

# Initiation à la pratique de l'électronique

## CONNAISSANCE DU TRANSISTOR

**A**VANT d'utiliser le transistor, composant de base des circuits électroniques, il est indispensable de bien le connaître.

Le transistor est d'abord un amplificateur de signal dont le fonctionnement peut s'expliquer simplement. Il ne possède que trois connexions (émetteur, base, collecteur), mais, avant sa mise sous tension, l'utilisateur devra s'informer sur son type (PNP ou NPN) et sur ses principales caractéristiques ( $V_{CE\ max}$ ,  $I_C\ max$ ,  $P_C\ max$ , gain).

Les quelques manipulations proposées permettront non seulement de mieux le connaître, mais aideront éventuellement à contrôler son bon fonctionnement.

Une autre application très courante est son emploi en interrupteur, pour commuter des intensités élevées à partir de tensions ou de courants extrêmement faibles, provenant par exemple d'un transducteur photoélectrique.

Il existe deux grandes classes de transistors, les bipolaires (PNP et NPN) et ceux à effet de champ (J-FET et MOS-FET). Ce mois-ci, nous nous limitons aux premiers. Ce sont les plus usuels.

### Diodes et transistors

Une diode semi-conductrice est composée essentiellement d'une jonction PN, c'est-à-dire de deux blocs semi-conducteurs, l'un étant du type N, l'autre du type P. Le premier possède un surplus de charges négatives, autrement dit d'électrons libres. L'autre bloc est considéré comme positif à cause de son manque d'électrons. Pour que cette diode soit passante, il suffit d'appliquer sur le bloc P une tension qui soit positive par rapport au bloc N. Ceci a pour effet le passage des électrons libres à travers la jonction de la diode (fig. 1).

Le transistor est composé de deux jonctions PN, l'une normalement passante, l'autre bloquée, de telle manière que l'ensemble peut être représenté par deux diodes en série alimentées par des tensions

dont les polarités sont celles de la figure 2.

Ces deux diodes peuvent aussi être dessinées sous la forme d'un ensemble de trois blocs dénommés : émetteur, base et collecteur, alimentés par deux tensions  $U_{CE}$  et  $U_{BE}$ . La jonction PN base-collecteur est bloquée puisque la tension d'alimentation  $U_{CE}$  est plus élevée que  $U_{BE}$ , le collecteur se trouvant ainsi positif par rapport à la base (fig. 3). Il faut remarquer que le bloc P, pris en sandwich entre les deux autres, est beaucoup plus mince. D'autre part, le bloc N « émetteur » a subi, lors de la fabrication du transistor, un dopage beaucoup plus fort que l'autre bloc N et, de ce fait, présente une quantité beaucoup plus grande d'électrons libres.

Lorsque le contact C est ouvert, aucun courant ne passe dans le transistor, puisque la jonction du haut est bloquée et est équiva-

lente à un circuit ouvert. En appliquant une tension  $+ U_{BE}$  (contact C fermé) légèrement supérieure à la tension de seuil de la diode (0,7 V), un courant traverse la jonction base-émetteur : les électrons de l'émetteur sont attirés par le potentiel positif de  $U_{BE}$ .

L'épaisseur de la base étant très mince (50 microns), les électrons arrivant dans cette zone sont attirés par le potentiel positif de la tension  $U_{CE}$ , beaucoup plus élevée que la tension appliquée sur la base. Et, bien que la jonction base-collecteur soit toujours bloquée, les électrons font le saut de cette jonction et un courant est détecté par le milliampère-mètre. Le fait que le courant traverse cette jonction s'appelle « effet transistor ».

Supposons que sur 100 électrons injectés par l'émetteur, 99 atteignent le collecteur, un seul électron

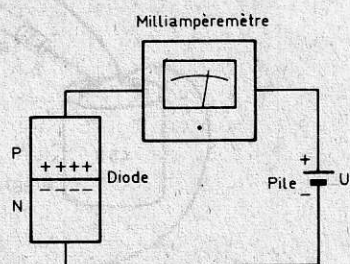


Fig. 1. — La diode n'est passante que si le bloc P est connecté au pôle positif de la pile.

