

INITIATION

A LA PRATIQUE DE L'ÉLECTRONIQUE

IV - LES CIRCUITS LOGIQUES

CETTE introduction aux circuits logiques permettra d'abord au lecteur de comprendre certains termes utilisés dans les techniques digitales. Nous verrons qu'une variable logique ne peut prendre que deux valeurs : « zéro » ou « un ». Puis nous définirons les trois fonctions logiques fondamentales réalisées avec les « portes » ET, OU et NON. Nous verrons que le terme « porte » définit bien ces circuits qui ne « s'ouvrent » que par application d'un certain code constitué par des signaux digitaux. Enfin nous indiquerons comment réaliser ces trois fonctions à l'aide d'un circuit intégré logique de la famille TT2 monté sur une plaque de connexion.

Quelques définitions

La logique est l'art de construire un raisonnement, lui-même composé de « propositions » qui peuvent être vraies ou fausses. En électronique, un circuit logique donne à sa sortie un signal qui dépend des signaux appliqués à l'entrée. Ces signaux, tout comme une proposition vraie ou fausse, ne

peut prendre que deux valeurs : une tension ou pas de tension. Pour résumer, ces valeurs peuvent être soit au « niveau 1 », soit au « niveau 0 ». On dit, pour sim-

plifier, que ces deux valeurs sont « 1 » et « 0 ». Puisqu'il n'y a que deux états, il s'agit de logique binaire.

D'autre part, les circuits électroniques sont classés en

deux grandes catégories : les circuits digitaux et les circuits analogiques.

Dans un circuit analogique les signaux électriques ont une amplitude variant continuellement. Cette amplitude peut prendre un nombre très élevé de valeurs entre le minimum et le maximum.

Un amplificateur basse fréquence, par exemple, est un circuit analogique. Il amplifie aussi bien les signaux faibles que les signaux forts. L'amplitude varie sans cesse, suivant le niveau de la voix ou de la musique à amplifier.

Un circuit digital est un circuit dans lequel les signaux ne peuvent avoir que deux niveaux, soit le niveau 1, soit le niveau 0. Un circuit de commutation, par exemple, est un circuit digital. Le passage d'un niveau à l'autre se fait très rapidement de telle sorte que les valeurs intermédiaires que peut prendre le signal en passant de 0 à 1 ou de 1 à 0 n'entrent pas en considération.

Les circuits logiques utilisent la technique digitale. Le circuit aura plusieurs entrées pouvant prendre chacune le niveau 0 ou le niveau 1. Suivant la fonction logique du système contenu dans le circuit, la sortie prend la valeur 0 ou 1 (fig. 1).

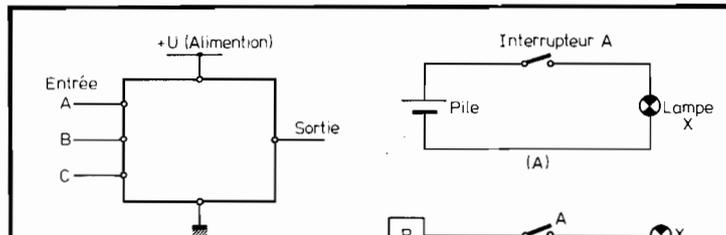


Fig. 1. - Représentation possible d'un circuit logique.

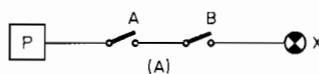


Fig. 2. - Schéma d'un circuit logique, très élémentaire.

	A	B	X
1ère possibilité :	0	0	0
2ème .. :	0	1	0
3ème .. :	1	0	0
4ème .. :	1	1	1

(B)

	A	X
1ère possibilité :	0	0
2ème possibilité :	1	1

(C)

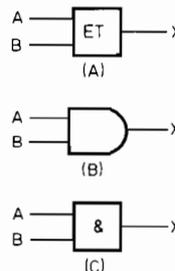


Fig. 4. - Représentation schématique d'un circuit ET.

Introduction aux fonctions logiques

Nous savons que les variables peuvent prendre deux valeurs, soit 1, soit 0. Une lampe peut être allumée ou éteinte, un interrupteur peut être ouvert ou fermé.

