

Association de transistors pour réaliser des portes logiques

1 - Porte logique

Une porte logique évalue une grandeur de sortie S (niveau logique 0 ou 1) à partir du niveau logique de ses entrées E1, E2, ...

On peut par exemple ainsi obtenir les fonctions suivantes :

$$S = \text{NON} (E1)$$

$$S = E1 \text{ ET } E2$$

$$S = \text{NON} (E1 \text{ ET } E2)$$

$$S = E1 \text{ OU } E2$$

$$S = \text{NON} (E1 \text{ OU } E2)$$

Une fonction logique est définie par sa table de vérité, qui indique pour chaque combinaison des états des entrées E1, E2, ... l'état de la sortie S.

On peut assimiler un état 0 à la valeur logique "faux" d'une proposition et un état 1 à la valeur logique "vrai" de cette proposition. Lors de la réalisation de circuits logiques par des composants électroniques, on pourra avoir la correspondance entre une tension $U < 0,7$ volt pour une valeur logique 0 et $U > 2$ volts pour une valeur logique 1 (circuits TTL ou assimilés).

2 - Tables de vérité

a - Fonction NON

E1	S = NON(E1)
0	1
1	0

Exemple : E1 correspond à la proposition "j'ai froid". S correspond à la proposition "j'ai chaud".

On peut considérer que $S = \text{NON}(E1)$. Si j'ai froid, E1 vaut 1, c'est à dire "vrai" (3^{ème} ligne et 1^{ère} colonne du tableau). Dans ce cas, la proposition S = "j'ai chaud" est fausse (valeur 0 dans la 3^{ème} ligne et 2^{ème} colonne du tableau).

De même, si j'ai chaud, la proposition E1 est fausse car "j'ai froid" est fausse (E1 = 0 dans la 2^{ème} ligne et 1^{ère} colonne du tableau), $S = \text{NON}(E1)$ est vraie : "j'ai chaud" = $\text{NON}(\text{"j'ai froid"})$ est vraie.

On peut résumer ceci par : $\text{NON}(\text{faux}) = \text{vrai}$ et $\text{NON}(\text{vrai}) = \text{faux}$, ou $\text{NON}(0) = 1$ et $\text{NON}(1) = 0$.

b - Fonction ET et fonction NON ET

E1	E2	S1 = E1 ET E2	S2 = NON (E1 ET E2)
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Exemple : Proposition E1 : "j'ai faim". Proposition E2 : "le restaurant est ouvert". On peut considérer S1 : "je vais manger" et S2 = NON(S1) : "je ne vais pas manger".

S1 est vraie à condition que "j'aie faim" et que "le restaurant soit ouvert", soit d'un point de vue logique S1 = E1 ET E2 (S1 = 1 dans la 5^{ème} ligne et la 3^{ème} colonne du tableau).

Inversement S2 = NON (S1) correspond à la proposition "je ne vais pas manger", si je n'ai pas faim ou si le restaurant est fermé.

c - Fonction OU et fonction NON OU

E1	E2	S1 = E1 OU E2	S2 = NON (E1 OU E2)
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Exemple : On tire des cartes dans un jeu de cartes. On considère E1 = "J'ai tiré au moins un coeur" et E2 = "j'ai tiré au moins un carreau".

On peut vérifier que S1 = "j'ai tiré au moins une carte rouge" correspond du point de vue logique à : S1 = E1 OU E2.

On peut vérifier que S2 = "Je n'ai tiré que des cartes noires" correspond à S2 = NON(S1).

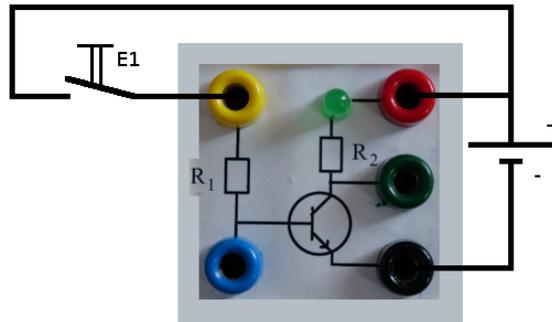
3 - Réalisation avec des transistors

a - Circuit élémentaire

Ce circuit élémentaire comporte un transistor NPN ordinaire BC337, une résistance R₁ de 27 kΩ pour limiter le courant de base (borne jaune) et une résistance R₂ de 470 Ω pour limiter le courant collecteur dans la LED verte.

Ce circuit est alimenté en +5 volts sur la borne rouge, le moins 0V sur la borne noire. La borne bleue donne accès directement à la base du transistor (à utiliser avec beaucoup de précautions, et jamais utilisée ici). La borne verte est reliée directement au collecteur du transistor.

Lorsqu'on ferme le contact E1, un petit courant circule de la base vers l'émetteur du transistor. Ce petit courant est amplifié par le transistor et on obtient une valeur suffisante pour allumer la LED dans le circuit collecteur.



