la paroi 2 et assujettis à celle-ci (ils ne parviennent pas à la quitter). Comme les électrons sont de charge négative, les atomes restant sont des ions positifs. Ceux-ci attirent les charges mobiles pour se recombinaison avec elles et redevenir électriquement neutres.

\* Voir appendice I : Conducteurs, isolants et semi-conducteurs.

Prenons le même matériau, mais arrangeons-nous, cette fois-ci, pour raréfier les électrons dans l'enceinte solide qu'il constitue, en surchargeant les atomes fixes de la paroi 3 de particules négatives attachées aux ions. Il en résulte qu'à la place des électrons, il y a des « trous », petites lacunes mobiles, chargées positivement (P).

Accolons les parois 2 et 3 (fig. 2-2). Les ions négatifs du côté 3 repoussent violemment les électrons, vers 1. En revanche, les ions positifs du côté 2, renvoient vers 4 les trous. Électrons et trous se fuient en quelque sorte, alors qu'ils auraient tendance à fusionner les uns avec les autres en produisant des phénomènes lumineux (plus ou moins visibles suivant leur fréquence).

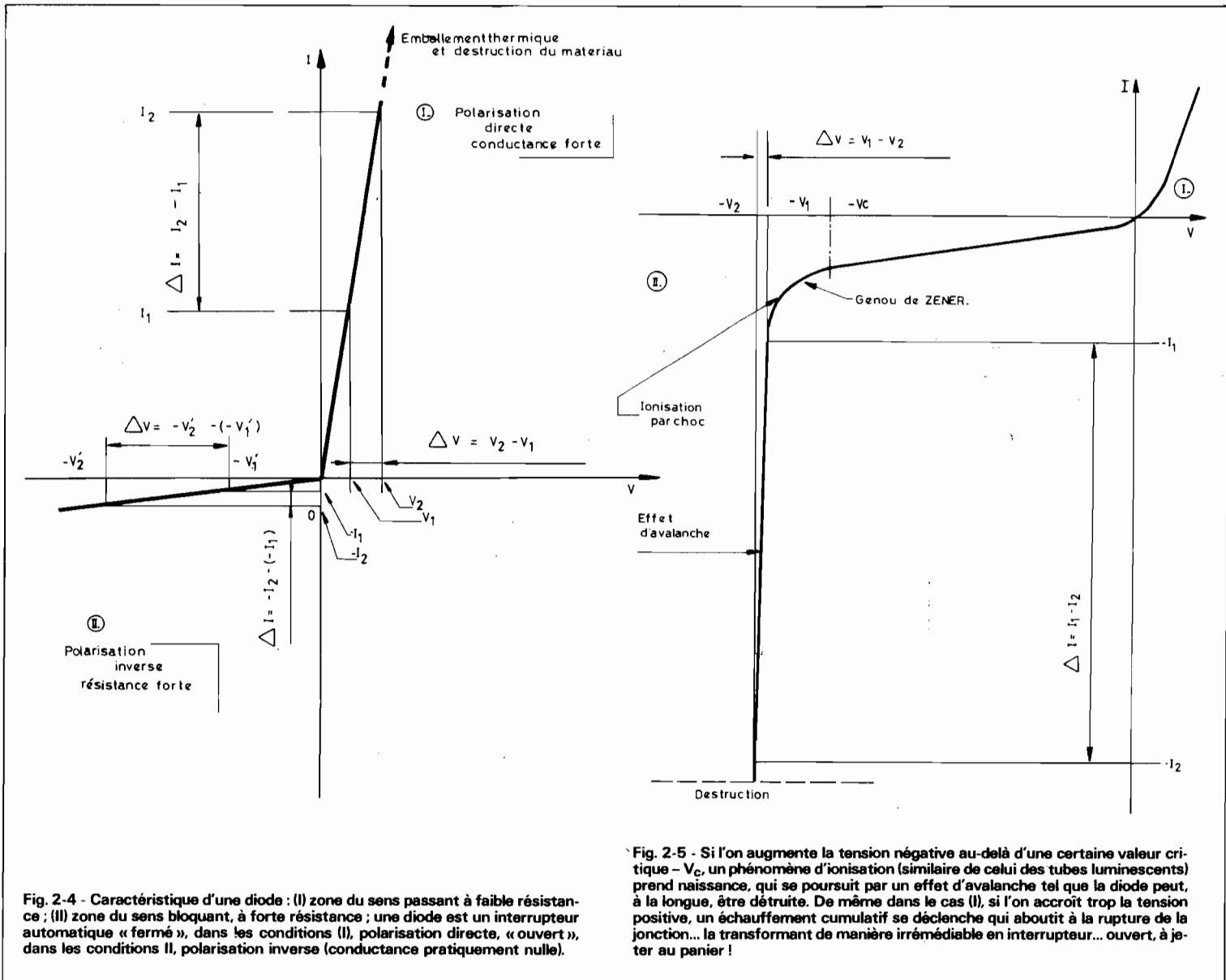
Ainsi, entre 2 et 3, naît une **barrière infranchissable** aux charges mobiles, qu'on appelle **barrière, ou colline, de potentiel**. Elle représente, de façon grossière, ce qui se passe dans une pile électrochimique isolée dans laquelle les charges libres ne circulent pas du pôle positif au pôle négatif, ni vice-versa.

