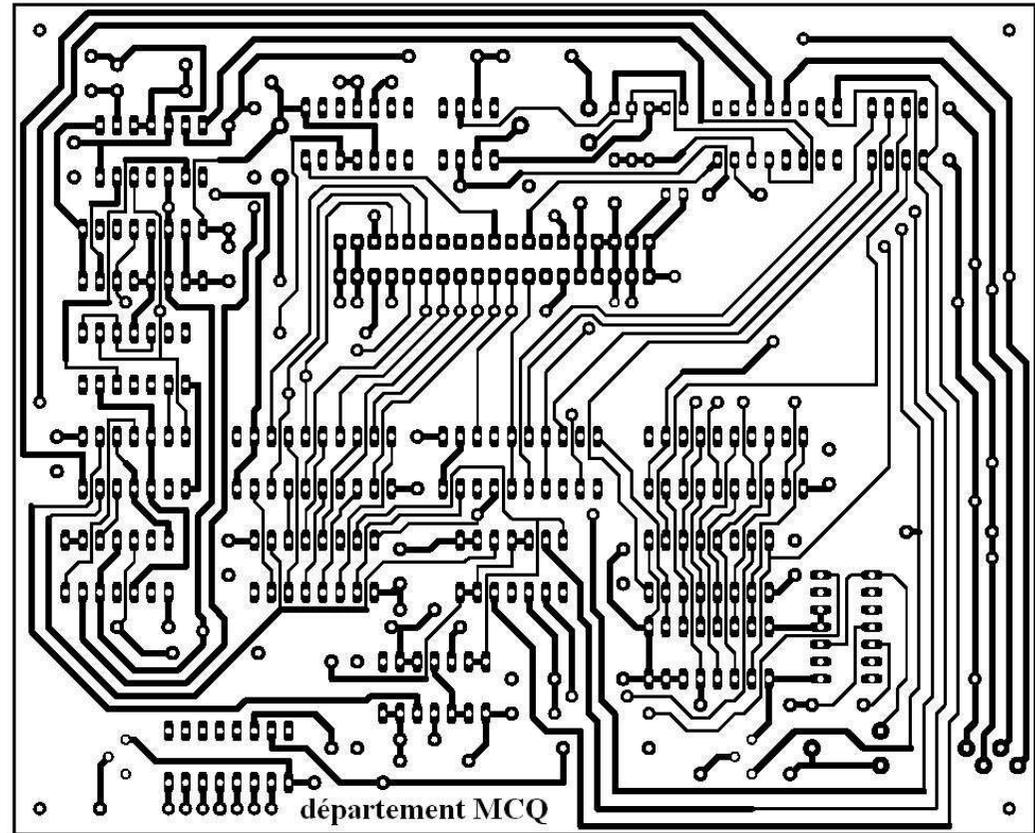




IUT qualité,
logistique industrielle et organisation



Module d'Electronique

Electronique analogique

©Fabrice Sincère ; version 3.0.5

<http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere>

Sommaire du Chapitre 1 - Les semi-conducteurs

1- La diode

1-1- Symbole

1-2- Constitution

1-3- Sens direct et sens inverse

1-4- Caractéristique courant- tension

1-5- Caractéristique idéalisée

1-6- Modèle équivalent simplifié

2- La LED (Light Emitting Diode : diode électroluminescente)

2-1- Symbole

2-2- Tension de seuil

2-3- Protection

3- La diode Zener

3-1- Symboles

3-2- Caractéristique courant- tension

3-3- Tension Zener

3-4- Caractéristique idéalisée

4- Le transistor bipolaire

4-1- Transistor bipolaire NPN et PNP

4-2- Caractéristiques électriques du transistor NPN

4-2-1- Montage émetteur - commun

4-2-2- Tensions et courants

4-2-3- Jonction Base - Emetteur

4-2-4- Transistor bloqué

4-2-5- Transistor passant

a- Fonctionnement en régime linéaire

b- Fonctionnement en régime de saturation

4-3- Caractéristiques électriques du transistor PNP

4-4- Applications

4-4-1- Fonctionnement en commutation

4-4-2- Fonctionnement en régime linéaire

Chapitre 1 Les semi-conducteurs

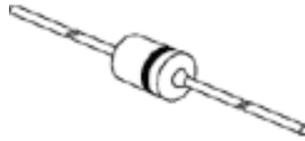
Ce sont des composants fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs (silicium, germanium ...).

CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS

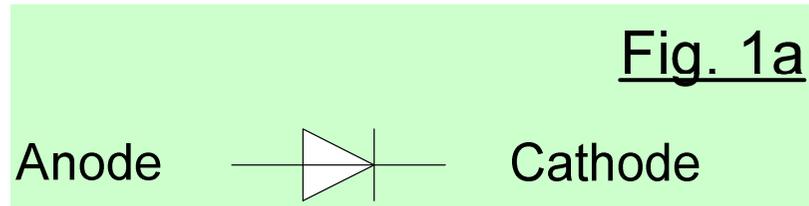
- Métaux
 - Semi-conducteurs
 - Non-métaux
 - Gaz nobles
 - Lanthanides et actinides
- Li : Solide à 25°C, sous 1 bar
He : Gaz à 25°C, sous 1 bar
Br : Liquide à 25°C, sous 1 bar
Tc : Obtenu par synthèse

I																	VIII		
1	H 1																	He 2	
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
6	Cs 55	Ba 56	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86	
7	Fr 87	Ra 88	Lw 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Uuu 110	Uuu 111	Uub 112							
			Série des Lanthanides	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70		
			Série des Actinides	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102		

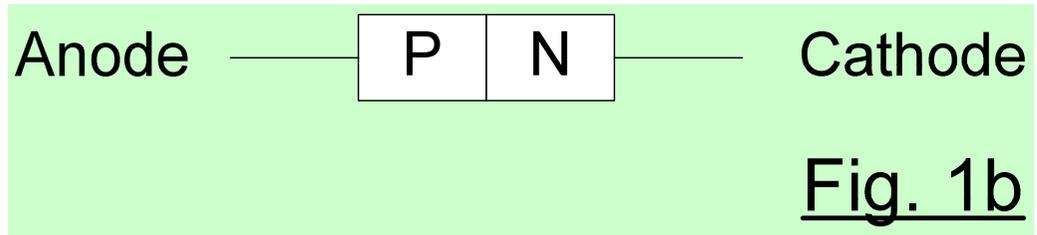
1- La diode



1-1- Symbole



1-2- Constitution

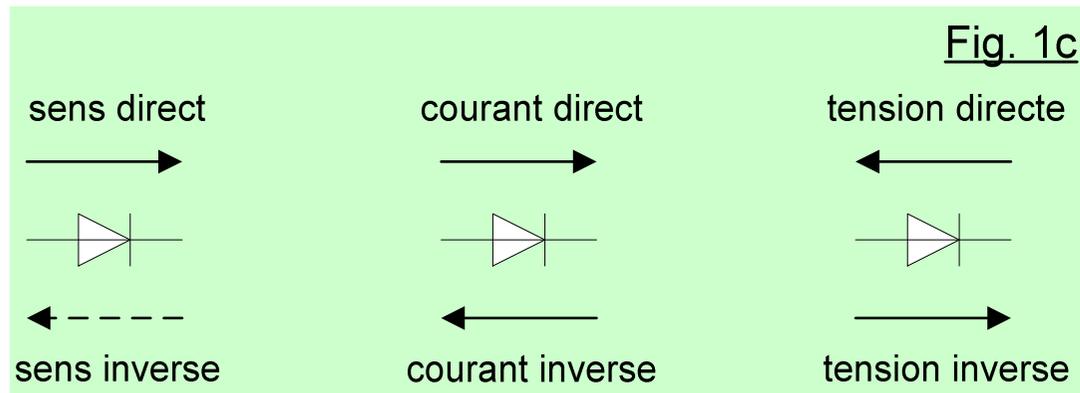


Il s'agit d'une *jonction PN* :