Les valeurs relevées sur le circuit alimenté par un générateur de 5 volts sont les suivantes :

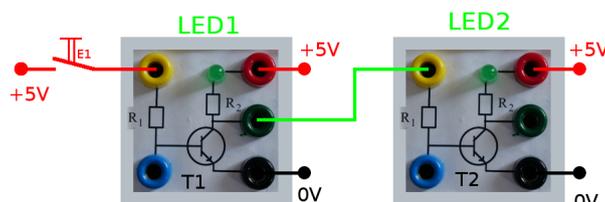
Lorsque E1 est ouvert : courant de base $I_b = 0$, courant de fuite du collecteur $I_c < 10 \mu A$ (ne suffit pas à allumer la LED, comme avec un interrupteur ouvert). La tension entre collecteur et émetteur (entre la borne verte et la borne noire) est alors de 3,6 volts (+5 V - chute de tension aux bornes de la LED éteinte).

Lorsque E1 est fermé (tension de 5 volts appliquée entre la borne jaune et la borne noire), courant de base $I_b = 160 \mu A$. Le transistor amplifie d'un facteur de l'ordre de $G = 200$. Le courant collecteur est alors au maximum de l'ordre de 32 mA. En pratique, il suffit de 6,4 mA pour allumer la LED, mais un transistor peut être amené à allumer 2 LEDs dans ce qui suit. La tension entre collecteur et émetteur (entre la borne verte et la borne noire) tombe à 0,036 volt (comme un interrupteur fermé). La tension base-émetteur vaut 0,66 volt. La tension aux bornes de la LED allumée vaut 1,93 V.

b - Expérience avec "les mains"

On peut remplacer le poussoir E1 qui ferme le circuit de base par une "chaîne humaine". Quand cette chaîne humaine se donne la main, le courant de base est suffisant, une fois amplifié par le transistor, pour allumer la LED. **Cette expérience ne doit en aucun cas être réalisée avec une tension supérieure à 12 volts.**

c - Association n° 1 de 2 transistors

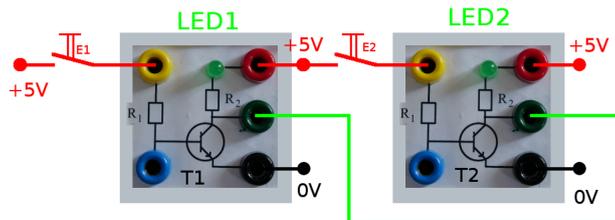


Dans tout ce qui suit, le générateur 5 volts n'est plus représenté : toutes les bornes rouges des transistors sont reliées au +5 volt du générateur, toutes les bornes noires 0V sont reliées au pôle - du générateur.

Dans ce premier circuit à 2 transistors, le circuit de base du transistor 2 à droite est relié au collecteur du transistor 1 à gauche. L'entrée E1 est au niveau logique 1 lorsqu'on ferme le circuit de base. Le transistor T1 conduit, allume la LED1. La tension collecteur de T1 est très basse, donc également la tension de base de T2 : la LED2 est éteinte.

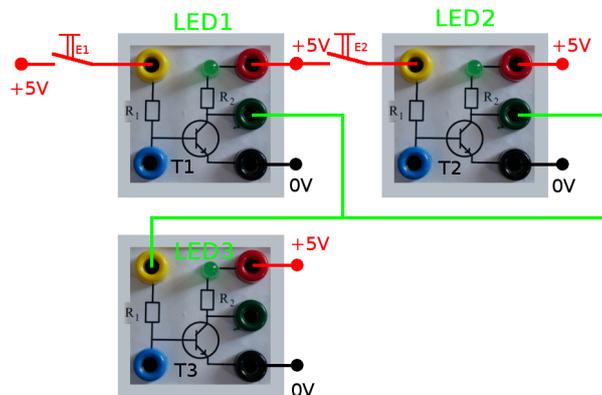
Lorsque l'entrée E1 est au niveau logique 0 (le circuit de base de T1 est ouvert), la tension de collecteur de T1 est voisine de +3,6V, et donc un courant de base circule dans T2, ce qui allume la LED2. A quelle fonction logique ce circuit correspond-il lorsqu'on considère comme entrée E1 et comme sortie S la LED2 allumée ?

d - Association n° 2 de 2 transistors



Les 2 collecteurs des transistors sont reliés entre eux. Si un des deux transistor conduit (ou les deux) la tension des 2 bornes vertes est faible et les 2 LEDs sont allumées. Si les 2 circuits de base sont ouverts (E1 et E2 sont au niveau logique 0) aucun des 2 transistors ne conduit et les 2 LEDs sont éteintes. A quelle fonction logique d'entrées E1 et E2 et de sortie S l'une ou l'autre des 2 LEDs allumée ce circuit correspond-il ? On notera qu'un seul transistor suffit pour allumer 2 LEDs.

