



SEMI - CONDUCTEURS

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

L'étude des diodes à semi-conducteurs étant terminée, nous allons voir maintenant les TRANSISTORS.

Le nom de ces composants dérive de la fusion de deux termes anglais : TRANSFER et RESISTOR, signifiant "transfert et résistance".

Le second terme rappelle que le TRANSISTOR est un dispositif présentant une résistance électrique, mais une résistance de type bien particulier.

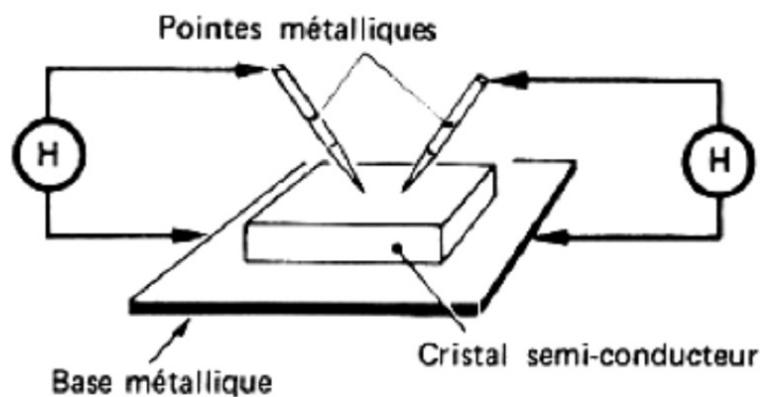
En effet, le TRANSISTOR est un élément en mesure d'accomplir une AMPLIFICATION, donc de remplacer le TUBE ELECTRONIQUE dans la presque totalité de ses diverses applications.

I - L'EFFET TRANSISTOR

Le fonctionnement du TRANSISTOR est dû à une propriété particulière des SEMI-CONDUCTEURS, découverte par hasard par J. BARDEEN et W.H. BRATTAIN, en 1948.

Ces deux physiciens travaillaient pour la Société américaine BELL-TELEPHONE et effectuaient des recherches sur les semi-conducteurs.

Ils devaient, entre autre, contrôler la résistance électrique en divers points des surfaces opposées d'un cristal (figure 1).



**EXPERIENCE DE J. BARDEEN ET W.H. BRATTAIN
(EFFET TRANSISTOR).**

Figure 1

Lors de ce contrôle, la surface inférieure du cristal adhérait parfaitement à une base métallique, de manière à assurer un bon contact électrique.

Les POINTES DE TOUCHE de l'appareil de mesure étaient appliquées sur la surface supérieure et entre ces pointes et la base métallique, deux OHMMETRES étaient insérés (H).

Lors des mesures et plus précisément, lorsque les deux physiciens travaillant en même temps, utilisaient les deux appareils de mesure, ils remarquèrent que les indications d'un instrument étaient influencées de manière évidente par le circuit du second appareil de mesure.

Ainsi, alors que la résistance indiquée par un appareil était relativement élevée, en l'absence du second appareil, cette résistance tombait immédiatement à une valeur relativement faible, lorsque ce second appareil était relié (comme sur la figure 1).

Les deux physiciens notèrent ce phénomène et en déduisirent qu'il était possible de COMMANDER le COURANT D'UN CIRCUIT par l'INTERMEDIAIRE de la TENSION et du COURANT de l'AUTRE CIRCUIT.

Dans des cas de ce genre, c'est-à-dire en présence d'un dispositif composé d'un CIRCUIT D'ENTREE, d'un CIRCUIT DE SORTIE et lorsque le COURANT DE SORTIE dépend de la TENSION D'ENTREE, on peut exprimer le rapport existant entre les deux grandeurs électriques, en DIVISANT la TENSION D'ENTREE par le COURANT DE SORTIE.

Ce rapport constitue une nouvelle grandeur, dite RESISTANCE DE TRANSFERT (transfer-résistor en anglais).

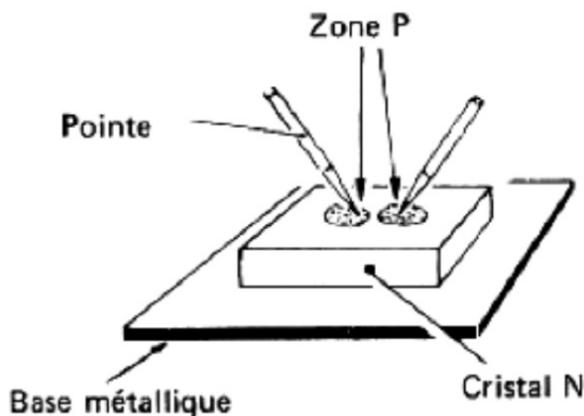
Le phénomène découvert par les deux physiciens de BELL TELEPHONE a été appelé par la suite EFFET TRANSISTOR.

En étudiant plus sérieusement par la suite, les conditions dans lesquelles ce phénomène se produisait, on pû constater que l'EFFET TRANSISTOR était possible lorsque le CRISTAL comportait DEUX JONCTIONS P N (figure 2).

Par exemple, si le cristal est de type N, on peut avoir L'EFFET TRANSISTOR après formation dans ce même cristal, de deux zones P, proches l'une de l'autre, mais nettement séparées entre-elles.

Dans ce cas, on trouve donc une portion de semi-conducteur N entre deux zones P. Cela revient à dire qu'il y a DEUX JONCTIONS PN : l'une entre la première zone P et la zone N intermédiaire, l'autre entre la seconde zone P et la même zone N intermédiaire.

Pour former les deux zones P dans le cristal N, on peut avoir recours au système de la **POINTE METALLIQUE**, comme nous l'avons vu dans la leçons SEMI-CONDUCTEURS 2.



PRINCIPE DU TRANSISTOR A POINTE

Figure 2

En appliquant DEUX POINTES sur un MONOCRISTAL N, et en faisant circuler un COURANT CONTINU entre chaque pointe et le cristal, il a été possible de réaliser le premier type de transistor, appelé TRANSISTOR A POINTES DE CONTACT ou plus simplement TRANSISTOR à POINTES.

II - FONCTIONNEMENT DES TRANSISTORS

Pour comprendre les phénomènes qui sont à la base de l'"effet transistor", il faut imaginer que le TRANSISTOR est constitué par trois petits blocs de matériau semi-conducteurs : un bloc P adhérant à un bloc N, ce dernier adhérant lui-même à un autre bloc P (figure 3), ou

encore un bloc N adhérant à un bloc P qui à son tour adhère à un autre bloc N (figures 3 et 4).

Le premier est appelé TRANSISTOR P.N.P et le second, TRANSISTOR N.P.N.

Dans l'un et dans l'autre, il y a toujours DEUX JONCTIONS P.N ayant en commun les parties N ou P.

Voyons d'abord le fonctionnement du transistor P.N.P.

A cet effet, il convient de se référer aux trois schémas de la figure 3.

Sur celui-ci, on voit une PILE entre un bloc P et le bloc N et une seconde pile entre ce même bloc N et l'autre bloc P. Chacun des circuits ainsi constitué est muni d'un MILLIAMPEREMETRE.

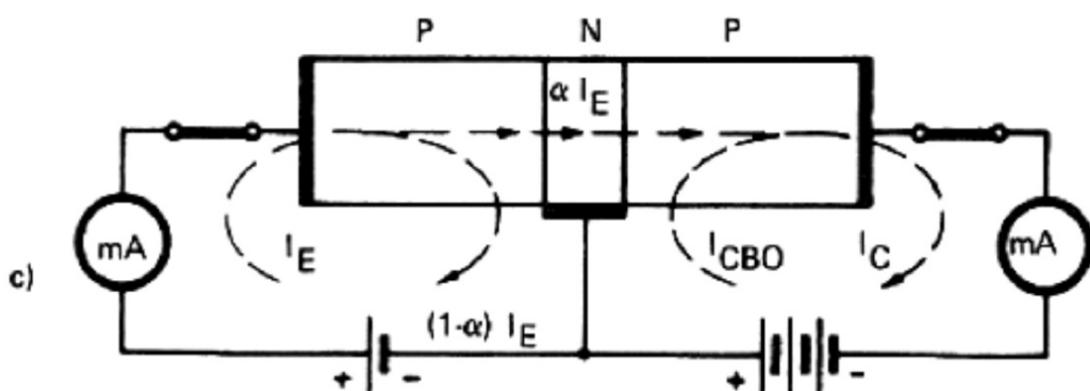
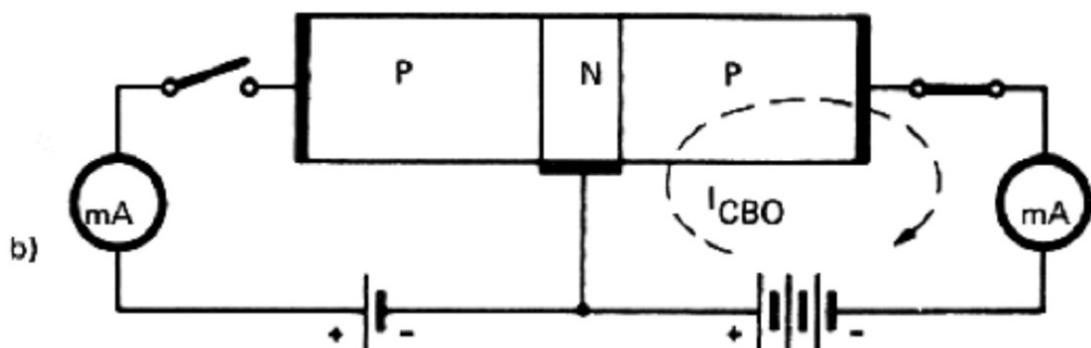
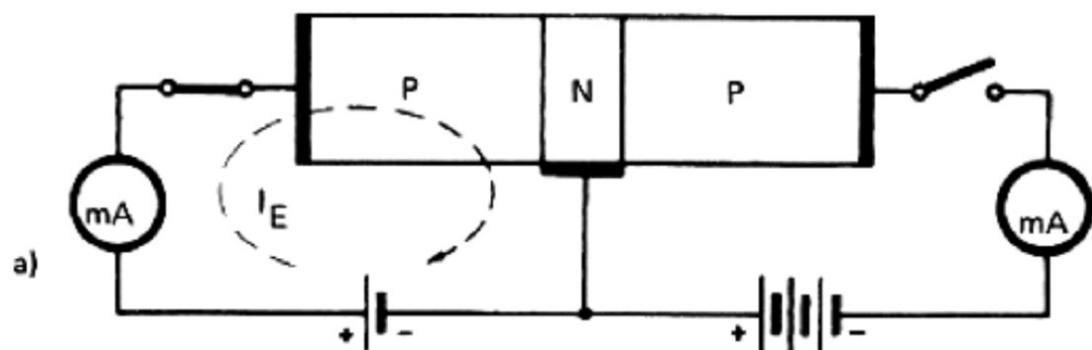
Etant donné que le positif (+) d'une pile est relié au bloc P (côté gauche) et le négatif (-) au bloc N, la diode obtenue, en ne considérant que ces deux blocs, est polarisée dans le SENS DIRECT (figure 3-a).