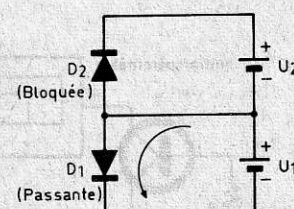


Fig. 2. — Électriquement, le transistor est équivalent à deux diodes dont l'une est passante et l'autre bloquée.

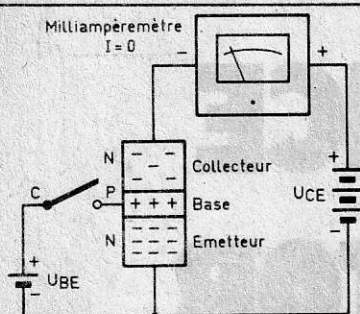


Fig. 3. — Le transistor peut également se représenter par 3 blocs semi-conducteurs. La jonction collecteur-base est bloquée,  $U_{CE}$  étant beaucoup plus élevée que  $U_{BE}$ .

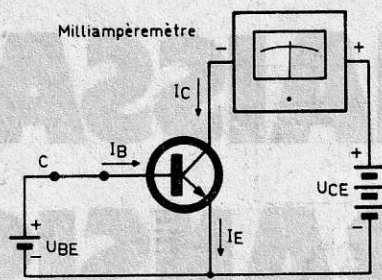


Fig. 4. — Si  $I_E = 100 \text{ mA}$ ,  $I_B = 1 \text{ mA}$  et  $I_C = 99 \text{ mA}$ , le gain ( $I_C/I_B$ ) est de 100.

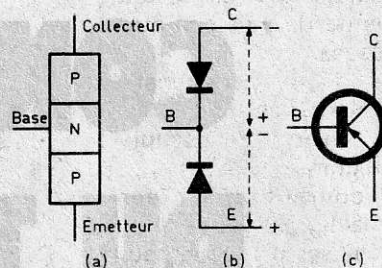


Fig. 5. — Représentations différentes d'un transistor PNP. Les polarités sont inversées par rapport au NPN.

sortira de la base pour se diriger vers le pôle « plus » de la tension  $V_{BE}$ . Parlons maintenant « courant ». Si  $I_E$  est égal à 100 mA, le courant de base ( $I_B$ ) est de 1 mA et le courant collecteur ( $I_C$ ) est égal à 99 mA, comme cela est indiqué sur la figure 4. Les flèches indiquent le sens conventionnel du courant, qui est le sens contraire de celui du déplacement des électrons. Le transistor y est représenté sous sa forme schématisée standardisée. Cette représentation rappelle les premiers transistors, dits « à pointes », qui étaient composés d'une « base » de semi-conducteur sur laquelle étaient disposées

deux électrodes : l'émetteur et le collecteur. Plus tard, ces transistors ont été remplacés par les modèles à jonction dont la disposition des électrodes est tout à fait différente. Malgré cela, le symbole du transistor n'a pas été modifié.

En ce qui concerne le bon fonctionnement d'un transistor, on doit se souvenir que la tension de polarisation appliquée sur la base doit rendre passant l'espace base-émetteur. Cette tension est légèrement supérieure à la tension de seuil d'une diode (0,7 V pour le silicium et entre 0,1 et 0,3 V pour le germanium). Pour ce qui est de la tension appliquée

au collecteur, sa grandeur et sa polarité sont telles que la jonction collecteur-base est bloquée.

On en déduit que la résistance d'entrée d'un transistor est faible (c'est celle d'une diode passante) et que sa résistance de sortie est élevée.

### PNP et NPN

Jusqu'ici nous n'avons parlé que du transistor NPN, dont le collecteur est connecté à l'extrémité « plus » de l'alimentation.

Un transistor PNP est un transistor dont la base est du type N et les deux autres électrodes du type P. Ce transistor est également équivalent à deux

diodes en série, comme pour le NPN, mais ces deux diodes sont inversées. La polarité des tensions appliquées étant, elle aussi, inversée, les jonctions base-collecteur et émetteur-base sont toujours respectivement dans l'état bloqué et l'état passant.

Le symbole du transistor PNP est le même que celui du NPN, mis à part le sens de la flèche (toujours côté émetteur) indiquant le sens (conventionnel) du courant dans le transistor (fig. 5).