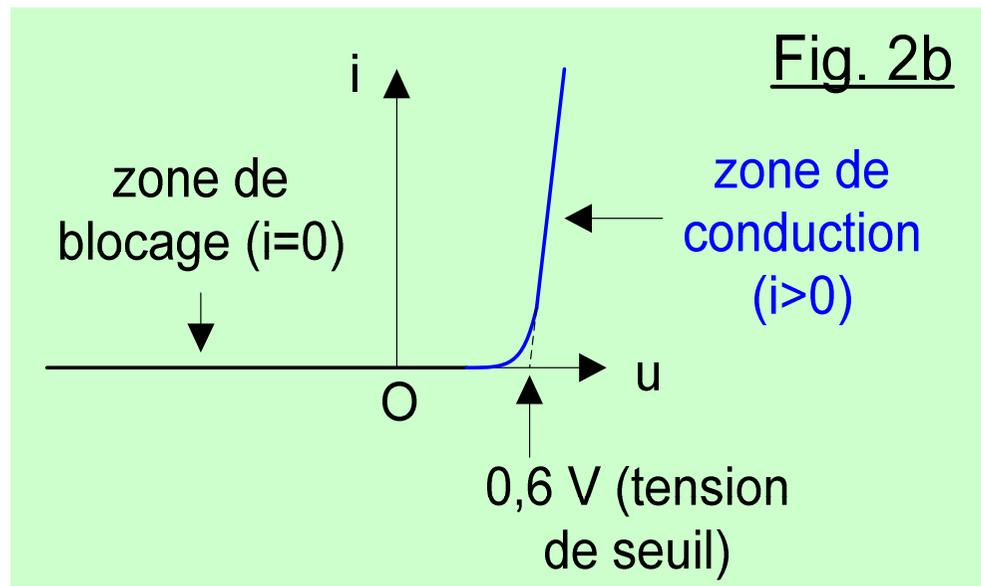
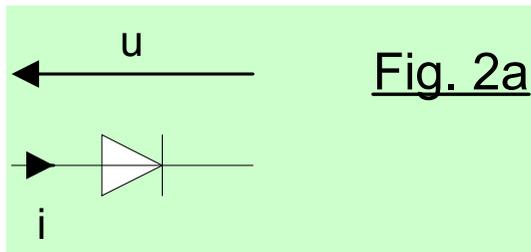
P désigne un semi-conducteur dopé positivement

N « « négativement.

1-3- Sens direct et sens inverse

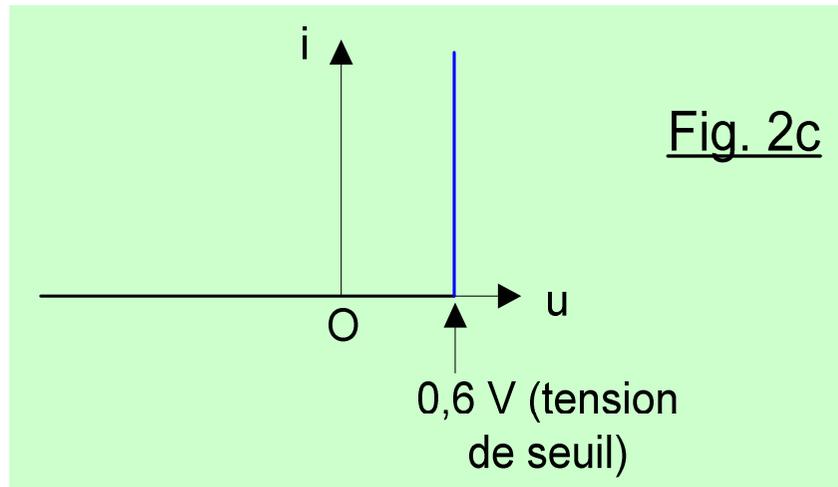


1-4- Caractéristique courant- tension



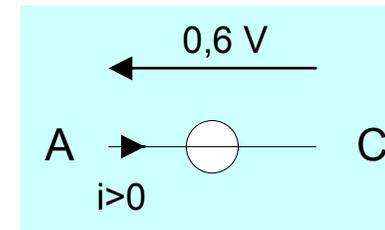
1-5- Caractéristique idéalisée

On peut simplifier la caractéristique de la diode de la manière suivante :

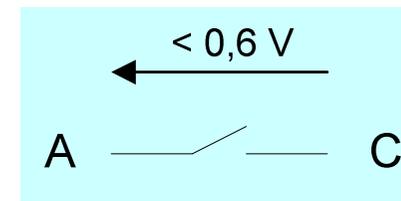


1-6- Modèle équivalent simplifié

• diode « passante » (zone de conduction) :



• diode « bloquée » (zone de blocage) :

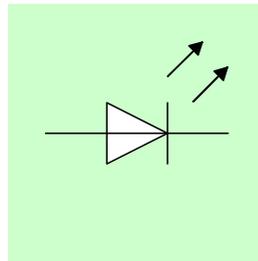


2- La LED (Light Emitting Diode : diode électroluminescente)

C'est une diode qui a la propriété d'émettre de la lumière quand elle est parcourue par un courant (phénomène d'électroluminescence).



2-1- Symbole



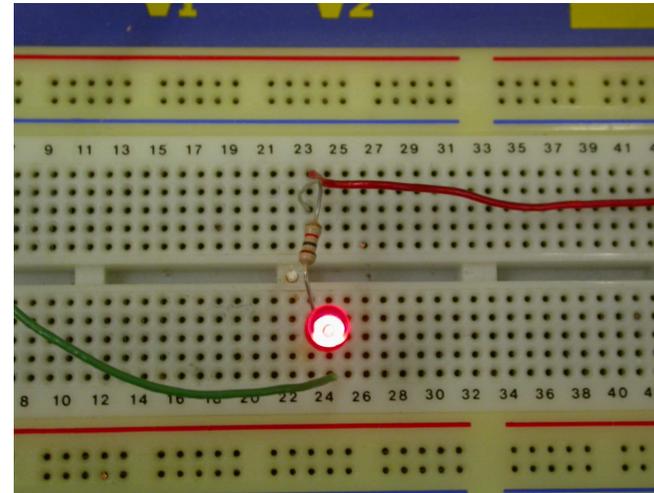
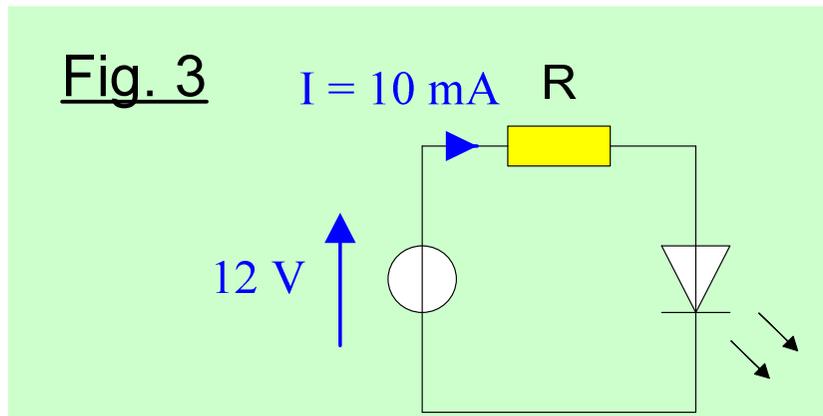
2-2- Tension de seuil

Couleur	tension de seuil
Verte, jaune, rouge	environ 1,6 V
Infrarouge	1,15 V

2-3- Protection

Une LED supporte un faible courant (quelques dizaines de mA).

- Exemple : on alimente une LED à partir d'une source de tension continue de 12 V.



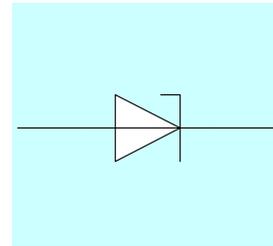
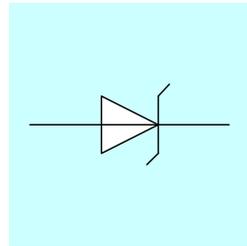
Calculons la valeur de la résistance de protection pour limiter le courant à 10 mA :

$$R = \frac{12 - 1,6}{10 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega$$