Dans ce circuit, il pourra donc circuler le COURANT DIRECT de cette diode, courant indiqué par la flèche et le symbole I_E . L'appareil de mesure, permet de mettre en évidence ce courant.

Dans le circuit de la figure 3-b, où l'on ne considère que les deux blocs de droite, la pile est reliée avec son positif (+) au bloc N et son négatif (-) au bloc P. Là encore, l'ensemble constitue une diode, mais qui est cette fois POLARISEE en SENS INVERSE.

On trouve donc, dans ce circuit, le faible COURANT INVERSE, indiqué par la flèche et le symbole I_{CBO} .

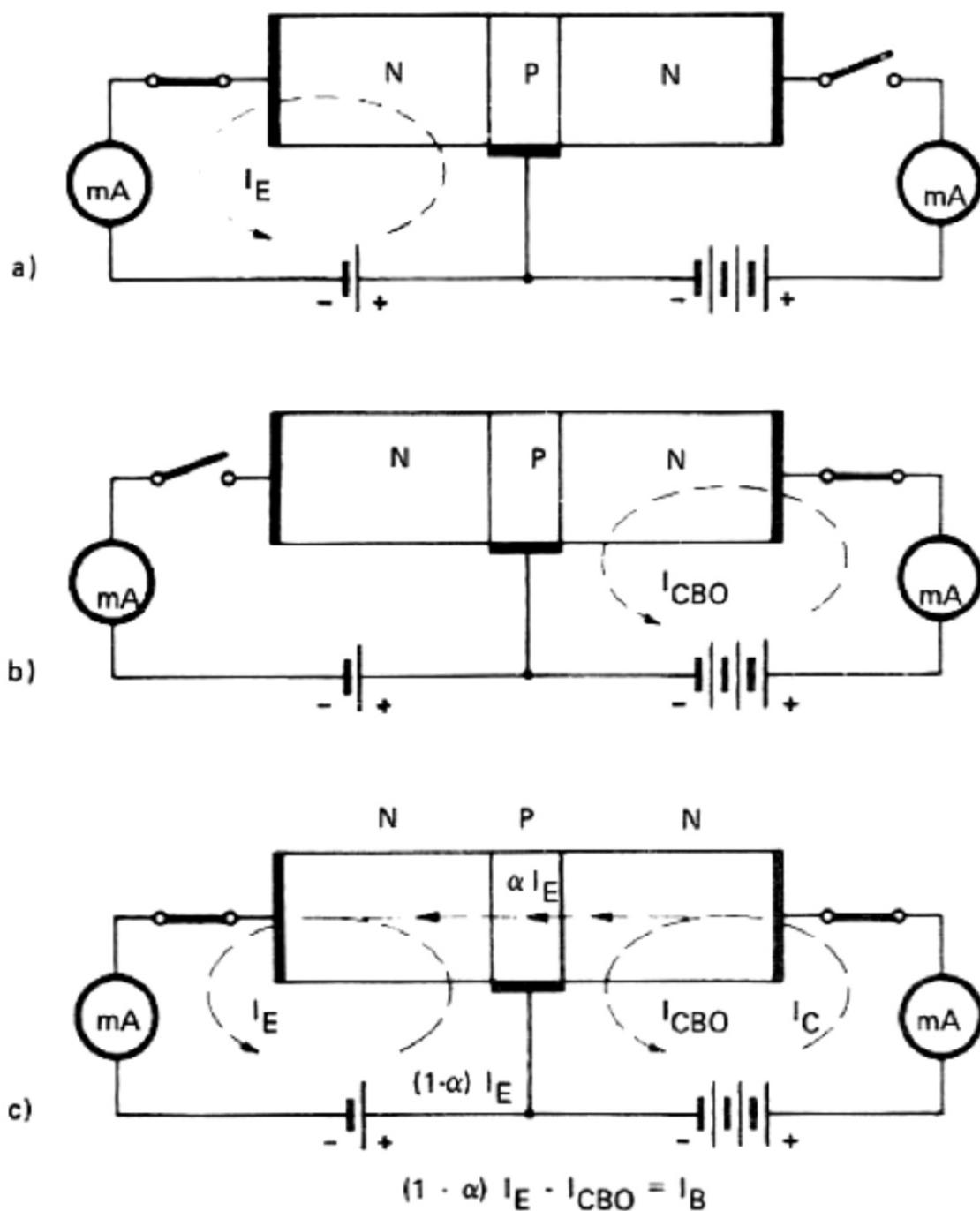
FERMONS MAINTENANT LES DEUX CIRCUITS à l'aide des interrupteurs (figure 3-c).



$$(1 - \alpha) I_E - I_{CBO} = I_B$$

FONCTIONNEMENT DU TRANSISTOR P.N.P.

Figure 3



FONCTIONNEMENT DU TRANSISTOR NPN

Figure 4

On pourrait penser que les deux courants I_E et I_{CBO} continuent simplement d'exister comme précédemment, avec la même intensité.

En réalité, on observe que le courant I_{CBO} mesuré par l'APPAREIL DE DROITE, après la fermeture de l'INTERRUPTEUR DE GAUCHE, AUGMENTE d'une valeur pratiquement égale à celle du courant I_E .

Cette manipulation met en évidence l'influence exercée par le CIRCUIT I_E sur le CIRCUIT I_{CBO} , c'est-à-dire met en relief l'EFFET TRANSISTOR.

Cette influence toutefois serait nulle, si le bloc N avait une EPAISSEUR suffisante ou si les deux jonctions P.N étaient simplement constituées par deux diodes à cristal reliées entre elles.

En effet, l'EFFET TRANSISTOR ne peut être obtenu que lorsque LES JONCTIONS SONT FORMÉES DANS UN SEUL ET MÊME CRISTAL et à la condition que la zone centrale soit très mince.

En observant la figure 3-c, on voit comment l'on peut interpréter ces phénomènes.

- Le courant I_E se subdivise en deux parties : une partie traverse la zone N centrale et va s'ajouter au courant I_{CBO} , formant ainsi le courant I_C ; une seconde partie du courant I_E continue à circuler dans le parcours d'origine.

Dans la partie commune de la liaison externe, reliant les deux piles à la zone N, on devrait trouver en même temps deux courants circulant en sens inverse, c'est-à-dire une partie du courant I_E et le courant I_{CBO} .

En réalité, étant donné que les deux courants sont de sens opposé, il ne circule dans la liaison commune qu'un seul courant,

D'INTENSITE EGALE à la différence $I_E - I_{CBO}$, que l'on appelle le courant I_B .

Le sens de ce courant I_B dépend de la valeur des deux courants opposés qui le constituent, comme nous le verrons par la suite.

La partie du courant I_E passant à travers la zone N centrale et entrant dans le circuit du courant I_{CBO} , est indiquée sur la figure 3-c, sous forme d'un produit littéral : φI_E .

Dans ce terme φ (alpha) représente un nombre sensiblement inférieur à 1 et I_E représente la valeur du courant mesuré par l'appareil de gauche.

En donnant à φ une valeur légèrement inférieure à 1, on veut indiquer que PRESQUE TOUT LE COURANT I_E passe dans le circuit I_{CBO} .

Quant à la partie du courant I_E continuant à circuler dans le parcours d'origine, elle est indiquée par le produit $(1 - \varphi) I_E$.

Il est évident que le terme $1 - \varphi$ représente un nombre très petit, n'étant que très légèrement inférieur à 1.

Le fait que la valeur de l'expression $1 - \varphi$ soit très petite, indique que la partie du courant I_E subsistant dans le circuit d'origine est également très faible.

La valeur du coefficient φ qui apparaît dans les deux expressions φI_E et $(1 - \varphi) I_E$, dépend exclusivement des CARACTERISTIQUES du transistor.

En général, cette valeur est comprise entre 0,92 et 0,99.

Voyons avec un exemple comment calculer φ , connaissant les valeurs de courant relatives aux circuits des figures 3-b et 3-c.

Le courant I_{CBO} est, par exemple, de 0,01 mA, le courant I_E de 6 mA et le courant I_C de 5,90 mA.

Le courant φI_E est calculé à l'aide de la formule :

$$\varphi I_E = I_C - I_{CBO}, \quad \text{donc :}$$

$$\varphi I_E = 5,90 - 0,01 = 5,89$$

On obtient la valeur de φ par la formule :

$$\varphi = \frac{\varphi I_E}{I_E}, \quad \text{donc}$$

$$\varphi = \frac{5,89}{6} = 0,98 \text{ environ}$$

Le nombre φ est appelé COEFFICIENT D'AMPLIFICATION ALFA, car il existe une certaine relation entre sa valeur et l'amplification du transistor, comme nous le verrons dans la prochaine leçon.

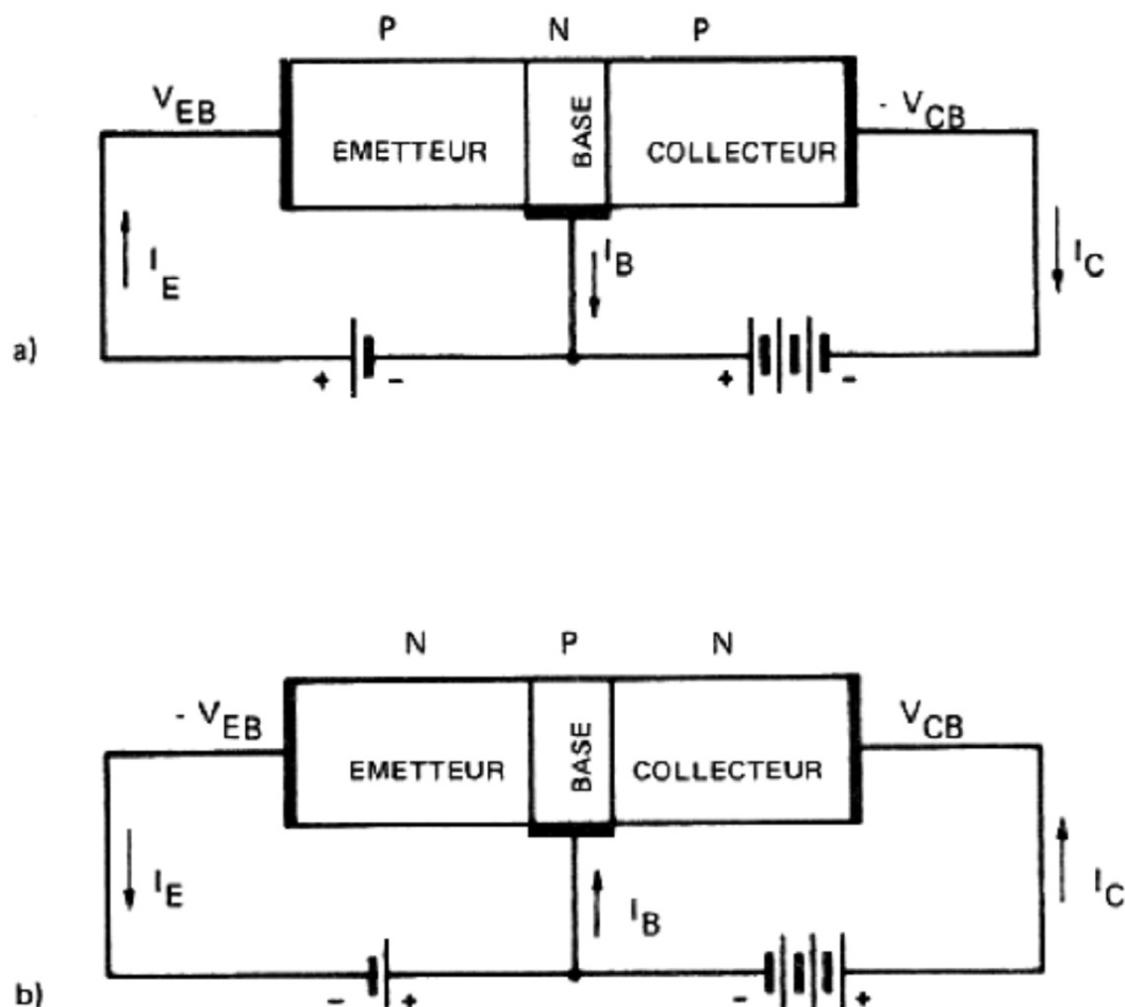
On pourrait refaire toutes ces considérations fondamentales pour le transistor N.P.N. de la figure 4, à la seule différence QUE LES POLARITES DES PILES DOIVENT ETRE INVERSEES, les blocs P.N étant eux-mêmes inversés par rapport au transistor P.N.P (voir figures 4-a, 4-b et 4-c).