### Caractéristiques principales

Qu'il soit PNP ou NPN, le transistor, comme la diode, possède des caractéristiques

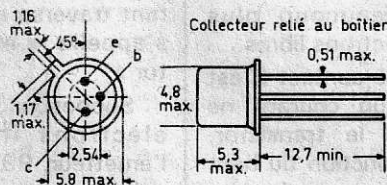


Fig. 6. — Dimensions du boîtier TO-18 (en mm) (d'après documentation RTC).

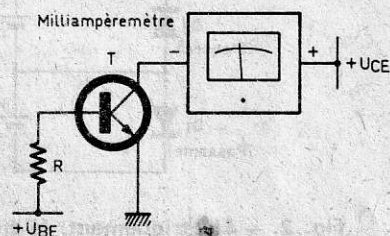


Fig. 7. — Représentation schématisée du premier montage.

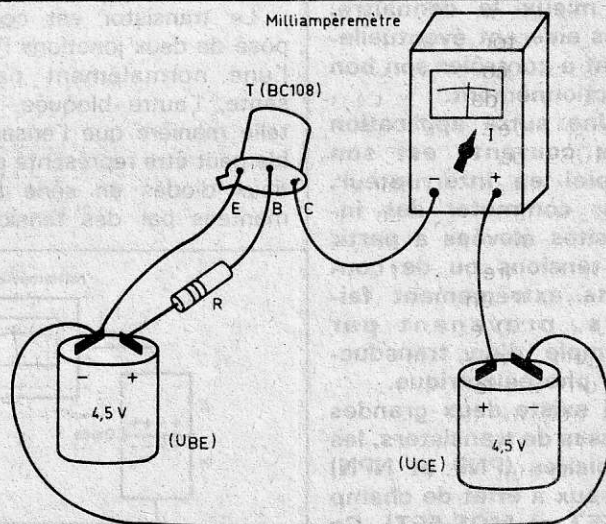


Fig. 8. — Représentation réelle du premier montage. (Contrôleur commuté sur « Intensité continue », gamme « 0,1 A ». Voir le texte pour la valeur de R.

téristiques qu'il faut connaître. Certaines valeurs limites ne doivent pas être dépassées.

Les quatre caractéristiques principales sont :

- la tension collecteur-émetteur maximale  $V_{CE\ max}$ ,
- le courant collecteur maximal  $I_{C\ max}$ ,
- la puissance collecteur  $P_{C\ max}$ ,
- le gain de courant B ou  $\beta$  (lettre grecque bêta), suivant qu'il s'agit du gain en continu ou en alternatif.

Prenons comme exemple le BC108, qui est un transistor NPN très courant et dont le prix est inférieur à 3 francs. C'est un modèle au silicium, comme l'indique la lettre B de son immatriculation ; la lettre C nous informe qu'il est destiné aux applications de basse fréquence ; 108 est son numéro d'ordre.

Quelles sont ses caractéristiques principales ? Sa tension  $V_{CE\ max}$  est de 20 V, ce qui signifie que la tension d'alimentation du montage dans lequel il sera inséré ne doit, en aucun cas, dépasser cette valeur. Son courant  $I_{C\ max}$  est de 100 mA, sa puissance  $P_{C\ max}$  est de 0,25 W. Le gain de courant du BC108 peut varier de 125 à 900. Ce transistor est trié en gain par le constructeur, et on trouve dans le commerce des BC108A, BC108B ou BC108C suivant la valeur du gain de courant de ceux-ci. La lettre finale A désigne un gain compris entre 125 et 260, la lettre B un gain entre 240 et 500 et la lettre C un gain entre 450 et 900. Le prix est le même pour ces trois modèles. Le gain d'un BC108A sera suffisant pour nos futures manipulations.

Un transistor PNP a des caractéristiques qui se rapprochent beaucoup du BC108, c'est le BC178, qui

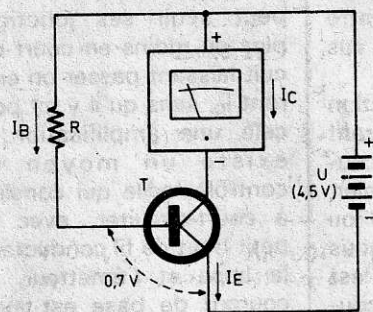


Fig. 9. — Une seule source peut alimenter la base et le collecteur.