Si nous définissons l'état allumé de la lampe comme étant l'état 1, cette même lampe éteinte est dans l'état 0. De même, la position fermée de l'interrupteur correspond à l'état 1, sa position ouverte à l'état 0.

Regardons le schéma électrique élémentaire (A) de la figure 2, composé d'une source, d'un interrupteur et d'une lampe. Nous pouvons le représenter d'une façon plus simple (B). Nous pouvons aussi écrire la relation $X = A$, ce qui signifie que si $A = 1$ (interrupteur fermé), $X = 1$ (ampoule allumée). Il est possible également de résumer cette relation sur un tableau à deux colonnes (voir fig. 2-C). Un tel tableau est appelé « table de vérité ». Il indique les états que peut prendre l'interrupteur A et l'effet résultant sur la lampe X. La première possibilité est : interrupteur ouvert ($I = 0$) ayant pour résultat l'extinction de la lampe ($X = 0$). L'autre possibilité est $I = 1$ (interrupteur fermé), d'où $X = 1$ (lampe allumée).

La fonction logique ET

Compliquons un peu le circuit en plaçant en série deux interrupteurs A et B (fig. 3 A). La lampe n'est à l'état 1, c'est-à-dire allumée, qu'à la seule condition que l'interrupteur A ET l'interrupteur B soient fermés. Sinon, la lampe sera éteinte ($X = 0$). Les quatre possibilités d'ouverture et de fermeture de A et de B sont mises en évidence par la table de vérité (fig. 3 B).

On conçoit que l'insertion d'un troisième interrupteur en série ferait passer à huit le nombre de possibilités.

Puisqu'il faut comme condition que A ET B soient fermés pour obtenir le résultat $X = 1$, on est en présence d'une fonction ET. Cette relation s'exprime par la formule :

$$A \cdot B = X$$

se lisant « A et B égal X ».

Certains informaticiens remplaçant le point signifiant ET, par un V majuscule renversé, soit :

$$A \wedge B = X.$$

Cette fonction ET peut être réalisée par un circuit que nous pouvons d'abord représenter par un carré avec deux entrées A, B, et une sortie X (fig. 4 A). Pour continuer notre exemple avec les deux interrupteurs et la lampe, nous pouvons imaginer cette dernière branchée en X. Elle est maintenant, non pas commandée par deux interrupteurs, mais par des tensions branchées en A et B (fig. 5). Si les entrées A et B sont reliées à la pile (état 1) la lampe

s'allume (état 1). Si seulement une des entrées est branchée à cette pile, la lampe ne s'allume pas (état 0). Que peut-il y avoir dans ce carré, que nous appellerons désormais « poste » ? La figure 6 représente un circuit possible utilisant deux diodes et une résistance.

Voyons maintenant comment fonctionne ce circuit. Nous savons que quatre cas sont à considérer.

Si A et B sont reliés à la borne positive de la pile (état 1), l'anode et la cathode des diodes sont au même potentiel. La résistance interne des diodes est donc très élevée. La sortie X est alors à + 4,5 V (état 1), puisqu'il n'y a pas de chute de tension aux bornes de la résistance de 10 kΩ.

Si A et B sont reliés à la masse (état 0), les diodes sont polarisées dans le sens direct. Elles sont parcourues par un

courant, et la tension aux bornes de ces diodes est de quelques dixièmes de V, la valeur varie suivant qu'il s'agit d'une diode germanium ou d'une diode silicium. Il s'en suit que la tension en X est très faible, elle peut être considérée comme étant à l'état 0.

Si A est à l'état 1, et l'autre entrée à l'état 0, la présence de la diode D_1 peut être négligée, comme dans le premier cas considéré. Par contre la diode D_2 est polarisée en direct, et le potentiel en X est égal à la tension à ses bornes, comme dans le second cas.

Enfin, si l'entrée A est à l'état 0, et B à l'état 1, nous sommes ramenés au cas précédent.

Avec une plaque de connexion, il est très aisé d'effectuer les manipulations dont nous venons de parler. Un contrôleur mesurera la tension entre X et la masse.

Une porte ET se représente le plus souvent comme indiqué sur la figure 5 A. Une autre représentation créée par l'AFNOR est montrée sur la figure 5 B, mais nous n'utiliserons que la précédente qui est universellement utilisée.

La porte ET est parfois nommée par son appellation en langue anglaise : AND.