La figure 5 met en évidence les différences essentielles entre ces deux types de transistors.

NOTONS tout d'abord le nom de chaque zone, qui reste le même, quel que soit le type de transistor considéré.

Nous avons ainsi :

L'EMETTEUR - LA BASE - LE COLLECTEUR.



TENSION ET COURANT DU TRANSISTOR PNP ET NPN

Figure 5

L'EMETTEUR est l'électrode du transistor à laquelle est appliquée la TENSION de POLARISATION V_{EB} (tension existant entre l'émetteur et la base).

CETTE TENSION EST POSITIVE dans le cas du TRANSISTOR PNP et NEGATIVE DANS LE CAS DU TRANSISTOR NPN.

C'est dans la partie correspondant à cette électrode que se forme le courant I_E .

Retenons bien, qu'étant donné l'inversion de polarité entre le transistor P.N.P et le transistor N.P.N, le courant I_E est lui-même inversé selon le type du transistor considéré.

La BASE est l'électrode de la zone centrale et sert de référence pour la mesure des tensions de l'EMETTEUR et du COLLECTEUR.

En général, les courants de base I_B du transistor P.N.P et N.P.N, circulent dans le sens indiqué sur les figures 5-a et 5-b ; il n'est cependant pas exclu que ces courants puissent aussi circuler dans les sens opposés.

Lorsque le courant $(1 - \varphi) I_E$ est plus intense que le courant I_{CBO} (figures 3-c et 4-c), le sens du courant I_B est celui indiqué sur la figure 5-a pour le transistor P.N.P et celui de la figure 5-b pour le transistor N.P.N.

Inversement, lorsque le courant $(1 - \varphi) I_E$ est inférieur au courant I_{CBO} , le courant I_B est inversé par rapport aux sens précédents.

LE COLLECTEUR est l'électrode du transistor à laquelle est appliquée la TENSION D'ALIMENTATION V_{CB} (tension COLLECTEUR-BASE).

Cette tension (par rapport à la BASE) est NEGATIVE pour le transistor P.N.P ($- V_{CB}$) et POSITIVE pour le transistor N.P.N.

Les courants de COLLECTEUR (I_C) dans les deux types de transistors, circulent dans des sens opposés.

La figure 6 représente les signes graphiques (symboles) qui seront utilisés dans la suite du cours, pour représenter les transistors P.N.P et N.P.N.

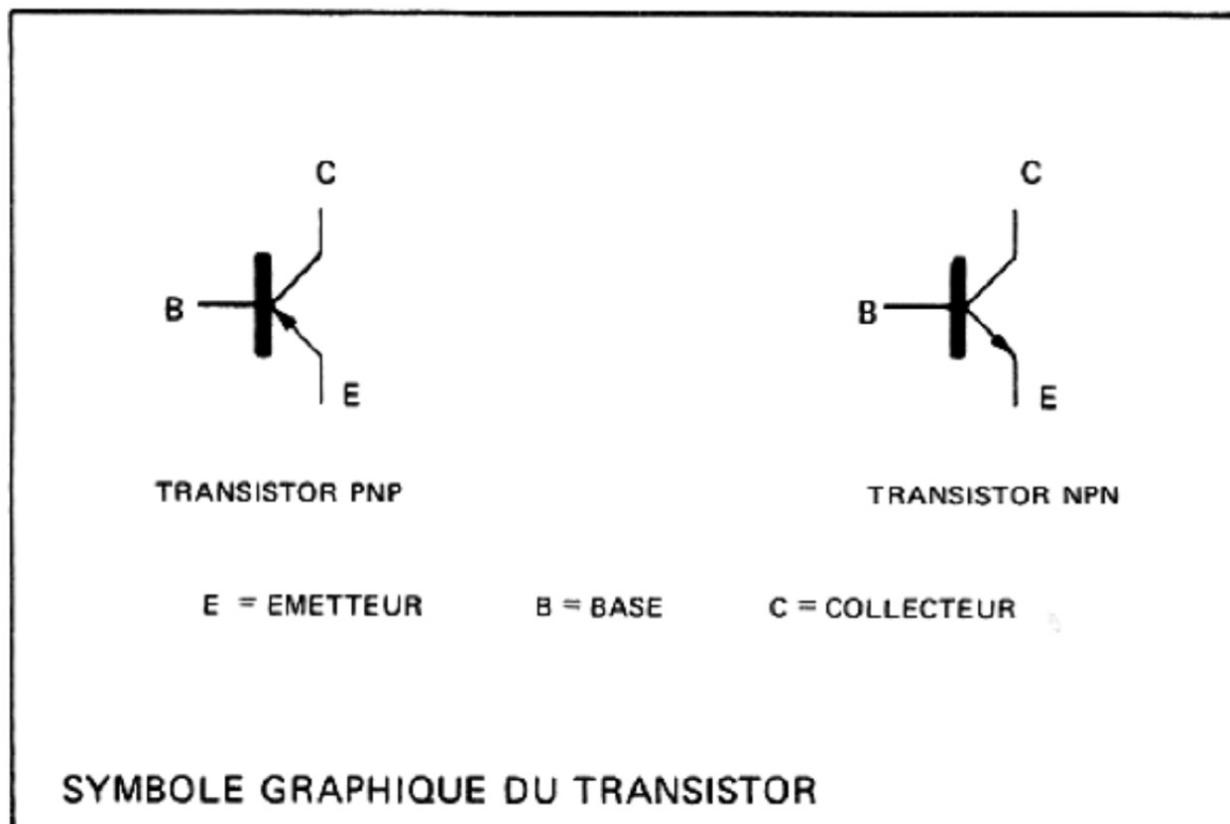


Figure 6

Notez bien que le SENS DE LA FLECHE correspondant à l'émetteur, sert à l'identification du type du transistor (P.N.P ou N.P.N).

- LORSQUE LA FLECHE EST DIRIGEE VERS L'INTERIEUR, il s'agit d'un transistor P.N.P.
- LORSQUE LA FLECHE EST DIRIGEE VERS L'EXTERIEUR, il s'agit d'un transistor N.P.N.

Il faut cependant mentionner la nouvelle normalisation des symboles (normalisation peu suivie actuellement) où le transistor est représenté comme sur la figure 7).

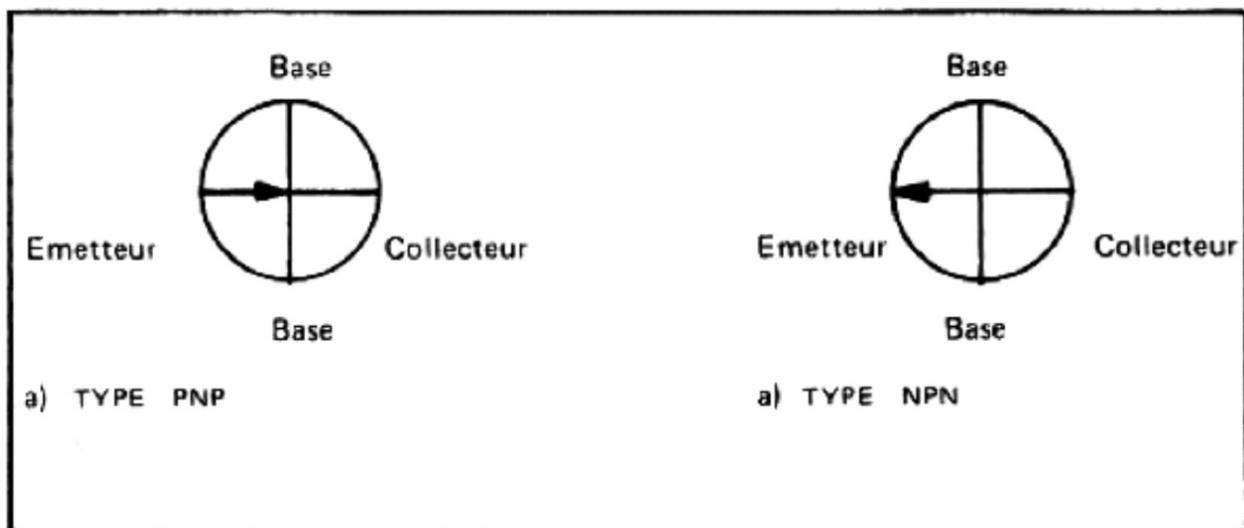


Figure 7

Cette représentation présente l'avantage de faciliter la réalisation d'un schéma.