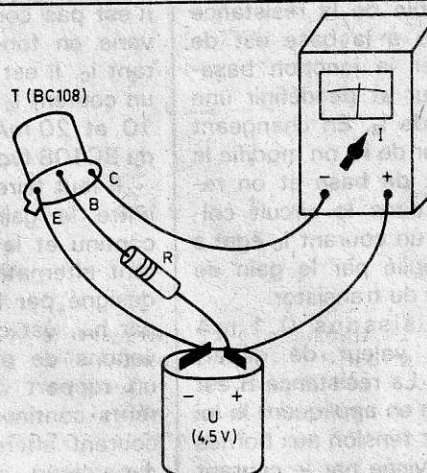


Fig. 10. — Représentation réelle du schéma de la figure 9.

peut être considéré comme son équivalent en PNP.

Ces deux transistors sont encapsulés dans un boîtier TO-18, dont les dimensions sont données sur la figure 6.

## Premières manipulations

Passons maintenant à l'expérimentation. Nous n'aurons besoin que d'un

transistor (BC108), d'une ou deux piles de 4,5 V pour l'alimentation et quelques résistances de faible wattage. Le choix du BC108 n'est pas obligatoire, le choix des transistors petits signaux étant considérable. Il existe des transistors dont le prix ne dépasse pas 1 franc, comme le BC237 (A, B ou C) dont les caractéristiques sont proches du BC108. Le boîtier de ce

modèle est en plastique, et la disposition des sorties (e, b, c) est la même que pour le BC108.

Le premier montage proposé est représenté sur la figure 7. Le même montage, avec la représentation des composants réels, est donné figure 8.

Pour plus de commodité, on utilisera une plaque de connexions. Il s'agit d'une planche de câblage instantané permettant de réaliser sans souder l'assemblage de composants aussi bien pour un montage simple, comme celui d'aujourd'hui, que pour un montage plus compliqué, employant par exemple des circuits intégrés. Cette planche de câblage vous sera toujours très utile, car elle est réutilisable à l'infini. Son seul inconvénient est son prix d'achat, mais vous ne regretterez pas d'avoir fait son acquisition.

Revenons à notre montage. Les deux tensions  $U_{BE}$  et  $U_{CE}$  peuvent provenir d'une seule source de tension, et, d'ores et déjà, nous pouvons n'utiliser qu'une seule pile U pour alimenter le collecteur et la base. Le schéma théorique est donné sur la figure 9 et le schéma pratique sur la figure 10.

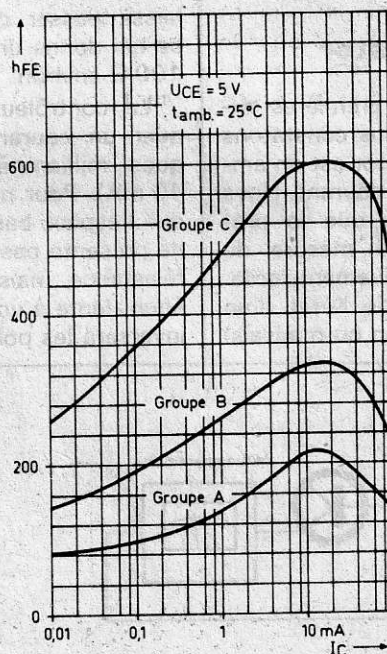


Fig. 11. — Variation du gain du BC 108 en fonction du courant (d'après documentation Telefunken).

Le rôle de la résistance  $R$  reliée à la base est de polariser la jonction base-émetteur et de définir une valeur de  $I_B$ . En changeant la valeur de  $R$ , on modifie le courant de base et on recueille dans le circuit collecteur un courant  $I_C$  égal à  $I_B$  multiplié par le gain de courant du transistor.