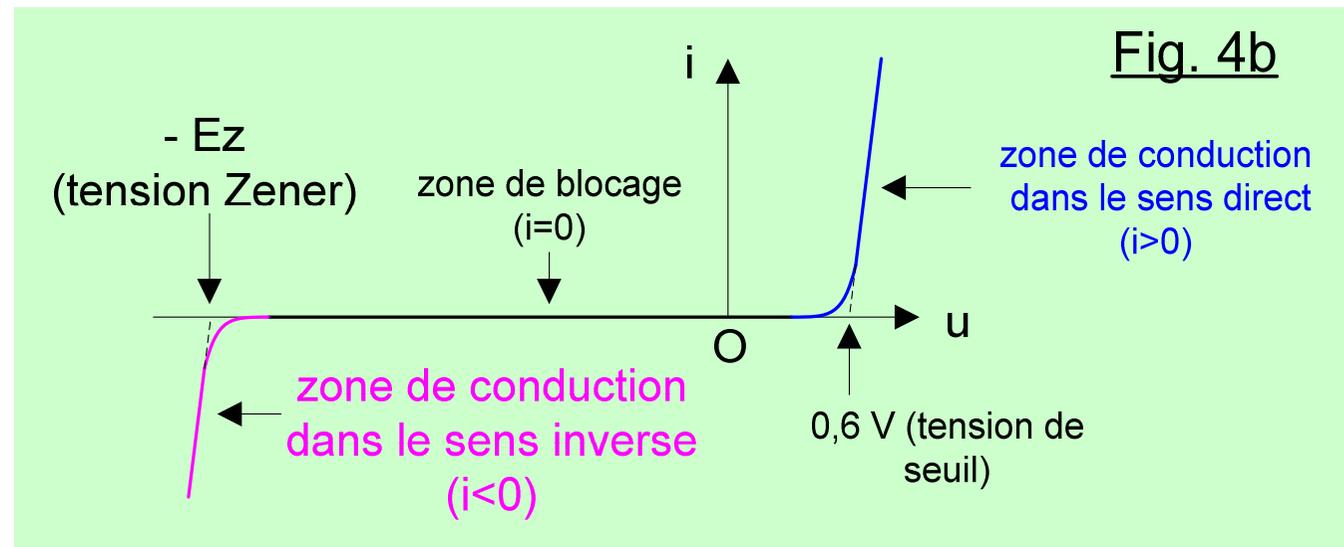
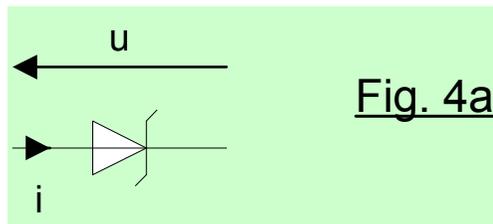
3- La diode Zener

La diode Zener est une diode qui a la particularité de pouvoir conduire dans le sens inverse.

3-1- Symboles

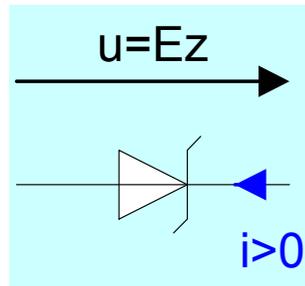


3-2- Caractéristique courant- tension



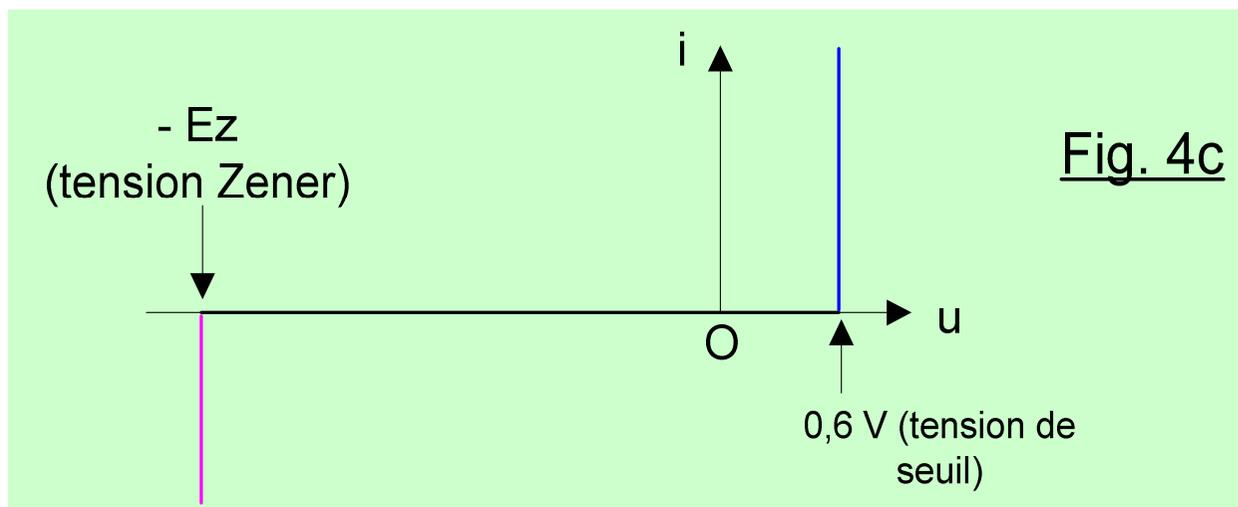
3-3- Tension Zener (E_z)

C'est la tension inverse nécessaire à la conduction en sens inverse.



La gamme de tension Zener va de quelques volts à plusieurs centaines de volts.

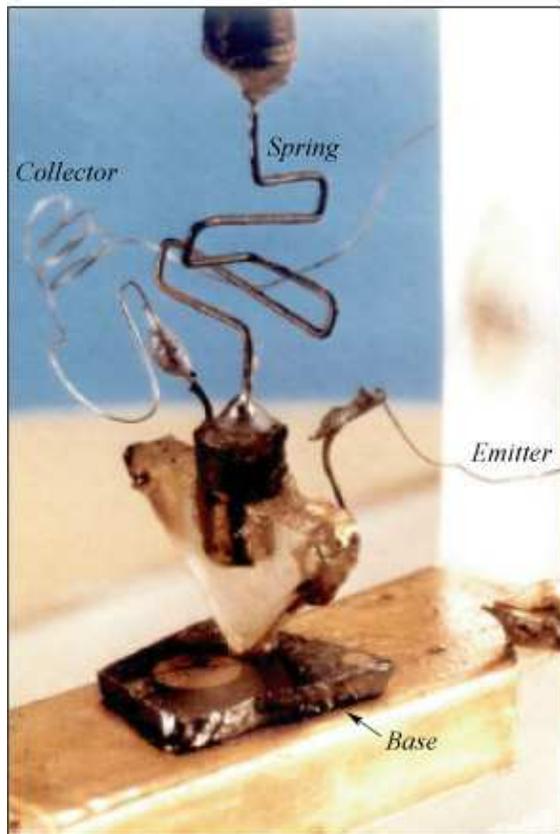
3-4- Caractéristique idéalisée



4- Le transistor « bipolaire »

Le transistor a été inventé en 1947.

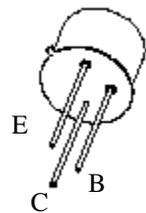
The first point contact transistor
William Shockley, John Bardeen, and Walter Brattain
Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey (1947)



4-1- Transistor bipolaire NPN et PNP

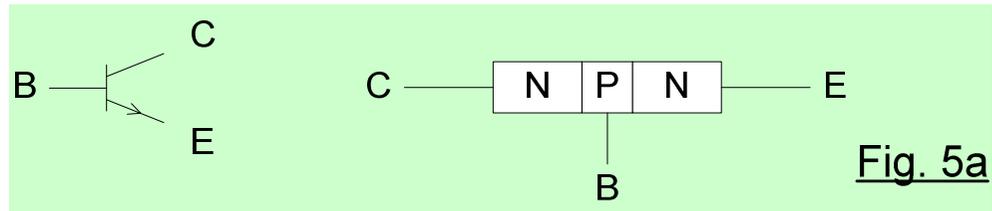
Un transistor bipolaire possède trois bornes :

- la base (B)
- le collecteur (C)
- l'émetteur (E)

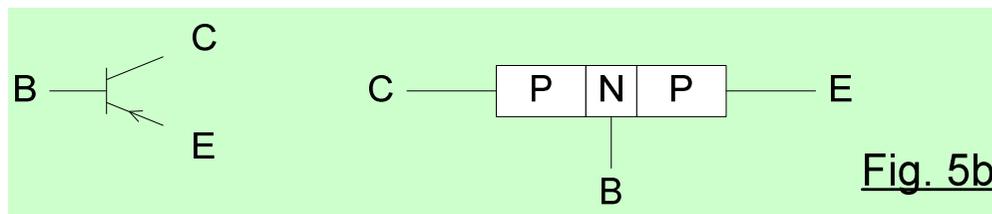


Il existe deux types de transistor bipolaire :