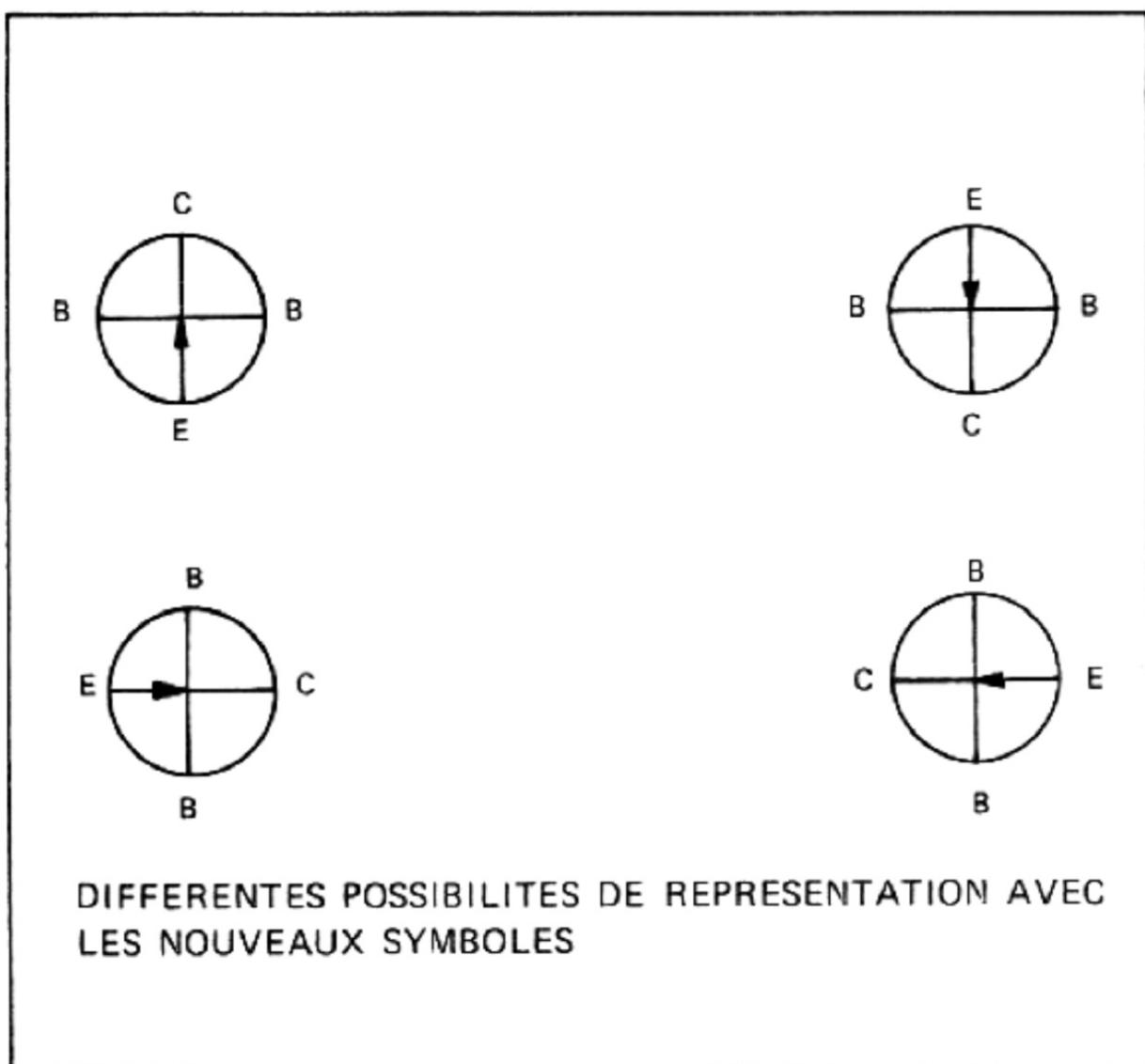
Il n'est plus nécessaire, en effet, de prévoir lors de l'implantation des transistors, la disposition exacte des électrodes, la BASE pouvant se trouver indifféremment sur le trait vertical ou horizontal, comme indiqué figure 8.

III - BARRIERES DE POTENTIEL DANS LE TRANSISTOR P.N.P

En étudiant le fonctionnement du transistor P.N.P., on a dit qu'une partie du courant I_E pénètre à travers la zone N centrale et va s'ajouter au courant I_{CBO} , formant ainsi le courant I_C (figure 3-c).

Le même phénomène se produit dans le transistor N.P.N (figure 4-c) ; cependant, dans cette leçon, nous ne nous occuperons pas de

ce dernier, étant donné que les explications relatives à celui-ci sont essentiellement les mêmes que celles concernant le transistor P.N.P.



DIFFERENTES POSSIBILITES DE REPRESENTATION AVEC
LES NOUVEAUX SYMBOLES

Figure 8

L'aspect particulier du phénomène qui se produit dans les transistors de l'un ou l'autre type, est dû au sens de circulation du courant I_C dans la jonction P.N entre COLLECTEUR et BASE.

On a vu que ce courant est constitué du courant I_{CBO} et d'une grande partie du courant I_E . Ces deux courants se superposent et traversent en sens inverse la jonction COLLECTEUR-BASE.

Normalement, le COURANT INVERSE admis à travers une jonction P.N est relativement faible, comme on l'a vu en étudiant le fonctionnement des diodes à cristal.

On voit au contraire maintenant que dans la jonction COLLECTEUR-BASE, ce courant peut acquérir une intensité considérable en raison de l'EFFET TRANSISTOR.

Ce phénomène provient de la distribution des potentiels le long des jonctions du transistor et de la modification de cette distribution, due aux tensions de polarisation, appliquées de l'extérieur.

Voyez à ce sujet la figure 9 où sur le croquis d'un transistor, on a représenté la courbe illustrant l'allure du potentiel V.

En regard d'une grande partie des zones P (à gauche et à droite de la zone N), la courbe présente une allure horizontale.

Cela signifie que dans ces parties du transistor, le potentiel se maintient au MEME NIVEAU, c'est-à-dire reste constant en passant d'un point à un autre.

La portion en pointillé autour de chaque jonction P.N, représente la région d'épuisement dans laquelle se forme la BARRIERE DE POTENTIEL.

Dans la leçon SEMI-CONDUCTEURS 2, on a vu comment se forment "cette région d'épuisement" et la BARRIERE DE POTENTIEL qui en résulte.

Celle-ci se présente avec son côté négatif (-), à l'extrémité du semi-conducteur P et son côté positif (+) à l'extrémité du semi-conducteur N.

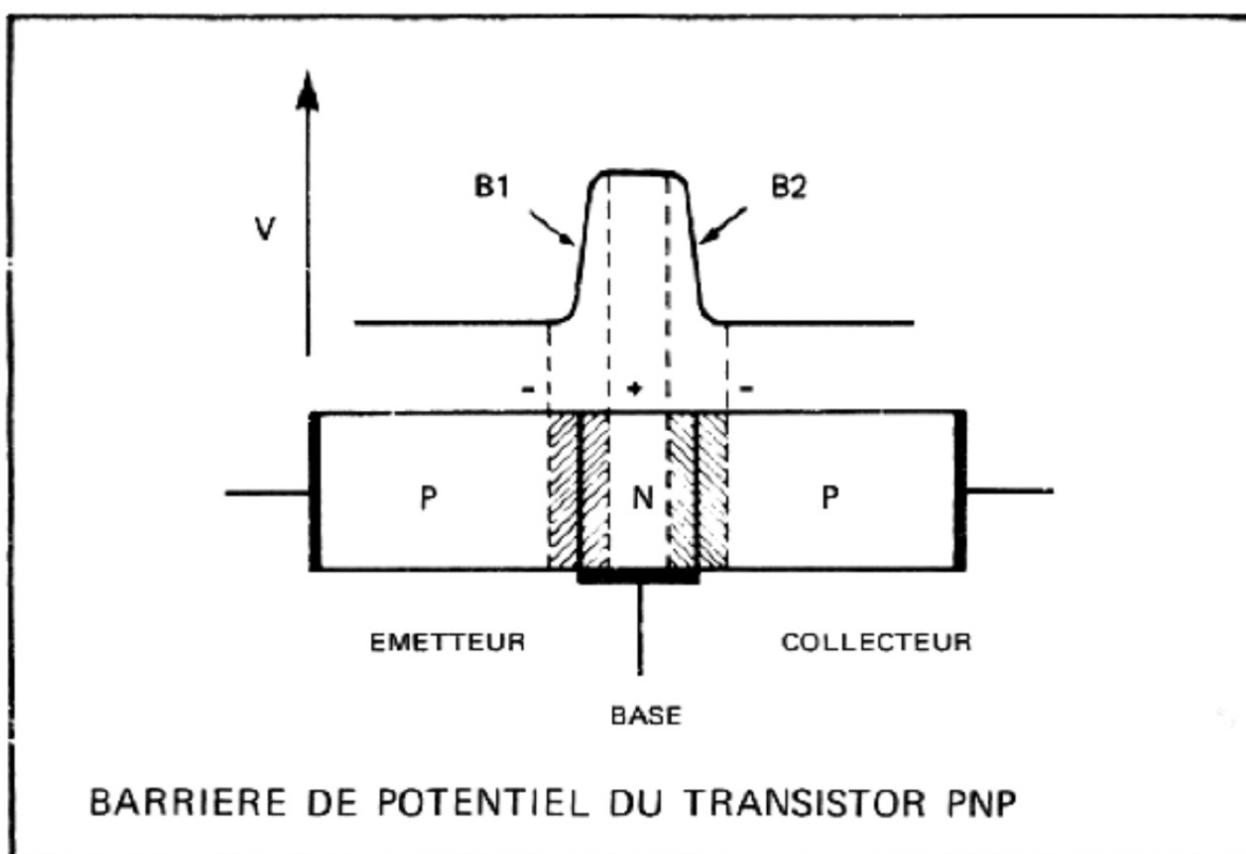


Figure 9

En conservant ce critère pour établir les polarités, on a tracé en face des régions d'épuisement, LES BARRIERES DE POTENTIEL B1 et B2.

L'allure de la barrière B1 indique que le potentiel V augmente d'abord lentement, puis rapidement et de nouveau lentement, en passant du côté P au côté N de la jonction EMETTEUR-BASE.

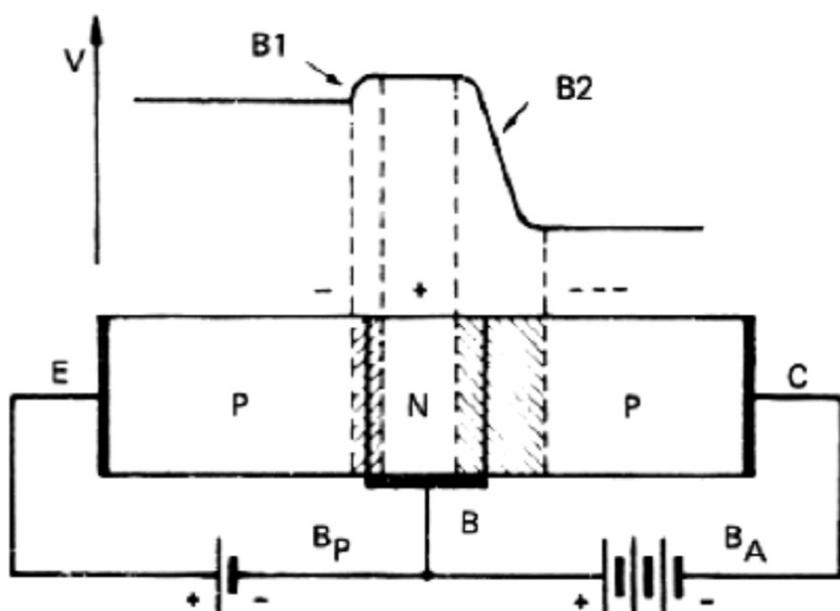
De la même façon, l'allure de la barrière B2 indique que le potentiel V diminue d'abord lentement, puis rapidement et de nouveau lentement en passant du côté N au côté P de la jonction COLLECTEUR-BASE.