Choisissons 0,1 mA comme valeur de départ pour  $I_B$ . La résistance  $R$  est calculée en appliquant la loi d'Ohm : tension aux bornes de  $R$  divisée par le courant dans  $R$ . La tension est égale à la tension de la pile (4,5 V) moins la chute de tension dans la jonction (0,7 V). Le courant dans  $R$  est de 0,1 mA, ce qui donne pour  $R$  la valeur de 45 k $\Omega$

$$\frac{4,5 - 0,7}{0,1}$$

En insérant une résistance normalisée de 47 k $\Omega$ , nous lisons sur le contrôleur un certain courant  $I_C$ . Notre transistor, un BC108A nous donne un  $I_C$  de 13 mA. Le gain du transistor est égal au rapport courant collecteur sur courant base, soit :

$$\frac{13 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} = 130$$

Pour plus de précision, nous pouvons mesurer avec le contrôleur la tension aux bornes de  $R$  et mesurer également la valeur de  $R$  toujours avec le même contrôleur, mais commuté en ohmmètre, ainsi nous saurons la valeur exacte de  $I_B$ , puis celle du gain. Nous savons que le gain d'un BC108A se situe entre 125 et 260. En remplaçant la 47 k $\Omega$  par une résistance de valeur proche, mettons 56 k $\Omega$ , nous obtenons un  $I_C$  différent. En calculant le gain pour ce nouveau  $I_C$ , nous n'obtiendrons pas forcément la même valeur de gain que tout à l'heure. En effet, le gain d'un transistor

n'est pas constant, mais il varie en fonction du courant  $I_C$ . Il est maximal pour un courant  $I_C$  compris entre 10 et 20 mA dans le cas du BC108 (voir fig. 11).

Il faut faire la distinction entre le gain de courant continu et le gain de courant alternatif. Le premier, désigné par la lettre  $B$  ou par  $h_{FE}$ , est celui que nous venons de mesurer. C'est un rapport de deux courants continus. Le gain de courant alternatif, ou gain dynamique, désigné par  $\beta$  ou  $h_{FE}$ , est un rapport de deux variations de courant :

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Si le courant base, en passant de 0,1 à 0,15 mA ( $\Delta I_B = 0,15 - 0,10 = 0,05$  mA), entraîne un courant  $I_C$  allant de 13 à 20,5 mA ( $\Delta I_C = 20,5 - 13 = 7,5$  mA) le gain dynamique est de :

$$\frac{7,5 \text{ mA}}{0,05 \text{ mA}} = 150$$

### Comment contrôler un transistor

Avec ces premières expériences, nous constatons que le transistor est un amplificateur de courant. Nous voyons aussi que le procédé pour la mesure du gain est relativement facile. Le contrôle de l'état d'un transistor (bon ou mauvais)

s'effectue également avec le montage de la figure 9. Un transistor défectueux peut avoir ses jonctions plus ou moins en court-circuit laissant passer un courant  $I_C$ , sans qu'il y ait pour cela une amplification. Il existe un moyen de contrôle facile qui consiste à court-circuiter, avec un petit bout de fil conducteur, la base et l'émetteur. Le courant de base est alors nul, il doit entraîner la suppression totale du courant collecteur.

Un autre contrôle peut être effectué facilement, c'est l'état des jonctions émetteur-base et base-collecteur.

Pour le contrôle de la jonction émetteur-base, il suffit de la mettre en série avec une pile de 4,5 V, le contrôleur branché en mesure d'intensité et avec une résistance limitant le courant (fig. 12). Le constructeur du transistor BC108 conseille un courant de base max. de 200 mA. Nous calculerons la résistance série pour qu'elle ne laisse passer que 40 mA, ce qui donne une valeur de 100  $\Omega$  environ.

Le contrôleur doit indiquer un courant de quelques milliampères (10 à 40 mA). Pour nous assurer que l'espace base-émetteur ne présente pas une simple résistance, mais qu'elle est équivalente à une diode, on inversera les polarités de la

pile (et aussi celles du milliampèremètre pour plus de sécurité). La jonction émetteur-base est bonne si, dans ce cas, le contrôleur n'indique aucun courant.

Le contrôle de la jonction collecteur-base se fait de façon identique, il suffit de déconnecter le contrôleur de l'émetteur et de le brancher sur le collecteur (fig. 13). La constatation doit être la même que pour la jonction base-émetteur, le courant ne doit passer que dans un seul sens. On gardera la même valeur pour  $R$ , le courant  $I_C$  à ne pas dépasser étant de 100 mA.

Il est évident que pour le contrôle d'une jonction, il est toujours indispensable de faire deux tests, le deuxième étant l'inversion de la tension appliquée. Si dans les deux cas nous avons un courant, il y a un court-circuit plus ou moins franc. Si le courant est nul dans les deux cas, la jonction est coupée.