Si l'on considère l'origine des longueurs en O, côté N et l'extrémité d, en D côté P, on constate que l'on peut calculer point par point la quantité de charges fixes et de charges mobiles (des deux signes) qui se répartissent le long de cet axe (abscisses x). Ne prenons que les charges fixes positives et négatives. Elles dessinent deux blocs de potentiel, de valeurs absolues  $|V_1|, |V_2|$  (équivalentes dans la pratique) mais in-

versées en grandeurs réelles. Il en résulte une différence de potentiel positif-négatif de quelques centièmes de volt à travers la jonction. Elle est suffisante pour empêcher le transfert de charges d'une région à l'autre, soit de N vers P, soit de P vers N. Vue de l'extérieur, la jonction, même mise en court-circuit, paraît inerte.

Disposons en 1 et 4 une pile, en branchant son pôle négatif sur la patte de la boîte noire fixée sur la zone N et son pôle positif sur la patte sortant de la zone P. La pile envoie des électrons dans le sens inverse du sens conventionnel du courant, qui est celui des trous (fig. 2-3) lorsque K est fermé.

Le pôle négatif de la pile repousse les électrons vers la jonction et les oblige à la franchir dans



le sens de la flèche à pointe noire, vers son pôle positif. Le pôle positif, pour sa part, renvoie les trous vers son pôle négatif en les contraignant de franchir, à leur tour, la barrière dans le sens indiqué par la flèche à pointe blanche. Les deux courants d'électrons et de trous s'additionnent. Ils contribuent tous les deux à l'intensité du courant passant par les conducteurs et mesuré (lorsque K est abaissé) en A.

Disons tout de suite que certains électrons et certains trous se recombinent entre eux, se détruisant mutuellement, ce qui appauvrit de leur présence le courant global.

De plus, il faut bien admettre que nous n'avons évoqué qu'une jonction idéale. En effet, parmi les électrons, des trous se promènent et vice-versa. On les nomme « porteurs minoritaires ». Il nous appartiendra d'y revenir plus loin.

Maintenant, basculons les inverseurs a et b (fig. 2-3) de manière que le pôle positif de la pile soit réuni à la région N tandis que le pôle négatif se trouve connecté à P. Alors que dans le premier cas de figure (a), la résistance apparente  $R_{app}$  était très faible (gros flux de charges à travers la jonction), dans ce second cas, au contraire  $R_{app}$  devient énorme, car la pile aide la jonction à séparer totalement les charges mobiles. L'intensité dans le circuit se révèle minimale.

Le premier cas est celui de la **polarisation directe** (forward bias, des anglo-saxons). Le second cas est celui de la **polarisation inverse** (reverse bias, en anglais). En polarisation directe, le courant est fort, pour une petite variation de tension. En compensation, il devient faible pour la polarisation inverse (d'où la **caractéristique de transfert**,  $I =$  fonction de  $V$ ,

bien connue, reproduite fig. 2-4). Dans un cas (I) la **résistance apparente**,  $\Delta R$ , on dit **dynamique** est faible (la conductance est forte). Dans l'autre cas (II), la résistance apparente est forte (la conductance est faible).

Avec les notations de la fig. 2-4, nous écrivons :

$$\Delta R = \frac{1}{\Delta G} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

pour la **polarisation directe**, et :

$$\Delta R = \frac{1}{\Delta G} = \frac{-\Delta V}{-\Delta I} = \frac{-V_2 - (-V_1)}{-I_2 - (-I_1)} = \frac{-V_2 + V_1}{-I_2 + I_1}$$

ou :

$$\Delta R = \frac{V_1 - V_2}{I_1 - I_2}$$

pour la **polarisation inverse**.

En pratique, on n'observe pas une cassure aussi franche à l'origine des coordonnées que celle reproduite sur la fig. 2-4. En réalité, il y a comme un adoucissement et les deux droites se raccordent par un arrondi.

Nous ajouterons que la puissance  $\Delta P$  dissipée dans la diode est égale à :

$$\Delta P = \Delta V \times \Delta I = \Delta R \times \Delta I^2$$

Il faut qu'elle demeure inférieure à sa valeur limite, indiquée par les constructeurs, dans les circuits. Autrement, il se produit un emballement thermique qui, en accélérant les porteurs de charge libres, leur prouve une énergie plus forte, si bien qu'ils arrachent d'autres particules aux ions fixes du solide et le détruisent par **échauffement cumulatif**. La jonction ne peut dépasser une certaine température, au-delà de laquelle, elle se détériore rendant la diode inapte à toute fonction. On

# LA BAFFLERIE

LE NOUVEAU LIEU DE  
LA SONO SUR MESURE  
QU'IL FAUT CONNAITRE

## PRESENTE TOUS LES HP PROFESSIONNELS

Altec Lansing - Fane - Jensen - JB Lansing  
RCF - Celestion - Goodmans - Utah - Vitavox...