Le potentiel V dans la partie centrale, reste pratiquement constant autour de la valeur maximum.

La distribution de potentiel représentée figure 9, concerne un transistor privé de polarisation et d'alimentation.

Comment se présente cette distribution du potentiel, dans un transistor polarisé et alimenté ?

La figure 10 répond à cette question.



DISTRIBUTION DU POTENTIEL EN PRÉSENCE D'UNE POLARISATION NORMALE DES ELECTRODES

Figure 10

Sous l'effet de la POLARISATION DIRECTE de B_P , la "région d'épuisement" autour de la jonction EMETTEUR-BASE s'est rétrécie.

L'amplitude de la BARRIERE DE POTENTIEL B1 a donc diminué.

D'autre part, sous l'effet de la POLARISATION INVERSE de B₂, la "région d'épuisement" autour de la jonction COLLECTEUR-BASE s'est élargie.

L'amplitude de la barrière de potentiel B2 a donc augmenté.

Observons l'allure du potentiel V de l'émetteur au collecteur, tel qu'il apparaît d'après l'allure du graphique, reporté au dessus du schéma du transistor.

Le potentiel de l'EMETTEUR (E) se trouve à un niveau assez élevé, mais dans la "région d'épuisement", il augmente encore jusqu'à un niveau légèrement supérieur, situé au-dessus de la zone centrale de la base (B).

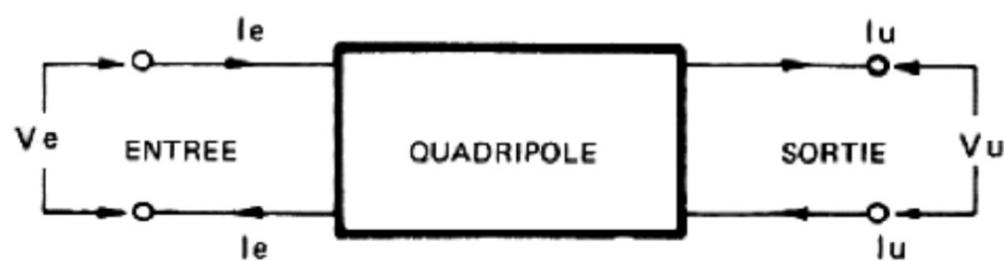
Le potentiel de BASE se trouve au niveau maximum, mais dans la "région d'épuisement" de la jonction COLLECTEUR-BASE, il commence à diminuer et descend rapidement à un niveau nettement inférieur à celui de la BASE et de l'EMETTEUR.

Dans ces conditions, le courant I_E se formant dans l'émetteur lorsque la tension de polarisation augmente, passe à travers la jonction EMETTEUR-BASE et circule dans l'électrode de BASE ET EN GRANDE PARTIE dans le circuit de COLLECTEUR, en raison de la dénivellation considérable de potentiel.

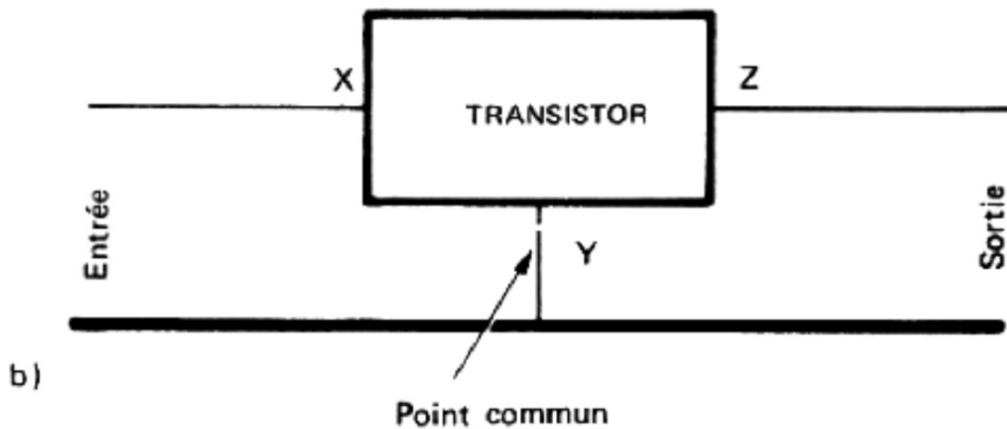
Toute l'explication de l'EFFET TRANSISTOR réside donc dans cette "dénivellation électrique" due aux tensions extérieures appliquées au transistor.

IV - CIRCUITS FONDAMENTAUX DES TRANSISTORS

Pour l'étude des circuits électriques des transistors, il n'est pas nécessaire de connaître le comportement intrinsèque des semi-conducteurs. Il suffit de comparer le transistor à une "BOITE QUADRIPOLE" à laquelle sont fournis des tensions et des courants d'entrée, permettant d'obtenir des tensions et des courants de sortie (figure 11-a).



a)



b)

QUADRIPOLE ET TRANSISTORS

Figure 11

Précisons ici qu'un QUADRIPOLE est un dispositif quelconque, comportant DEUX BORNES D'ENTREE et DEUX BORNES DE SORTIE. Ce dispositif est PASSIF s'il ne contient que des éléments passifs ; il est ACTIF s'il contient en outre des générateurs de tension ou de courant.

La TENSION D'ENTREE V_i , appliquée aux bornes d'entrée, fait circuler le COURANT D'ENTREE I_e .

LA TENSION DE SORTIE V_u est présente entre les bornes de sortie entre lesquelles circulent le courant de sortie I_u , ces deux grandeurs électriques dépendant de la tension et du courant d'entrée (précisons que les termes V_u et I_u signifient TENSION D'UTILISATION et COURANT D'UTILISATION)

Les dispositifs quadripoles ACTIFS, absorbent évidemment de la puissance à l'entrée, mais fournissent aussi une certaine puissance de sortie.

A première vue, on ne peut guère apparemment, comparer le transistor à un quadripole, dans la mesure où l'on ne dispose que de trois bornes (EMETTEUR-BASE-COLLECTEUR) au lieu de quatre.

MAIS, SI L'UNE DES BORNES EST COMMUNE AU CIRCUIT D'ENTREE ET DE SORTIE, le transistor devient un vrai quadripole (figure 11-b).

Sur la figure 11-b, les bornes du transistor sont désignées par les lettres X, Y et Z, car on ne précise pas entre quelles électrodes s'effectuent l'entrée et la sortie, ni qu'elle est l'électrode commune.

Le transistor comportant trois électrodes, il est évident que l'on peut réaliser au moins TROIS BRANCHEMENTS DIFFERENTS et chacun d'eux se distingue par l'ELECTRODE COMMUNE choisie.

La figure 12 représente les TROIS CIRCUITS FONDAMENTAUX que l'on peut réaliser avec les transistors.

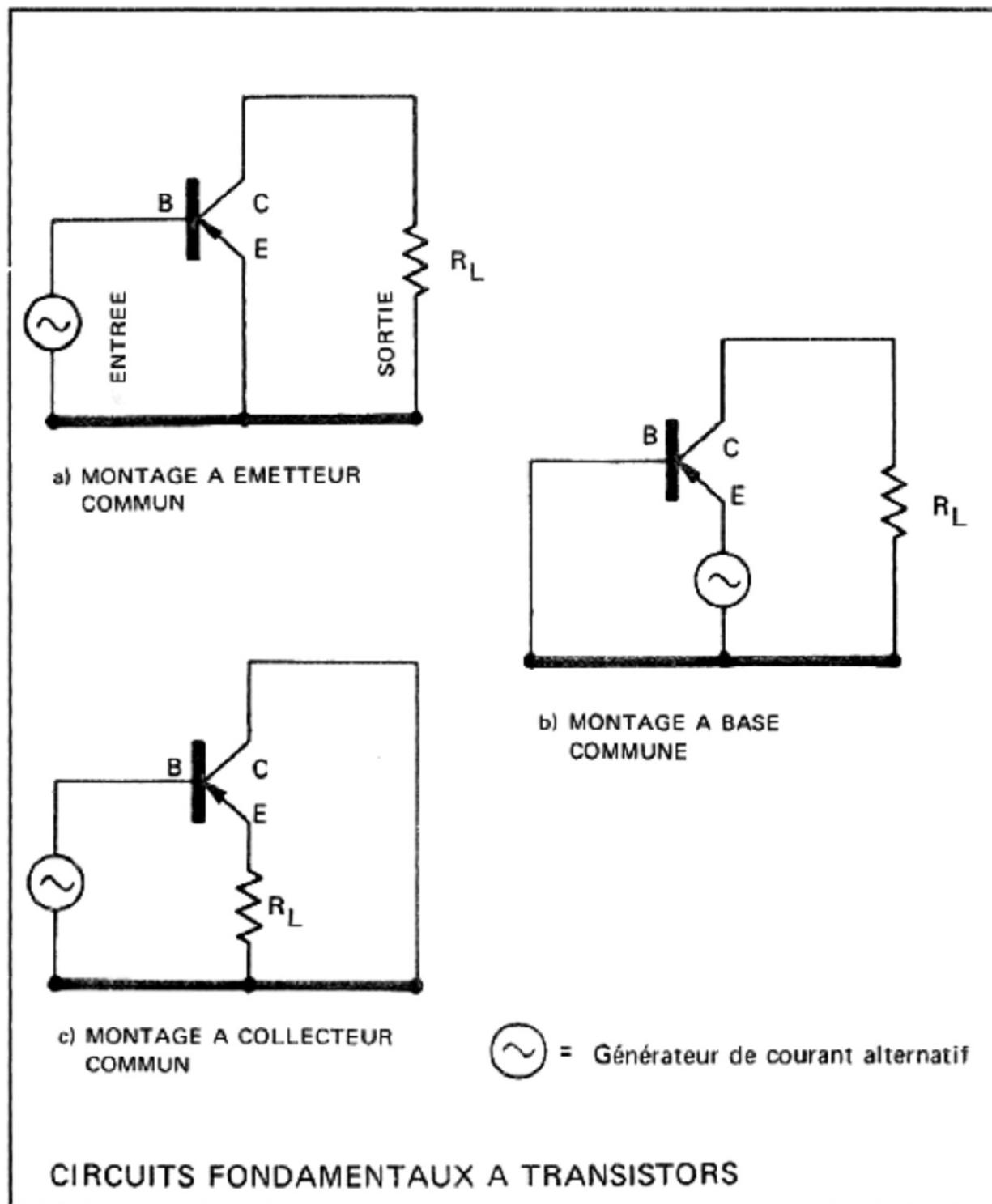


Figure 12

Il s'agit de :

- MONTAGE EMETTEUR COMMUN (ou EMETTEUR à la masse),
- MONTAGE BASE-COMMUNE (ou BASE à la masse),
- MONTAGE COLLECTEUR COMMUN (COLLECTEUR à la masse).

Pour ces trois circuits, le générateur de courant alternatif représente la source de tension et de courant d'entrée et la résistance R_U la charge extérieure, c'est-à-dire la CHARGE D'UTILISATION, aux bornes de laquelle se trouvent les tensions et les courants de sortie.