- NPN



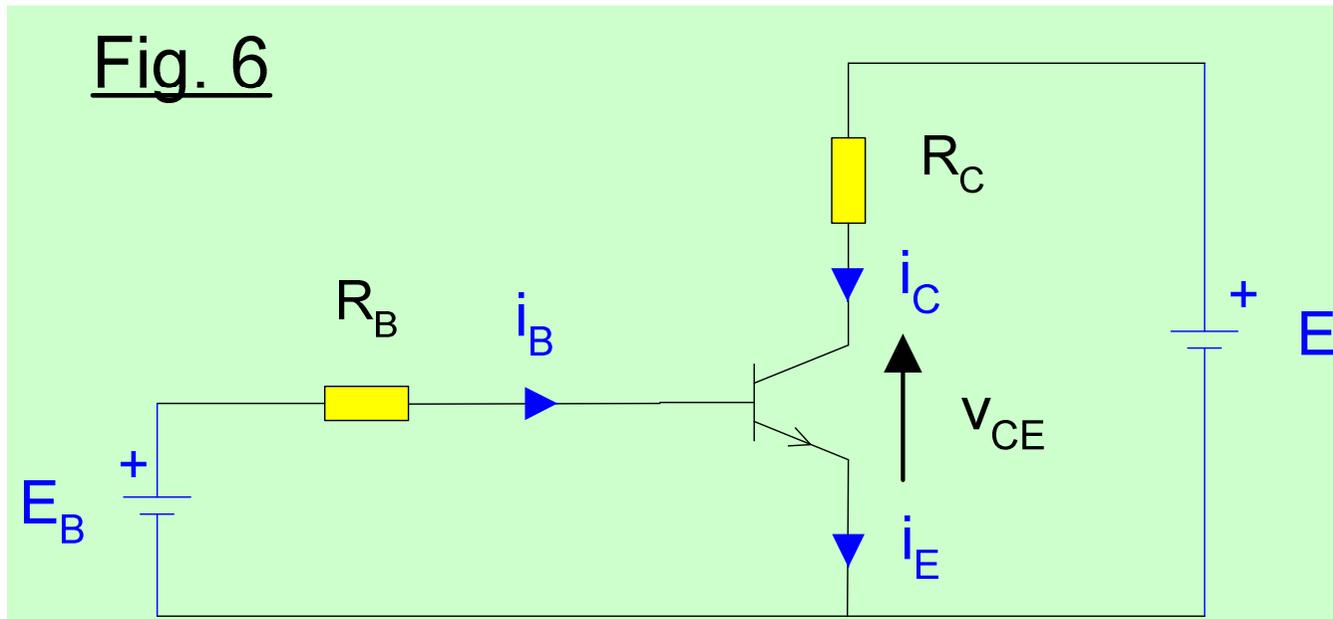
- PNP



4-2- Caractéristiques électriques du transistor NPN

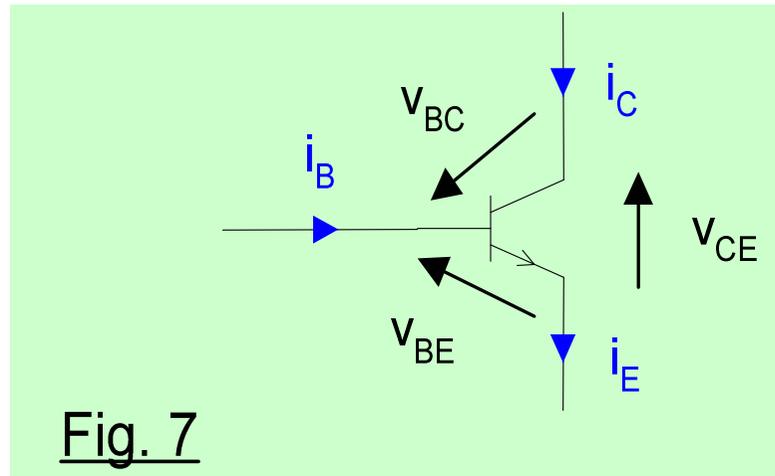
4-2-1- Montage « émetteur - commun »

Ce montage nécessite deux sources de tension :



4-2-2- Tensions et courants

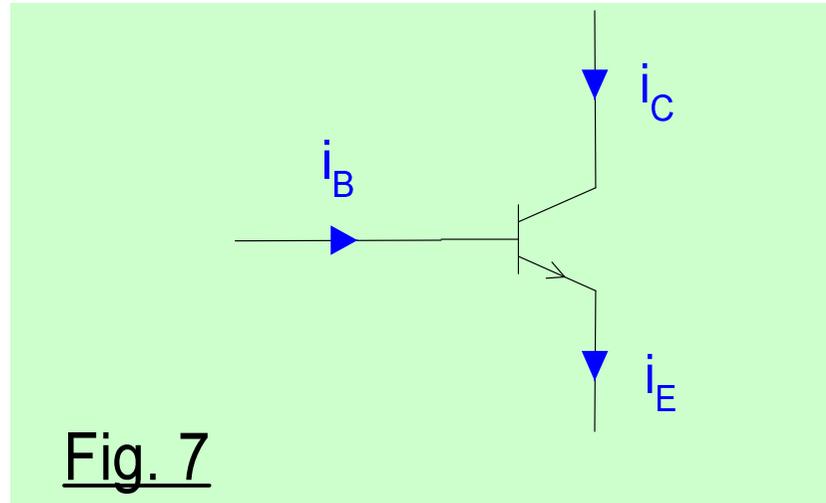
Le transistor possédant trois bornes, il faut définir trois courants et trois tensions :



En fonctionnement normal, le courant entre dans le transistor NPN par la base et le collecteur et sort par l'émetteur.

Avec la convention de signe choisie ci-dessus, les courants sont donc positifs.

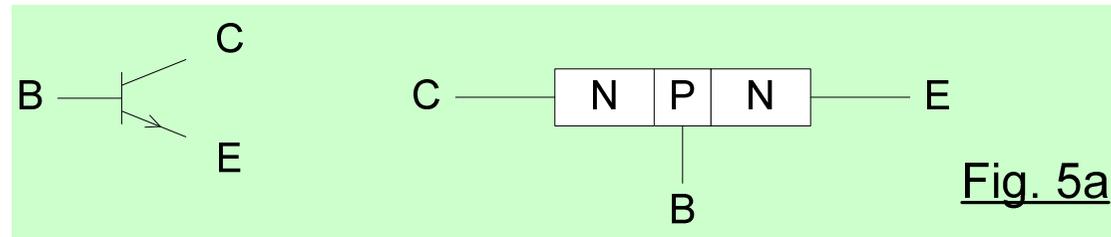
La tension v_{CE} est normalement positive.



Relation entre courants

- loi des nœuds : $i_E = i_B + i_C$

4-2-3- Jonction Base- Emetteur

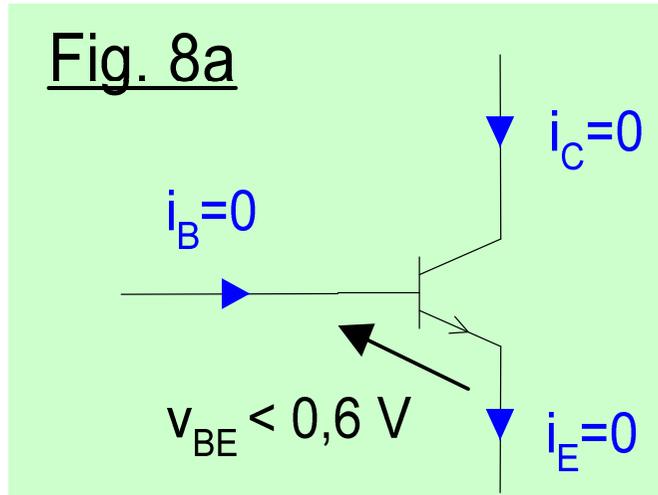


Le transistor est conçu pour être commandé par la jonction B-E :

- si le courant de base est nul, la jonction B-E est bloquée et on dit que le transistor est *bloqué*.
- s'il y a un courant de base (dans le sens direct : $i_B > 0$), le transistor est dit *passant*.

Le courant de base est donc un courant de commande.