### Transistor utilisé en commutation

Le transistor est souvent employé en commutation. Il est alors comparable à un interrupteur pouvant couper un courant relativement élevé ( $I_C$ ), la commande de cet interrupteur se faisant par un courant relativement faible ( $I_B$ ). Utilisé de cette

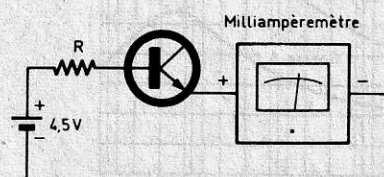


Fig. 12. — Contrôle de la jonction émetteur-base.

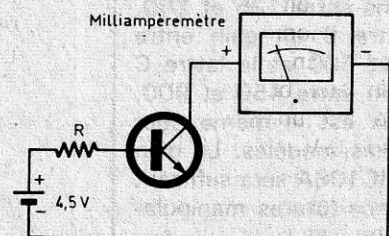


Fig. 13. — Contrôle de la jonction collecteur-base.

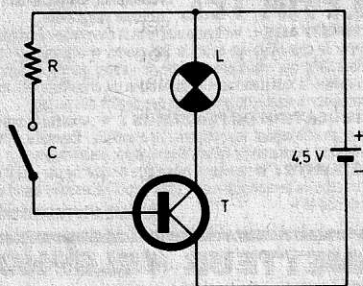


Fig. 14. — Transistor utilisé en commutation (L est une ampoule 4,5 V - 40 mA).

façon, le transistor peut remplacer un relais électromagnétique.

Le schéma de principe est donné sur la figure 14. L'interrupteur proprement dit est constitué par l'espace collecteur-émetteur du transistor. Il ne peut couper qu'un courant inférieur au courant  $I_{C\max}$ . Le courant  $I_B$ , quant à lui, doit être au moins égal, pour fermer l'interrupteur, au courant du collecteur divisé par le gain du transistor.

Lorsque le courant de base est nul (contact C ouvert), l'espace collecteur-émetteur est considéré comme un circuit ouvert (transistor bloqué). En fermant le contact C, il y a existence d'un courant  $I_B$  qui fait apparaître dans le circuit collecteur un courant  $I_C$  égal à  $I_B$  multiplié par le gain en courant continu ( $\beta$  ou  $h_{FE}$ ) du transistor. L'espace collecteur-émetteur est alors équivalent à un interrupteur fermé (transistor saturé). On dit que le transistor fonctionne en « tout ou rien ». En mesurant la tension aux bornes de la charge (ici une ampoule), on a soit 0 V, soit 4,5 V.

Si le transistor était parfait, il présenterait, entre collecteur et émetteur, une résistance infinie lorsqu'il est bloqué et une résistance nulle lorsqu'il est saturé.

Il existe des modèles spéciaux de transistors pour la commutation. Citons le 2N3055 ayant un  $V_{CE\max}$  de 60 V et pouvant supporter un courant  $I_C$  de 15 A. Sa puissance  $P_{C\max}$  (avec radiateur) est de 115 W et son gain de courant est faible (de 20 à 70). Il peut être précédé par un autre transistor de gain plus élevé. Comme autre NPN, un modèle courant est le 2N1711 (50 V, 500 mA, 3 W avec radiateur), son gain va de 100 à 300 et son boîtier est un TO-39, qui est semblable au TO-18, son diamètre est de 8,5 mm au lieu de 4,8. L'équivalent du 2N1711 en PNP est le 2N2905.

Pour le circuit de démonstration du transistor de commutation (fig. 14), un transistor standard (BC108A) fera l'affaire.

Sachant que l'ampoule est allumée pour 40 mA et connaissant le gain de courant du transistor ( $h_{FE} = 130$ ), nous calculons  $I_B$

$$I_B = \frac{40 \text{ mA}}{130} = 0,3 \text{ mA}$$

puis la résistance R,

$$R = \frac{4,5 \text{ V}}{0,3 \text{ mA}} = 15 \text{ k}\Omega$$

Pour être sûr d'avoir un courant de commande suffisant, nous choisirons une valeur standard un peu plus faible, soit 10 k $\Omega$ .