Voyons maintenant chacun de ces trois montages.

IV - 1 - MONTAGE EMETTEUR COMMUN

Le schéma complet du MONTAGE EMETTEUR COMMUN est représenté figure 13.

Dans celui-ci, l'entrée se trouve entre la BASE (B) et l'EMETTEUR (E), alors que la sortie se trouve entre ce même EMETTEUR et le COLLECTEUR.

L'EMETTEUR est donc bien l'électrode commune.

On a déjà dit que dans le transistor P.N.P, la tension de polarisation V_{EB} doit être appliquée à l'EMETTEUR ($V_{EB} =$ tension positive).

Cela signifie que la BASE doit être NEGATIVE par RAPPORT A L'EMETTEUR.

On a déjà dit également que le COLLECTEUR est alimenté par la tension d'alimentation $-V_{CB}$, ce qui implique évidemment que le COLLECTEUR doit être négatif par rapport à l'EMETTEUR.

Etant donné que la BASE et le COLLECTEUR sont tous deux négatifs par RAPPORT A L'ELECTRODE COMMUNE (L'EMETTEUR), on peut n'utiliser qu'une seule pile pour alimenter le COLLECTEUR et polariser la BASE.

En effet, en prélevant la tension au pole négatif (-) d'une seule pile, dont le positif (+) est connecté sur l'EMETTEUR, on peut obtenir la TENSION NEGATIVE de COLLECTEUR ($-V_{CE}$), à travers une résistance de valeur appropriée (R_C = résistance de charge ou résistance de collecteur) et obtenir également la TENSION NEGATIVE DE BASE ($-V_{BE}$), à travers une autre résistance de valeur déterminée (R_B).

La résistance R_C est calculée de telle sorte que la chute de tension à ses bornes, soit égale à la différence entre la tension de la batterie et la tension préconisée pour le collecteur.

Connaissant les deux tensions et le courant circulant dans le circuit de collecteur, on peut calculer R_C à l'aide de la formule :

$$R_C = \frac{V_{\text{batterie}} - V_{CE}}{I_C} \quad \text{avec}$$

R_C = Résistance de collecteur en $k\Omega$

V_{CE} = Tension collecteur en Volts

I_C = Courant collecteur en mA

EXEMPLE :

$$V_{\text{batterie}} = 9 \text{ V} \quad - V_{CE} = 5 \text{ Volts} \quad - I_C = 3 \text{ mA.}$$

La valeur de R_C sera de :

$$R_C = \frac{9 - 5}{3} = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ k}\Omega \text{ environ}$$

La résistance R_B , dite résistance de BASE, se calcule de telle sorte que la chute de tension à ses bornes soit égale à la différence entre la tension de la batterie et la tension préconisée pour la BASE.

Connaissant les deux tensions et le courant du circuit de base, on peut calculer R_B à l'aide de la formule :

$$R_B = \frac{V_{\text{batterie}} - V_{BE}}{I_B}$$

R_B = Résistance de base en $M\Omega$

V_{BE} = Tension base-émetteur en Volts

I_B = Courant de base en μA (microampère)

EXEMPLE :

$$V_{\text{batterie}} = 9 \text{ V} \quad - I_B = 30 \mu A \quad \text{et} \quad - V_{BE} = 0,14 \text{ V}$$

La valeur de R_B sera de :

$$R_B = \frac{9 - 0,14}{30} = \frac{8,86}{30} = 0,295 \text{ } M\Omega \text{ environ, soit } 295 \text{ k}\Omega$$

IV - 2 - MONTAGE BASE COMMUNE

Le schéma complet du montage BASE COMMUNE est donné figure 14.

Dans ce montage, l'ENTREE se trouve entre l'EMETTEUR (E) et la BASE (B), et la SORTIE entre le COLLECTEUR (C) et la BASE (B).

La BASE est donc bien l'électrode COMMUNE aux circuits d'entrée et de sortie.

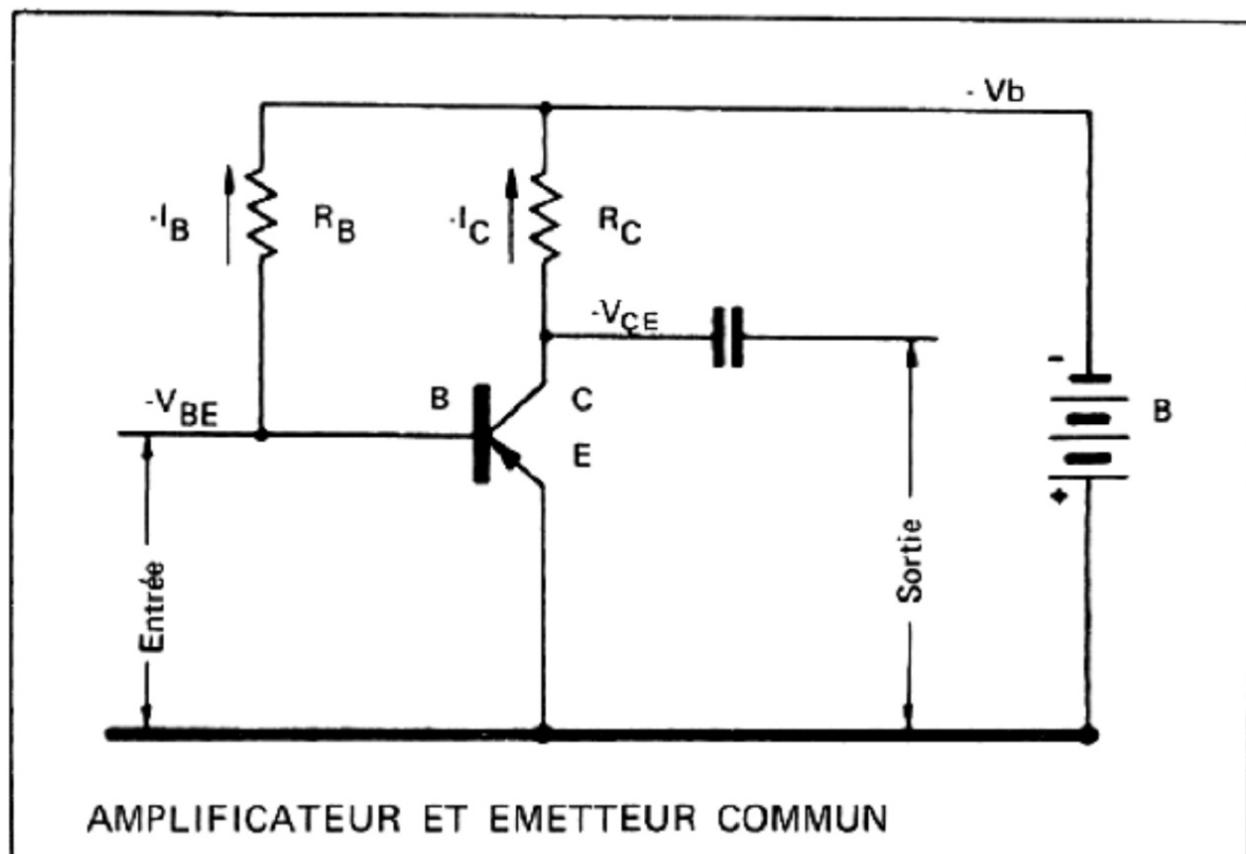


Figure 13

Nous savons que la tension d'EMETTEUR doit être positive par rapport à la base alors que celle du COLLECTEUR doit être négative.

Les deux tensions étant de signe contraire, admettons pour le moment que deux batteries sont nécessaires pour alimenter et polariser le transistor, c'est-à-dire une batterie B₁ pour la tension de polarisation positive de l'émetteur et une batterie B₂ pour la tension négative d'alimentation du collecteur.

Là encore, des résistances de valeur appropriée permettent d'obtenir les valeurs requises pour les tensions.

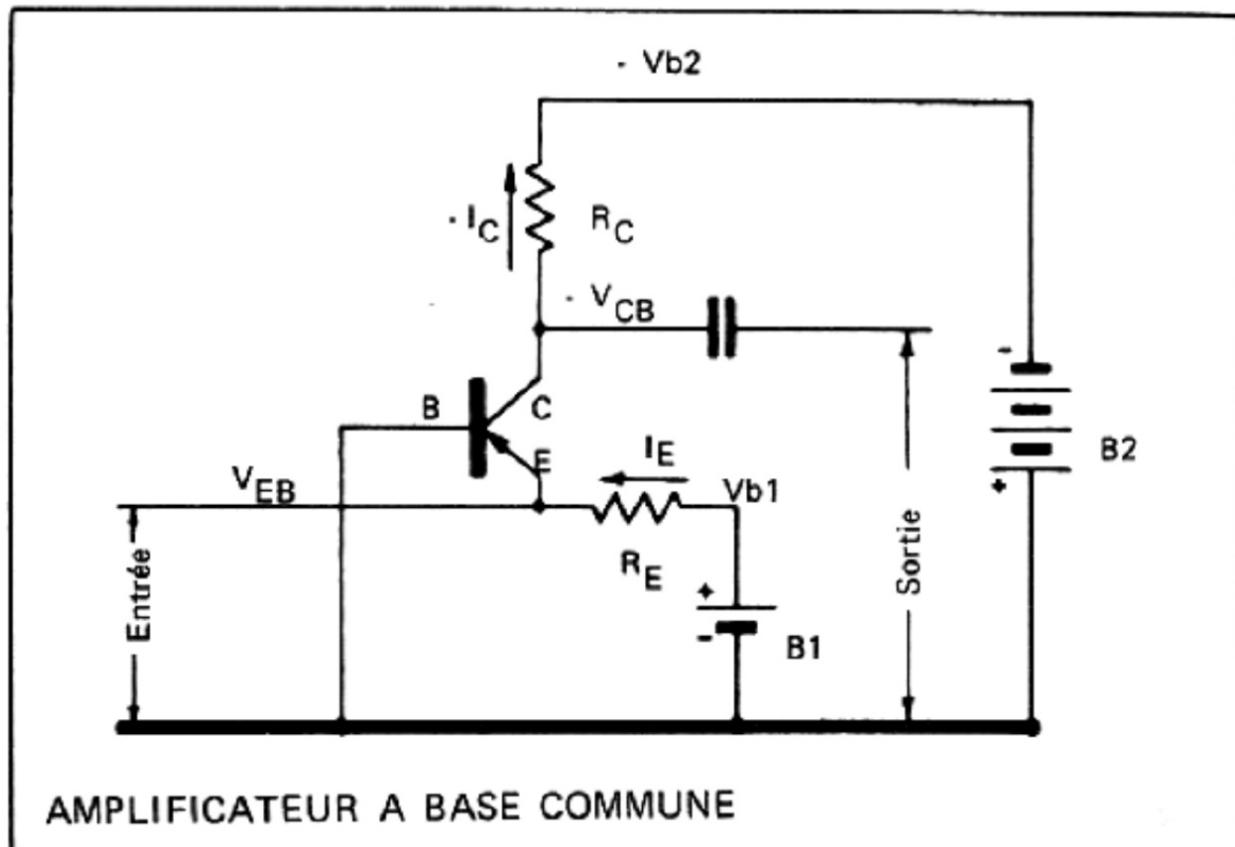


Figure 14

Nous trouvons donc la résistance R_E dite RESISTANCE D'EMETTEUR et comme dans le montage précédent, la RESISTANCE DE COLLECTEUR R_C .