4-2-4- Transistor bloqué



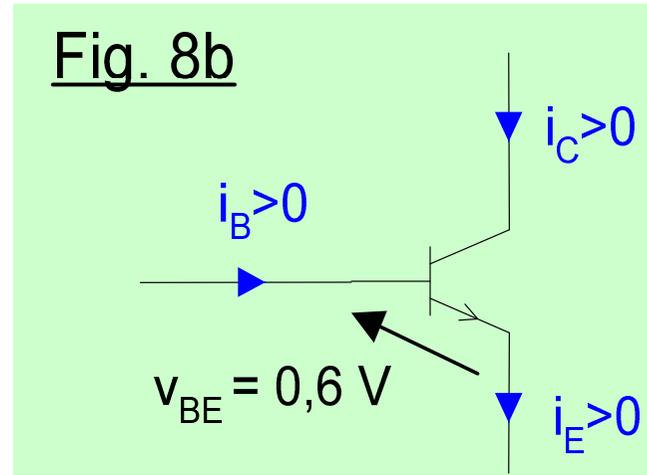
La jonction B-E est bloquée :

$$i_B = 0 \text{ et } v_{BE} < 0,6 \text{ V}$$

Le transistor est bloqué et tous les courants sont nuls :

$$i_B = i_C = i_E = 0$$

4-2-5- Transistor passant



La jonction B-E est passante dans le sens direct :

$$i_B > 0 \text{ et } v_{BE} = 0,6 \text{ V}$$

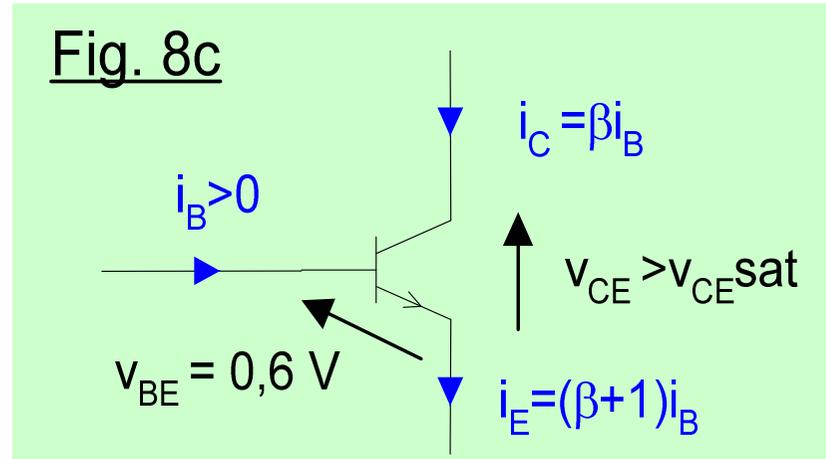
Le transistor est passant et il y a un courant de collecteur et un courant d'émetteur : $i_C > 0$ et $i_E > 0$.

Il existe alors deux régimes de fonctionnement.

a- Fonctionnement en régime linéaire

Le courant de collecteur est proportionnel au courant de base :

$$i_C = \beta i_B$$



β est le coefficient d'amplification en courant (de quelques dizaines à quelques centaines).

$\beta \gg 1$ donc $i_C \gg i_B$

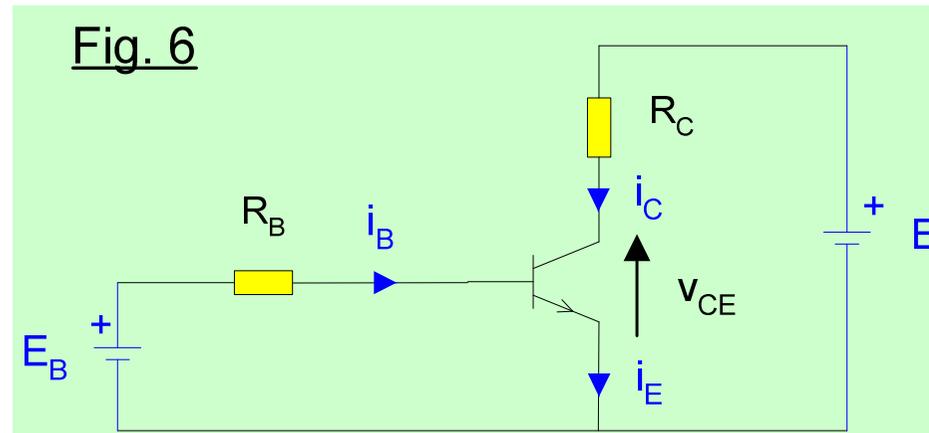
D'autre part :

$$i_E = i_B + i_C$$

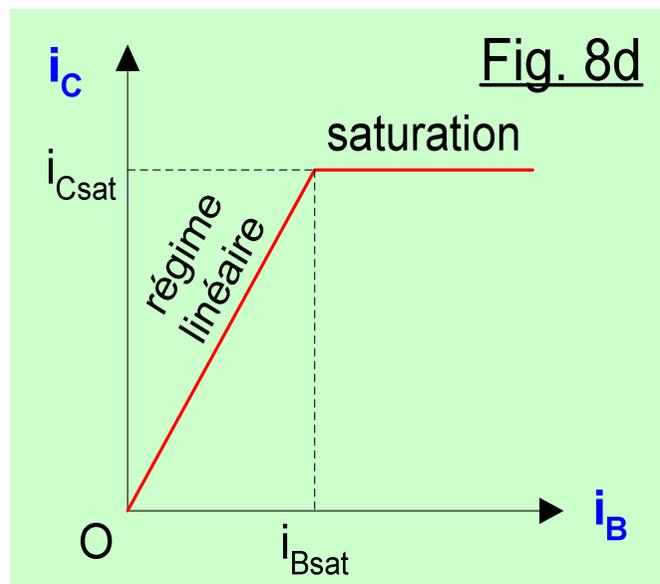
$$i_E \approx i_C$$

b- Fonctionnement en régime de saturation

Reprenons la figure 6 :



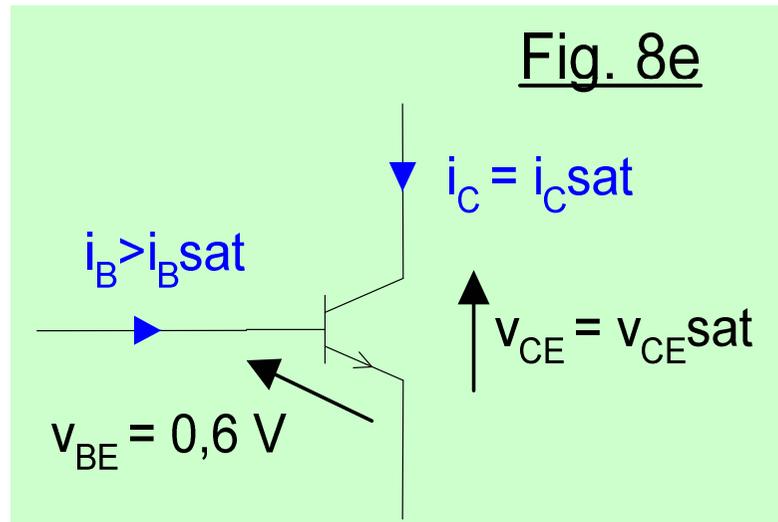
Au dessus d'une certaine valeur du courant de base ($i_{B \text{ sat}}$), le courant de collecteur « sature » :



$$i_B > i_B \text{ sat} : i_C = i_C \text{ sat}$$

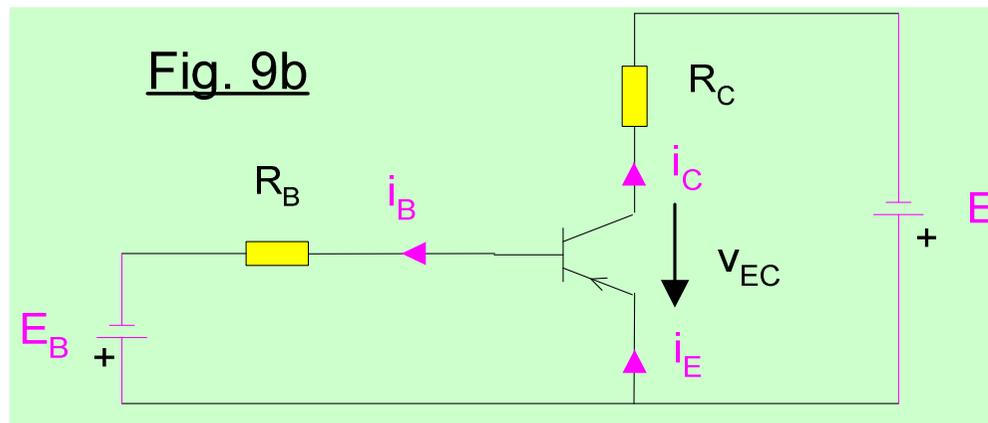
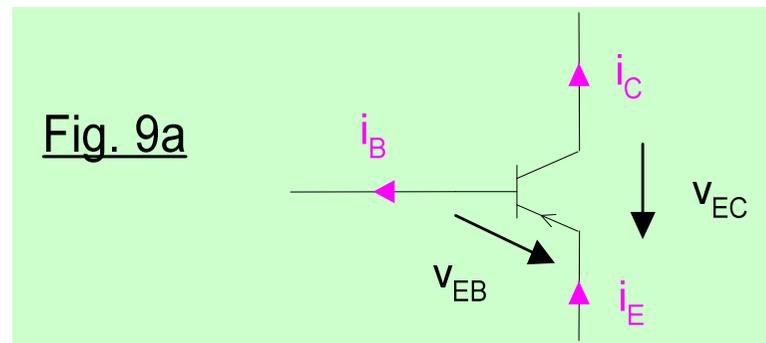
$$i_{B \text{ sat}} = \frac{i_C \text{ sat}}{\beta}$$

La tension v_{CE} est alors très proche de zéro :
 $v_{CE\text{ sat}} \approx 0,2 \text{ V}$.