J.-B. P.

## interconnexions composants professionnels

• **SOUFFLERIE coquille d'escargot** pour tube émission «LMB». Alim. 127 V. 50 Hz. Démarrage par condensateur incorporé. Régulation centrifuge. Filtre à air. Débit air 1600 litres/minute.

Prix : 75,00 F + port 27,00 F

• **CABLE COAXIAL RG8B/U 50 $\Omega$** , longueur 12 m environ équipé à chaque extrémité d'un PL 259 téflon. Ensemble à l'état de neuf.

Prix : 60,00 F + port 15,00 F

• **RACCORD COAXIAL UG 363/U** pour raccorder deux PL259.

Prix : 15,00 F + port 3,50 F

• **CONTROLEUR U.S. URM 105**, 20.000 ohms $\div$ V. 0 à 1000 V en continu et en alternatif en 4 gammes. Ohmmètre 0 à 20 Mégohms en 5 gammes. Alim. par piles 1,5 V et 22,5 V. Livré à l'état de neuf sans pile.

Prix : 100,00 F + port 15,00 F

Documentation contre enveloppe timbrée

• **FREQUENCEMETRE** à absorption U.S. Type I 129 B. Couvre de 1,5 à 41 MHz en 4 gammes. Idéal pour le réglage de la fréquence de votre émetteur. Livré à l'état de neuf en coffret bois.

Prix : 150,00 F + port 32,50 F

Documentation contre enveloppe timbrée

• **DYNAMO «BOSCH»** délivrant 24 V continu 38 A à 1300 tours/minute. Idéal pour accoupler à une éolienne pour charger des batteries. Livré à l'état de neuf. Poids 20 kg environ.

Expédition en port dû par SNCF.

Prix : 250,00 F

• **DETECTEUR de métaux**, modèle SCR 625 à Transistors. Très léger. Livré avec une housse de transport en toile. Alimentation par piles (6) de 1,5 V.

Expédition en port dû par SNCF.

Prix : 750,00 F

Documentation contre enveloppe timbrée.

• **QUARTZ 50 kHz** en tube verre support 7 broches miniature.

Prix : 25,00 F + port 5,00 F

• **QUARTZ 100 kHz** support octal pour récepteur «CSF» stabilidine.

Prix : 50,00 F + port 10,00 F

• **ENSEMBLE DE TEST I-82** pour réglage et sortie HF des T-W SCR 536. Neuf en emballage d'origine.

Prix : 25,00 F + port 15,00 F

Documentation contre enveloppe timbrée.

• **LOT de 10 QUARTZ FT 243** - Fq 7000 - 7025 - 7050 - 7075 - 7100 kHz - 8000 - 8025 - 8050 - 8075 - 8100 kHz.

Prix pour l'ensemble : 25,00 F + port 7,00 F

• **LOT de 50 QUARTZ FT 243**. Fréquences diverses.

Prix de l'ensemble : 25,00 F + port 22,00 F

• **LISTE de 100 NOTICES «FERISOL»**

• **LISTE de 80 SORTES de CONDENSATEURS**

**VARIABLES : EMISSION-RECEPTION**

CONTRE 4,50 F en timbres

## SUR PLACE UNIQUEMENT GROS STOCK MATERIELS DE SURPLUS BRADES

|                          |                  |
|--------------------------|------------------|
| RT 77 - GRC 9.....250 F  | BC 652.....100 F |
| PRC 9 - PRC 10.....250 F | BC 653.....500 F |
| BC 1000.....50 F         | TRAP 1A.....50 F |
| ARN 6.....100 F          | TRC 7.....50 F   |
| R 48 - TRC 8.....150 F   |                  |

OUVERT de 8 à 12 h et 14 h à 17 h

FERME SAMEDI APRES-MIDI DIMANCHE et FETES

Sté I.C.P.

63, rue de Coulommès

77860 QUINCY-VOISINS

Tél. 004.04.24

### CONDITIONS GENERALES DE VENTE

Aucun envoi contre-remboursement. Minimum d'expédition 50,00 F + port. Règlement par Chèque joint à la commande.

Si vous venez de Paris : prendre l'autoroute de l'Est A4, direction de Meaux, sortir après le péage de Coutevroult à la première sortie via Crecy, en direction de Couilly.