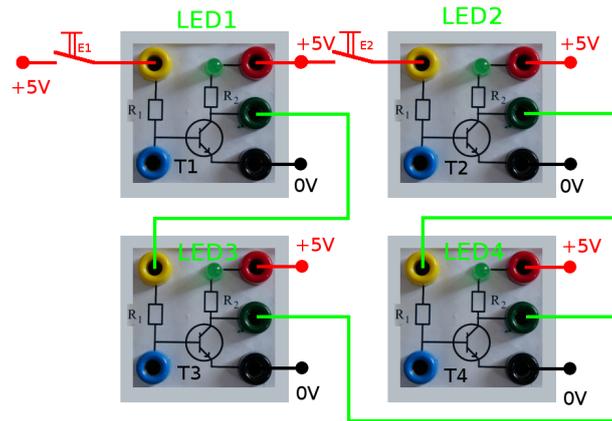
e - Association de 3 transistors



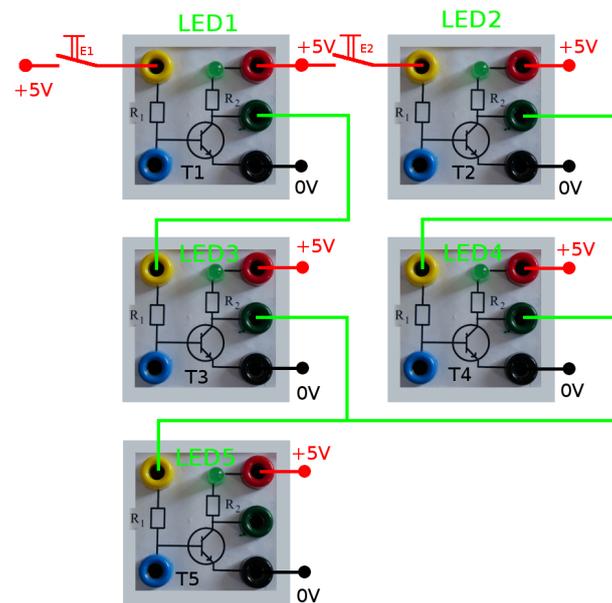
Quand l'une au moins des entrées E1 ou E2 est au niveau 1 (circuit de base fermé, donc LED1 et LED2 allumées), la tension à la base de T3 est faible donc LED3 est éteinte, et inversement. A quelle fonction logique ceci correspond-il (entrées E1 et E2, sortie S : LED3 allumée) ?

f - Association de 4 transistors

Dans le circuit ci-dessous, LED3 et LED4 sont allumées ou éteintes simultanément. A quelle fonction logique correspond-il, par rapport aux entrées E1 et E2 ?



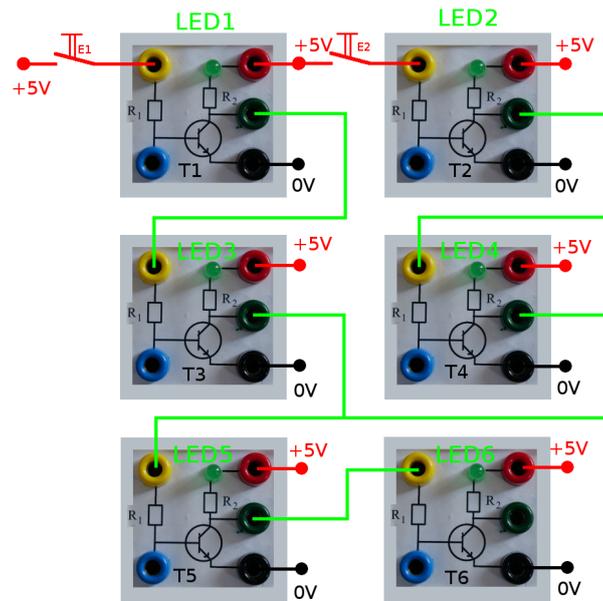
g - Association de 5 transistors



Quelle fonction logique relie la sortie LED5 et les 2 entrées E1 et E2 ?

h - Association de 6 transistors

Quelle fonction logique ce circuit à 6 transistors réalise-t-il (Sortie LED6 et entrées E1 et E2) ?



i - Autres fonctions

On notera que :

$$\text{NON (E1 ET E2)} = (\text{NON E1}) \text{ OU } (\text{NON E2})$$

$$\text{NON (E1 OU E2)} = (\text{NON E1}) \text{ ET } (\text{NON E2})$$

D'autres fonctions peuvent être réalisées :

Implication : "E1 implique S" correspond à : $(\text{NON (E1)} \text{ OU } S)$

OU exclusif : $(E1 \text{ OU } E2) \text{ ET } (\text{NON (E1 ET E2)})$

Equivalence : "E1 équivaut à E2" correspond à "E1 implique E2 et E2 implique E1", soit $(E1 \text{ ET } E2) \text{ OU } (\text{NON}(E1) \text{ ET } \text{NON}(E2))$.