ET AU MEME PRIX QU'A NEW-YORK !!!

MARLBORO M 12 Q	40 W. USA 31 cm. 25 w. sin spéc. guitare	145 F	MARLBORO M 15 Q	60 w. USA 38 cm. 30 w. sin spéc. guit. et bass.	240 F
MARLBORO M 12 N	70 w. USA 31 cm 30 w. sin spéc. guitare	250 F	MARLBORO M 15 L	100 w. USA 38 cm. 50 w. sin spéc. guit. et bass.	540 F

### ET TOUJOURS

ELAC GB 20 W. sono bicône	70 F	ELAC GB 25 W. spécial sono bicône	145 F
---------------------------	------	-----------------------------------	-------

**ASSISTANCE TECHNIQUE ASSURÉE :** Schémas de baffles appropriés  
Conseils de montage  
Ecoute comparée par « dispatching »

SERVICE EXPEDITION	M 12 Q, ELAC 20 W ELAC 25 W	M 12 N, M 15 Q	M 15 L	AUTRES HP SUR DEMANDE
	+ 15 F de port	+ 20 F de port	+ 30 F de port	

Mandat, C.C.P. ou chèque à la commande + FRAIS D'ENVOI

26, rue Duperré - 75009 PARIS - Tél. 874-75-98

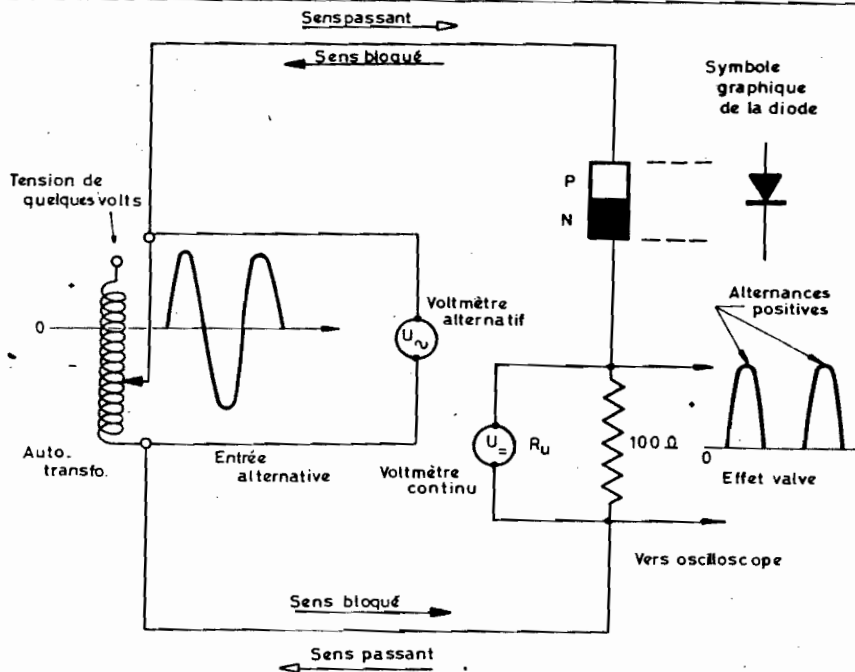


Fig. 2-6 - L'effet redresseur de la diode (ou effet valve) est pris en évidence par ce montage ; l'oscilloscope montre la forme du signal pris sur  $R_U$ , seules les alternances positives passent et l'intensité débitée apparaît comme continue.

téristique  $I = f(V)$  s'infléchit brutalement (genou de Zéner) et chute rapidement de telle sorte qu'une faible variation de tension favorise une grande variation de courant, jusqu'à destruction complète du matériau qui se met en circuit ouvert (résistance infinie). La fig. 2-5 retrace les étapes de ce phénomène, nommé processus d'avalanche.

Ainsi, dans ces limites de fonctionnement, la diode à jonction PN nous est-elle apparue comme un élément à circulation de courant en sens unique. Si nous la plaçons en série avec une résistance d'utilisation  $R_U$  et que nous les alimentons par une source alternative convenable, nous ne recueillerions aux bornes de  $R_U$  que les alternances positives du signal alternatif incident (fig. 2-6). Il s'agit du **redressement**, les alternances négatives étant chassées. La diode les a arrêtées totalement. Le courant émergeant se comporte comme un courant continu. Il peut servir à charger une batterie d'accumulateur, par exemple.

(à suivre)

dit qu'elle a claqué. Les technologies fournissent toujours les valeurs maximales  $V_c$  au-delà desquelles les jonctions se dénaturent.  $V_c$  est dite **tension de claquage**.

Que se passe-t-il, en polarisation inverse, si l'on pousse le courant plus loin ? Les particules arrivent en grand nombre (et avec violence) sur les ions solidaires de la paroi et leur prennent, par

chocs, de nouveaux électrons: on a affaire à une **ionisation par collision**, qui multiplie la quantité de charges mobiles, augmentant l'intensité véhiculée, qui accroît le mécanisme d'ionisation. La carac-

B. MARIN