Connaissant la tension devant exister entre EMETTEUR et BASE (V_{EB}), le courant d'EMETTEUR (I_E) et la tension B_1 (V_{b1}), on peut calculer R_E à l'aide de la formule :

$$R_E = \frac{V_{b1} - V_{EB}}{I_E} \text{ avec,}$$

- R_E = Résistance d'émetteur en $k\Omega$
 V_{EB} = Tension émetteur-base en Volts
 I_E = Courant d'émetteur en mA

EXEMPLE :

$$V_{B1} = 1,5 \text{ V} \quad V_{EB} = 0,18 \text{ V} \quad I_E = 5 \text{ mA}$$

La valeur de R_E sera de :

$$R_E = \frac{1,5 - 0,18}{5} = \frac{1,32}{5} = 0,26 \text{ k}\Omega \text{ environ}$$

Enfin, connaissant la tension devant exister entre COLLECTEUR et BASE ($-V_{CB}$), le courant de COLLECTEUR ($-I_C$) et la tension de la batterie B2, on peut calculer R_C à l'aide de la formule :

$$R_C = \frac{B_2 - V_{CB}}{I_C} \quad \text{avec}$$

- R_C = Résistance de collecteur en $k\Omega$
 V_{CB} = Tension collecteur-base en Volts
 I_C = Courant de collecteur en mA

EXEMPLE :

$$V_{B2} = 4,5 \text{ V} \quad -V_{CB} = 3 \text{ V} \quad -I_C = 5 \text{ mA}$$

La valeur de R_C sera de :

$$R_C = \frac{4,5 - 3}{5} = \frac{1,5}{5} = 0,3 \text{ k}\Omega$$

Comme nous le verrons par la suite, il est possible (et c'est toujours le cas en pratique), de n'utiliser qu'une seule batterie pour polariser et alimenter le MONTAGE BASE COMMUNE.

Le circuit se présente alors comme sur la figure 15.

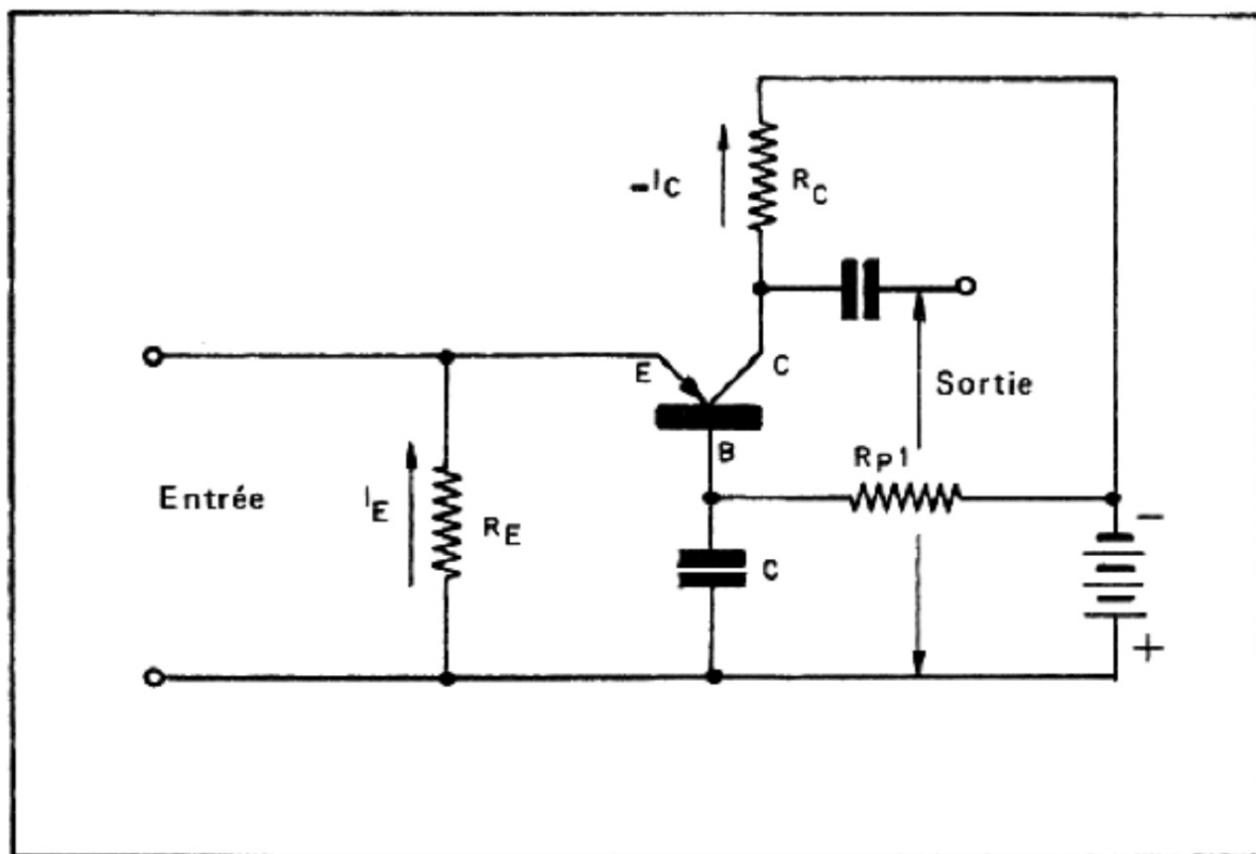


Figure 15

Au lieu de rendre l'EMETTEUR plus positif que la BASE, on peut rendre le potentiel de cette électrode plus négatif, ce qui revient évidemment au même.

Le condensateur C a ici pour rôle de rendre la base COMMUNE aux circuits d'entrée et de sortie, en ce qui concerne les TENSIONS VARIABLES.

Pour ces tensions, la REACTANCE CAPACITIVE de C est pratiquement nulle et, de ce fait, la base reste bien commune aux circuits d'entrée et de sortie.

IV - 3 - MONTAGE COLLECTEUR COMMUN

Le schéma complet du MONTAGE COLLECTEUR COMMUN est représenté figure 16.

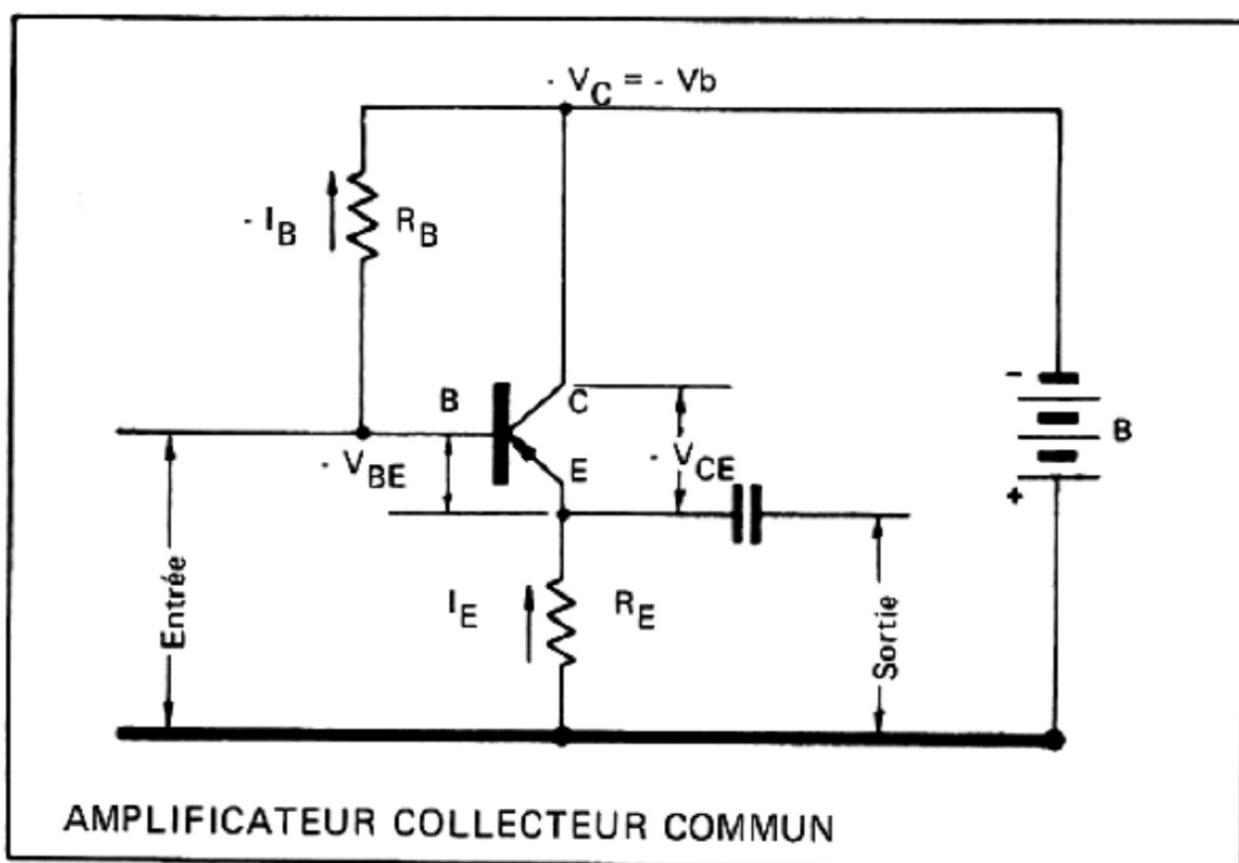


Figure 16

Dans ce montage, l'entrée se trouve entre la BASE (B) et la MASSE; et la sortie entre l'EMETTEUR (E) et la masse.

La masse constitue donc l'élément commun aux deux circuits. A première vue, on ne comprend pas comment le COLLECTEUR peut être

l'électrode **COMMUNE**, c'est-à-dire comment on peut le considérer comme étant pratiquement relié à la masse, étant donné que la batterie B se trouve entre le **COLLECTEUR** et la masse.

L'explication est bien simple : la tension de collecteur $-V_C$ RESTE CONSTANTE PAR RAPPORT A LA MASSE, bien que le courant de collecteur varie en fonction des tensions d'entrée (pour avoir une variation de tension en fonction des variations de courant, il faut en effet qu'il existe une RESISTANCE dans le circuit).

Dans le cas de ce montage, nous avons donc $-V_C = -V_{\text{batterie}}$.

Sachant que la tension de collecteur reste constante, on doit en conclure QU'ELLE EST INSENSIBLE A LA PRESENCE DU SIGNAL DANS LE CIRCUIT D'ENTREE ET DE SORTIE.