4-3- Caractéristiques électriques du transistor PNP

Par rapport au transistor NPN, le sens des courants et le signe des tensions sont inversés :

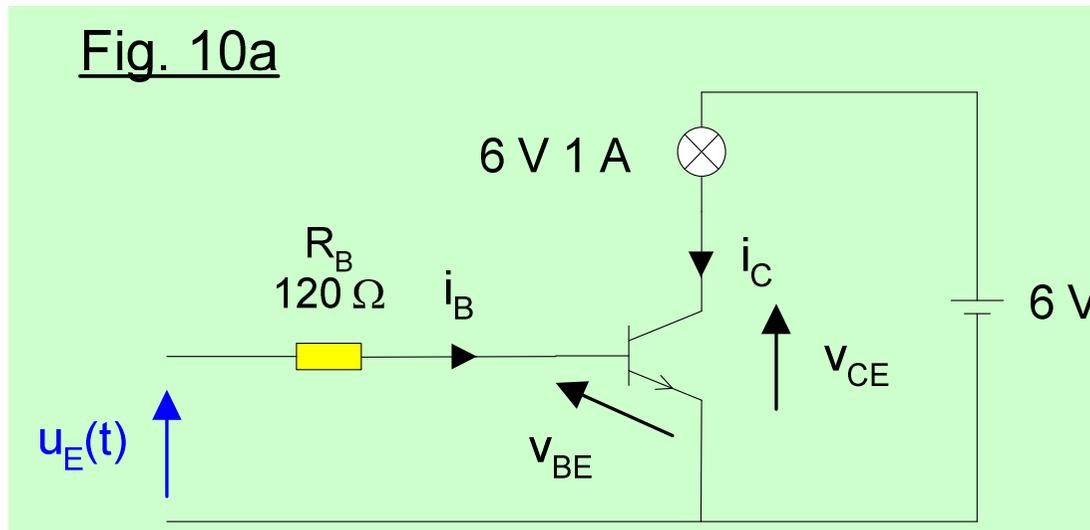


4-4- Applications

4-4-1- Fonctionnement en commutation

En commutation, le transistor est soit saturé, soit bloqué.

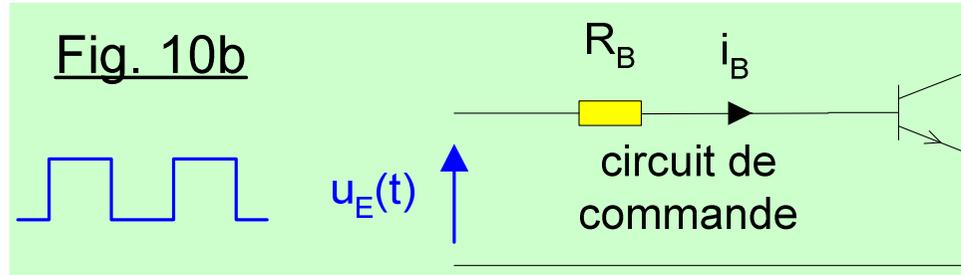
- Exemple :



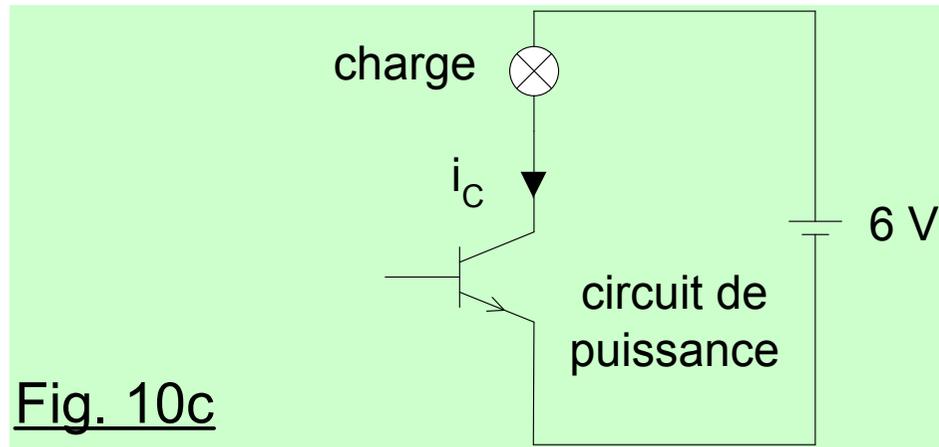
$\beta=100$.

La tension d'entrée peut prendre deux valeurs : 0 V ou 5 V.

- circuit de commande :



- le circuit de puissance alimente une ampoule qui consomme 1 A sous 6 V :



Analyse du fonctionnement

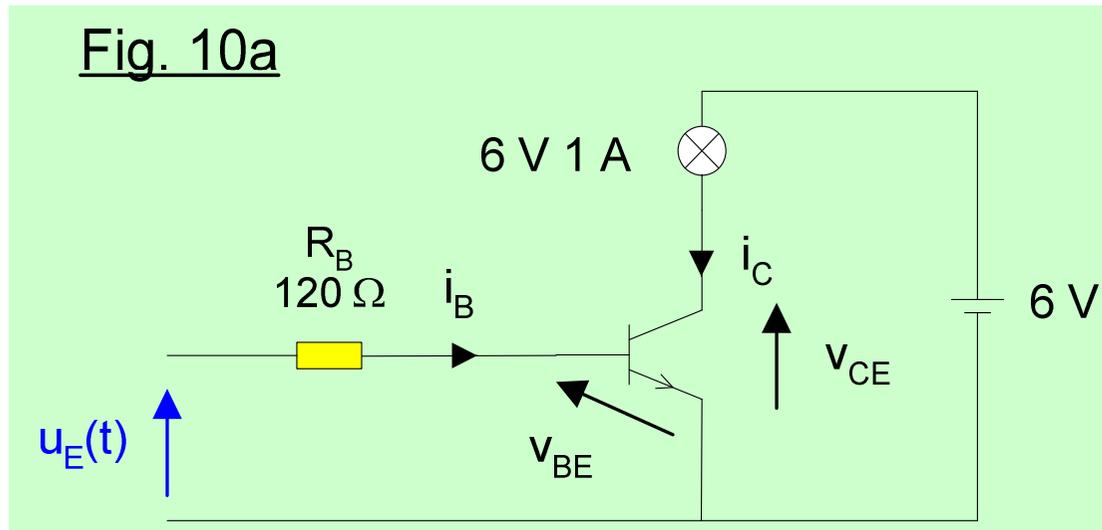
- $u_E = 0 \text{ V}$

$\Rightarrow i_B = 0$

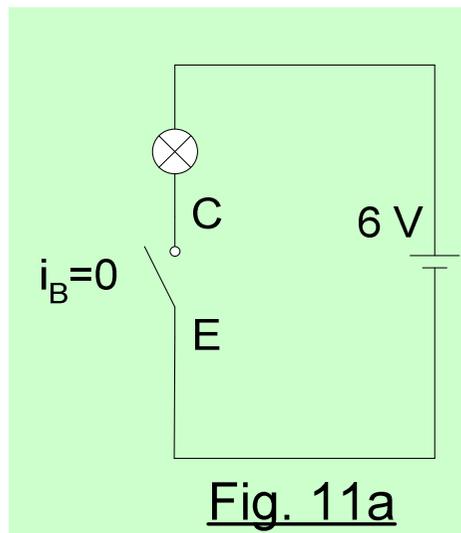
\Rightarrow transistor bloqué

$\Rightarrow i_C = 0$

\Rightarrow ampoule éteinte



Vu des bornes C et E, le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert :



- $u_E = 5 \text{ V}$

Un courant de base circule :

$$i_B = (5 - 0,6) / 120 = 37 \text{ mA}$$

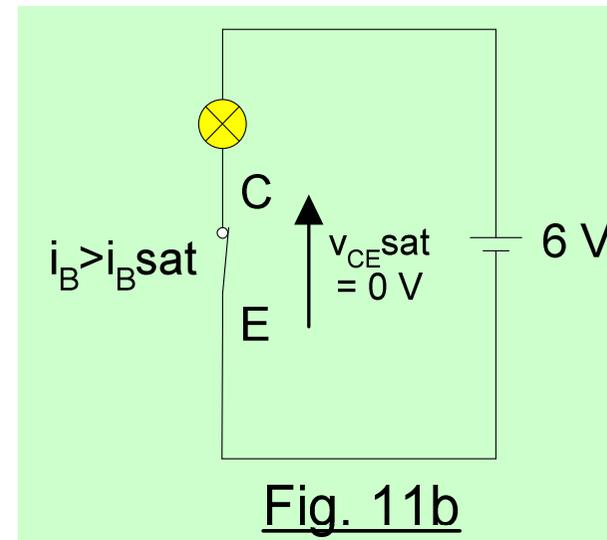
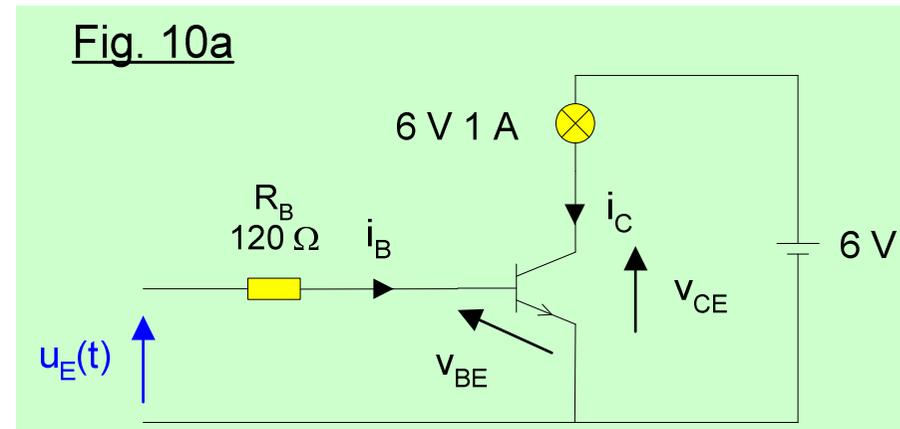
Ce courant est suffisant pour saturer le transistor car :

$$i_B > i_{B \text{ sat}} = 1 \text{ A} / 100 = 10 \text{ mA}.$$

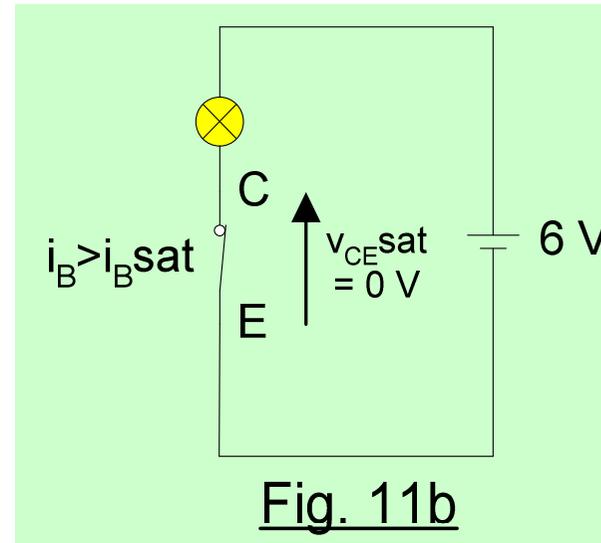
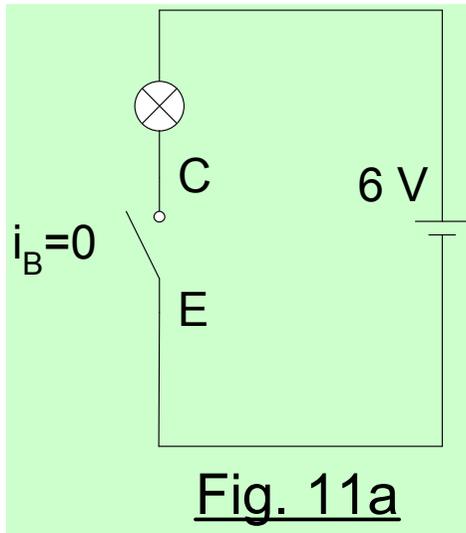
$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CE \text{ sat}} \approx 0,2 \text{ V}$$

\Rightarrow Vu des bornes C et E, le transistor se comporte pratiquement comme un interrupteur fermé :

\Rightarrow ampoule allumée

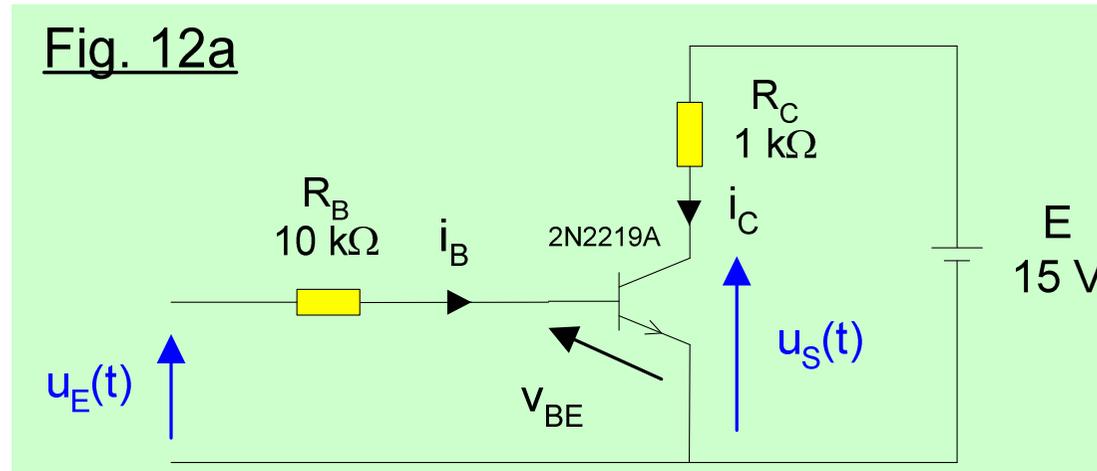


On retiendra qu'un transistor est un interrupteur commandable :



4-4-2- Fonctionnement en régime linéaire

- Exemple : principe d'un amplificateur de tension



$$\beta = 130 ; v_{CE \text{ sat}} = 0,2 \text{ V}$$

Caractéristique de transfert $u_S(u_E)$

- loi des branches :