Le **COLLECTEUR** se comporte donc bien par rapport au signal, comme s'il était relié directement à la masse.

Le **COLLECTEUR** est donc bien dans ce montage l'électrode **COMMUNE** aux circuits d'entrée et de sortie.

La tension d'**EMETTEUR** est là encore obtenue à l'aide de la résistance R_E et la polarisation de base ($-V_{BE}$) par l'intermédiaire de R_E et de R_B .

Connaissant le courant d'**EMETTEUR** (I_E) et la tension devant exister entre **COLLECTEUR** et **EMETTEUR** ($-V_{CE}$), et connaissant également la tension de la batterie, on peut calculer R_E à l'aide de la formule :

$$R_E = \frac{V_{\text{batterie}} - V_{CE}}{I_E} \quad \text{avec}$$

- R_E = Résistance d'émetteur en $k\Omega$
 V_{CE} = Tension collecteur-émetteur en Volts
 I_E = Courant d'émetteur en mA

EXEMPLE :

$$V_b = 9 \text{ V} \quad - V_{CE} = 5 \text{ V} \quad \text{et} \quad I_E = 8 \text{ mA}$$

La valeur de R_E sera de :

$$R_E = \frac{9 - 5}{8} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ k}\Omega$$

Connaissant le courant de base ($-I_B$), la tension devant exister entre le collecteur et l'émetteur ($-V_{CE}$) et la tension entre base et émetteur ($-V_{BE}$), on peut calculer R_B à l'aide de la formule :

$$R_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{I_B} \quad \text{avec}$$

- R_B = Résistance de base en $M\Omega$
 V_{CE} = Tension collecteur-émetteur en Volts
 V_{BE} = Tension base-émetteur en Volts
 I_B = Courant de base en μA

EXEMPLE :

$$- I_B = 60 \mu\text{A} \quad - V_{CE} = 5 \text{ V} \quad \text{et} \quad - V_{BE} = 0,12 \text{ V}$$

La valeur de R_B sera de :

$$R_B = \frac{5 - 0,12}{60} = \frac{4,88}{60} = 0,081 \text{ M}\Omega \text{ soit } 81 \text{ k}\Omega$$

IV - 4 - COMPARAISON ENTRE LES TROIS MONTAGES FONDAMENTAUX

Pour établir une comparaison entre les trois types fondamentaux des montages que nous venons de voir et qui sont, est-il nécessaire de le préciser, des circuits AMPLIFICATEURS, il faut prendre en considération deux grandeurs :

- a) - les IMPEDANCES,
- b) - le coefficient d'amplification.

Dans ces circuits, deux impédances sont intéressantes : l'IMPEDANCE D'ENTREE et l'IMPEDANCE DE SORTIE.

L'IMPEDANCE D'ENTREE de l'amplificateur à transistors est donnée par la valeur obtenue en divisant la VARIATION DE LA TENSION APPLIQUEE A L'ENTREE par la VARIATION DU COURANT CORRESPONDANT.

On peut exprimer cette définition à l'aide de la formule :

$$Z_e = \frac{\Delta e}{\Delta i} \text{ avec}$$

Z_e = Impédance d'entrée

Δe = (delta e) variation de la tension d'entrée

Δi = (delta i) variation du courant correspondant

Afin que l'IMPEDANCE D'ENTREE de l'amplificateur soit adaptée à l'IMPEDANCE DU GENERATEUR de signal d'entrée, il faut que ces deux impédances aient une valeur égale ou du moins relativement proche.

L'IMPEDANCE DE SORTIE de l'amplificateur est donnée par la valeur obtenue en divisant la VARIATION DE LA TENSION DE SORTIE par LA VARIATION DU COURANT CORRESPONDANT.

Dans ce cas également, il doit y avoir ADAPTATION D'IMPEDANCE entre L'IMPEDANCE DE SORTIE et L'IMPEDANCE DE LA CHARGE.

En comparant les données du tableau de la figure 17, on voit immédiatement qu'en fonction des valeurs des impédances d'entrée et de sortie, L'AMPLIFICATEUR BASE COMMUNE convient lorsque le générateur de signal a une IMPEDANCE TRES BASSE et que la CHARGE a une IMPEDANCE élevée.

	Emetteur commun	Base commune	Collecteur commun
GAIN en courant	élévé	faible	élévé
GAIN en tension	élévé	élévé	faible
GAIN en puissance	élévé	moyen	moyen
Impédance d'entrée	moyenne	faible	élévée
Impédance de sortie	moyenne	élévée	faible
Tensions de sortie et d'entrée	en opposition de phase	en phase	en phase
Courants de sortie et d'entrée	en phase	en opposition de phase	en phase

Figure 17

Inversement, l'amplificateur COLLECTEUR COMMUN convient lorsque le générateur de signal a une IMPEDANCE élevée et que la CHARGE à une IMPEDANCE faible.

Enfin, l'amplificateur EMETTEUR COMMUN peut servir dans tous les cas intermédiaires.

En ce qui concerne le gain, nous avons déjà vu comment l'on obtient le coefficient alpha (α) représentant un gain de courant.

Ce coefficient représente le gain en courant de l'amplificateur BASE COMMUNE. On peut le définir par le nombre obtenu en divisant LA VARIATION DU COURANT COLLECTEUR (à tension de collecteur constante) PAR LA VARIATION DU COURANT D'EMETTEUR CORRESPONDANT.

Un autre coefficient, désigné par le symbole β (béta), représente le gain de courant de l'amplificateur EMETTEUR COMMUN. On peut le définir par le nombre obtenu en DIVISANT LA VARIATION DU COURANT COLLECTEUR (à tension de collecteur constante) PAR LA VARIATION DU COURANT DE BASE CORRESPONDANT.

Un dernier coefficient, représente enfin le gain de courant de l'amplificateur COLLECTEUR COMMUN.

On peut le définir par le nombre obtenu en DIVISANT LA VARIATION DU COURANT D'EMETTEUR (à tension d'émetteur constante), PAR LA VARIATION DU COURANT DE BASE CORRESPONDANTE.

La valeur de ce dernier coefficient est égale au nombre que l'on obtient en divisant le coefficient β par le coefficient α .

On le désigne pour cette raison, par le symbole β/α .

En divisant β par α , on obtient presque toujours une valeur peu supérieure à celle de β ($\beta/\alpha = \beta + 1$). Donc, EN NEGLIGEANT CETTE DIFFERENCE, ON CONSIDERE QUE LE COEFFICIENT β EST VALABLE POUR LE CIRCUIT EMETTEUR ET COLLECTEUR COMMUN.

En examinant le tableau de la figure 17, on peut constater que le circuit EMETTEUR COMMUN est en général le plus avantageux. C'est d'ailleurs le montage le plus fréquemment utilisé.

Quant au montage COLLECTEUR COMMUN, il n'est utilisé que comme ADAPTATEUR D'IMPEDANCE (par exemple lorsqu'il est nécessaire d'adapter un générateur de signal d'impédance élevée à un amplificateur EMETTEUR COMMUN).

L'emploi des amplificateurs BASE COMMUNE et COLLECTEUR COMMUN étant assez limité, on n'étudiera dans les leçons à venir que les applications de l'amplificateur EMETTEUR COMMUN.

Cependant, dans la leçon CIRCUITS ELECTRONIQUES 3, nous verrons les trois montages fondamentaux et parlerons du concept DE PHASE, figurant dans le tableau de la figure 17.

NOTIONS A RETENIR

- L'“effet TRANSISTOR” fut découvert en 1948 par J. BARDEEN et W. BRITTAINE (en réalité il faut ajouter à ces deux noms celui de W. SHOCKLEY qui participait également aux recherches).
- Le TRANSISTOR est un composant ACTIF, comportant trois ELECTRODES : la BASE, l'EMETTEUR et le COLLECTEUR.
- Il existe deux types de transistors : le transistor P.N.P et le transistor N.P.N.
- Un transistor P.N.P doit avoir son COLLECTEUR NEGATIF par rapport à la BASE et son EMETTEUR POSITIF par rapport à cette même BASE.
- Un TRANSISTOR N.P.N doit avoir son COLLECTEUR POSITIF par rapport à la BASE et son EMETTEUR NEGATIF par rapport à cette même BASE.
- Il existe trois montages amplificateurs fondamentaux à transistors : le montage EMETTEUR COMMUN, le montage BASE COMMUNE, le montage COLLECTEUR COMMUN.
- Le coefficient α désigne le gain en courant de l'amplificateur BASE COMMUNE.
- Le coefficient β désigne le gain en courant de l'amplificateur EMETTEUR COMMUN.
- Le coefficient β/α désigne le gain en courant de l'amplificateur COLLECTEUR COMMUN. Cependant, comme il n'existe qu'une faible différence entre le coefficient β et le coefficient β/α , on considère que le coefficient β est valable pour le montage EMETTEUR et COLLECTEUR COMMUN.

- Le gain en tension, en courant et en puissance est élevé pour le montage EMETTEUR COMMUN. D'autre part, l'impédance d'entrée et de sortie pour ce montage se situe dans des valeurs moyennes.
- Pour ces raisons, le montage EMETTEUR COMMUN est très utilisé.
- A titre d'exemple, nous vous donnons quelques valeurs moyennes d'impédance d'entrée et de sortie pour les trois circuits.

	EMETTEUR COMMUN	BASE COMMUNE	COLLECTEUR COMMUN
Z entrée	1 kΩ	35 Ω	35 kΩ
Z sortie	50 kΩ	1 MΩ	500 Ω



EXERCICE DE REVISION SUR LA LECON

SEMI-CONDUCTEURS 4

- 1) En quoi consiste l'effet TRANSISTOR ?
- 2) Combien un transistor comporte-t-il de jonction ?
- 3) Qu'exprime le produit littéral αI_E ?
- 4) Quels sont les trois types de montages fondamentaux à transistors ?
- 5) Que désigne le coefficient β ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION DE LA LECON**SEMI-CONDUCTEURS 3**

- 1) La caractéristique tension-courant d'une diode représente le **COURANT DE LA DIODE** pour chaque valeur de la tension qui lui est appliquée en sens direct et en sens inverse.
- 2) La **TENSION DE ZENER** correspond à la tension particulière pour laquelle le courant inverse de la diode devient très élevé.
- 3) A l'issue du raffinement des semi-conducteurs, **ON N'OBTIENT PAS ENCORE DE MONOCRISTAUX**, mais seulement des agrégats solides, constitués d'une très grande quantité de cristaux très petits et différemment orientés. Après traitement, ces agrégats polycristallins se transforment en monocristaux, grâce à des procédés de fusion et de recristallisation appropriés.
- 4) En fonction du traitement adopté pour la formation de la jonction P.N, les diodes à cristal peuvent être différenciées en trois classes distinctes, à savoir : les diodes **A POINTE**, **A JONCTION** et à **DIFFUSION**.
- 5) Les diodes à semi-conducteurs ne sont pas seulement utilisées dans les circuits d'alimentation. Celles-ci sont également utilisées comme détecteurs et plus récemment dans le domaine de la commutation.