$$u_E = R_B i_B + v_{BE} \quad (1)$$

$$E = R_C i_C + u_S \quad (2)$$

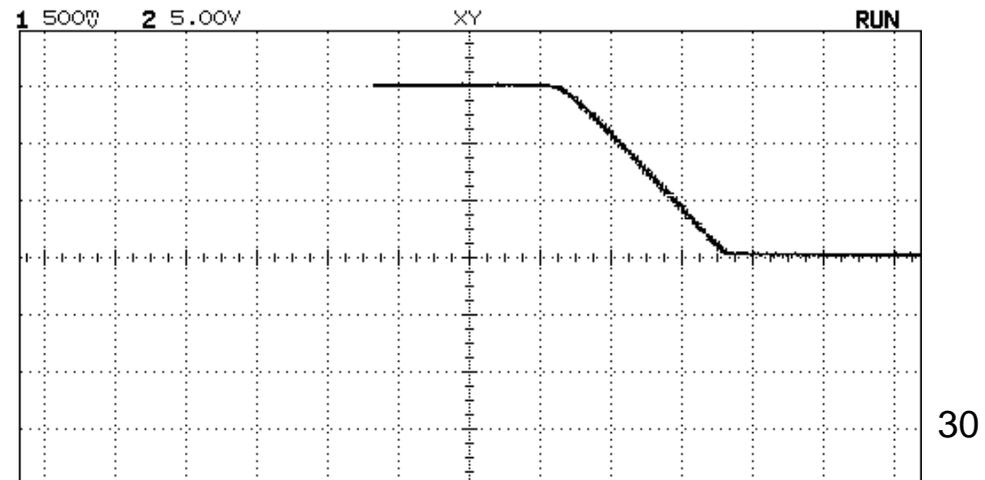
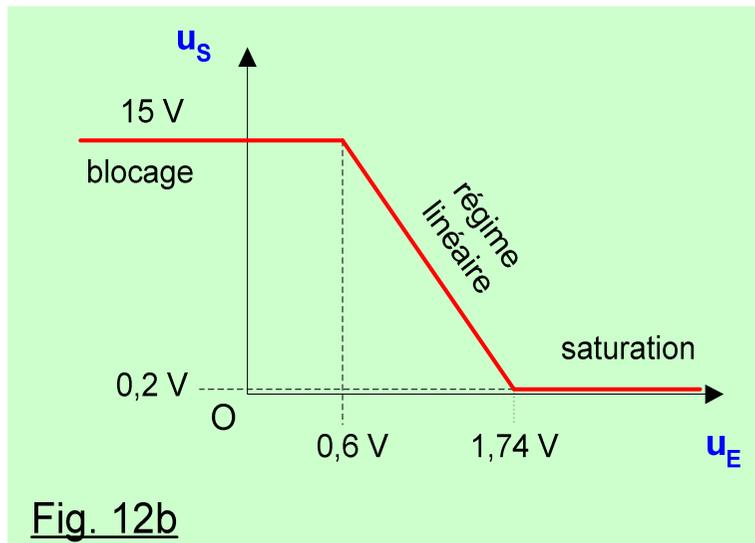
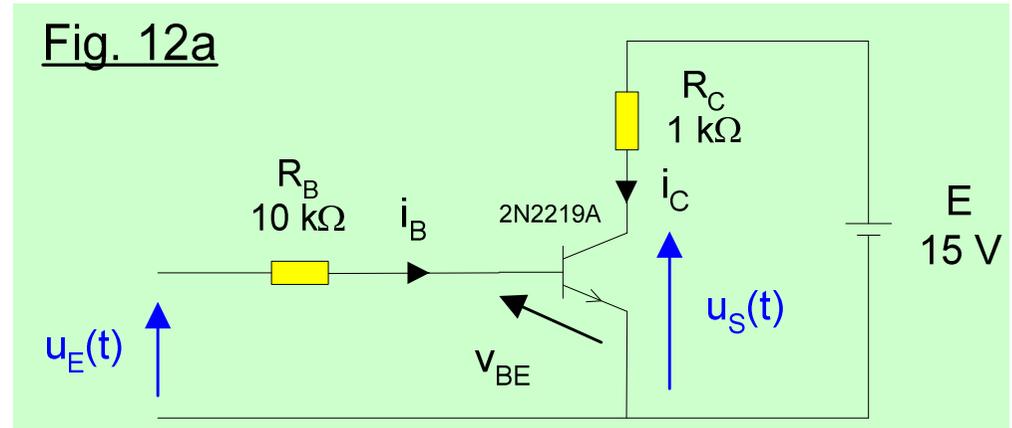
- en régime linéaire :

$$v_{BE} = 0,6 \text{ V} \quad (3)$$

$$i_C = \beta i_B \quad (4)$$

$$\Rightarrow \quad u_S = E - \beta R_C (u_E - 0,6)/R_B$$

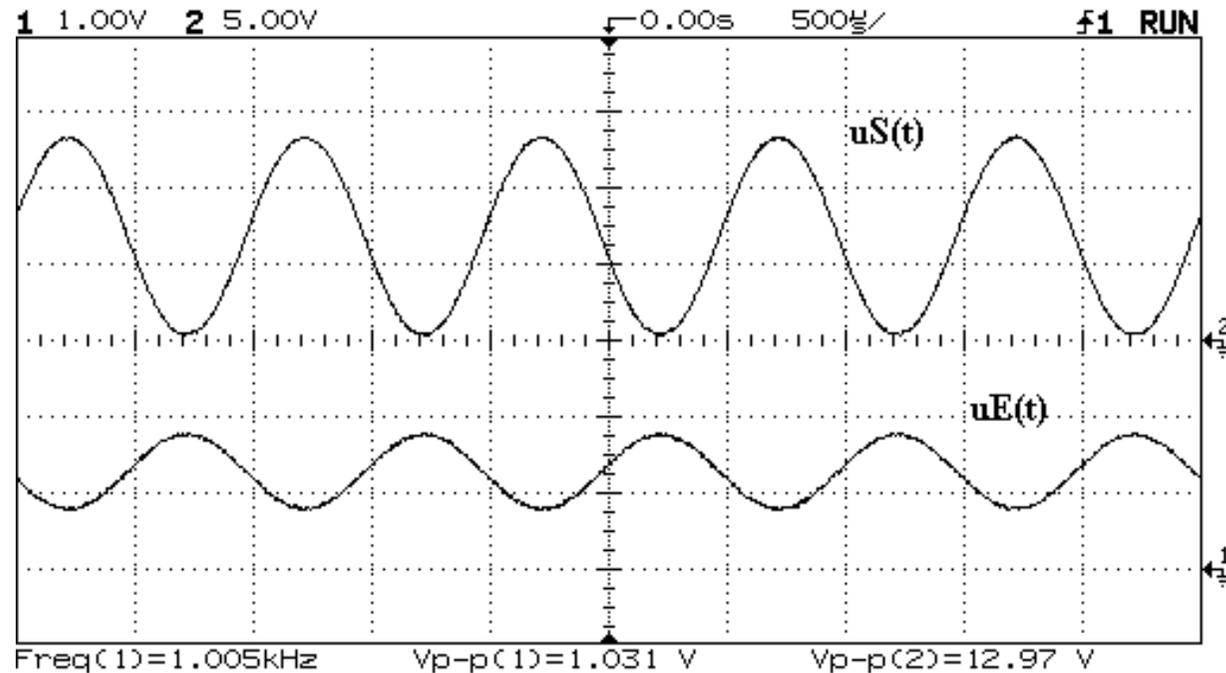
A.N. $u_S(\text{V}) = 15 - 13 \cdot (u_E - 0,6)$



Régime linéaire

Appliquons en entrée un signal évoluant dans la zone de linéarité :

Fig. 12c



- amplification en tension : $-12,97/1,031 \approx -13$

Régime non linéaire

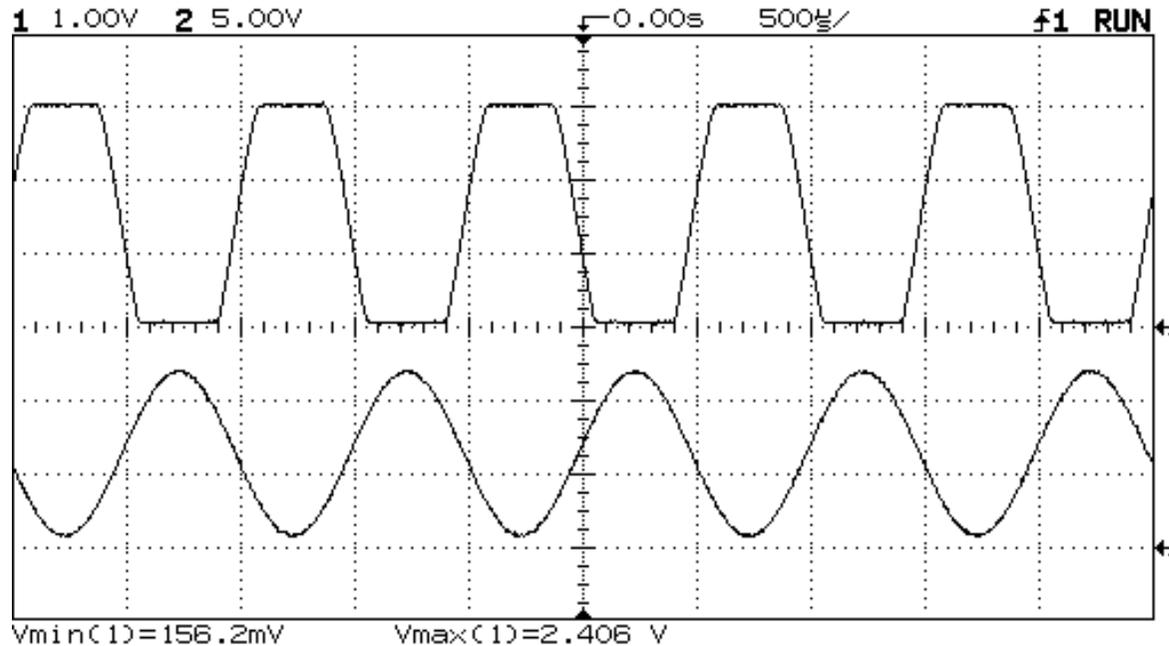


Fig. 12d

La sortie est déformée à cause de la saturation ($u_s = 0,2 \text{ V}$) et du blocage ($u_s = 15 \text{ V}$) du transistor :
il y a écrêtage (\Rightarrow distorsion) ☹