Plus tard, lorsque vous utiliserez ces circuits, il sera bon de vous souvenir qu'une porte ET est équivalente à un circuit comportant des interrupteurs montés en série. Il faut que ceux-ci soient tous à l'état 1 pour avoir l'état 1 en sortie.

La fonction logique OU

Toujours avec les mêmes composants, mais en plaçant les interrupteurs en parallèle, le fonctionnement du circuit est complètement changé. Il suffit qu'un seul interrupteur soit fermé pour que la lampe soit allumée. Autrement dit, il faut que $A = 1$ ou $B = 1$ pour que $X = 1$. Nous sommes ici en présence d'un circuit logique OU. En étudiant les quatre possibilités d'ouverture et de fermeture des deux interrupteurs, nous constatons que

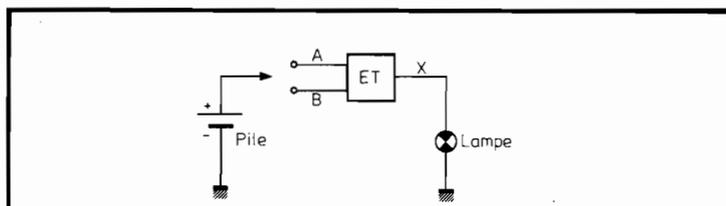


Fig. 5. - Porte ET insérée dans un circuit.

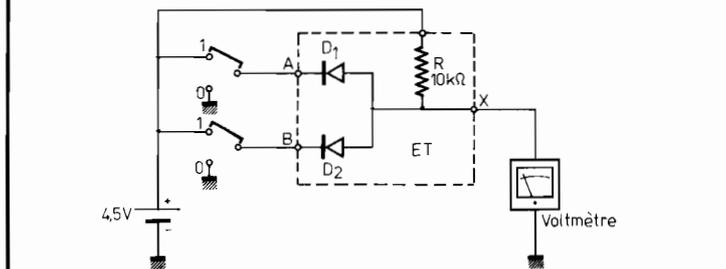


Fig. 6. - Réalisation pratique d'une porte ET.

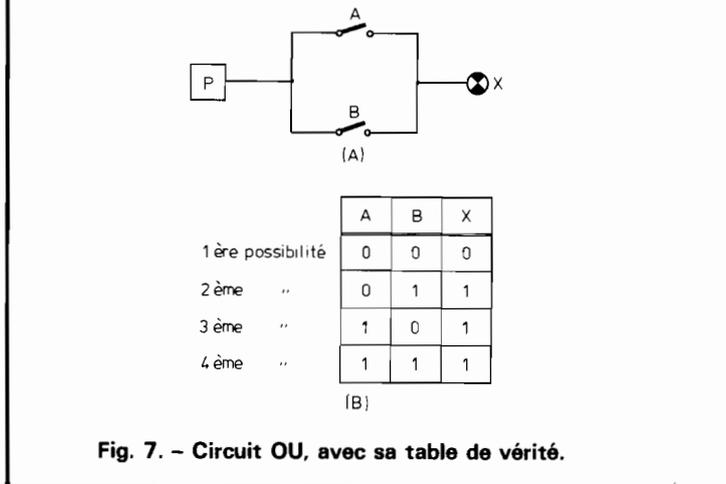


Fig. 7. - Circuit OU, avec sa table de vérité.

c'est pour seulement $A = B = 0$, que nous avons $X = 0$ (voir le circuit et la table de vérité sur la fig. 7).

Cette fonction OU s'exprime par la relation :

$$A + B = X$$

qui se lit « A OU B égal X ». Le signe + est parfois remplacé par la lettre majuscule V.

Schématiquement cette fonction peut, se représenter de différentes façons. Nous avons représenté sur la figure 8 A la représentation la plus courante. L'AFNOR a également créé une représentation (fig. 8 B) signifiant que pour avoir le niveau 1 en sortie, il suffit que le nombre d'entrées au niveau 1 soit égal ou supérieur à 1.

La porte OU, parfois appelée par sa traduction anglaise OR, peut être réalisée avec des diodes (fig. 9).

Nous voyons que si l'anode des deux diodes est au potentiel de la masse (niveau 0) aucun courant ne parcourt les diodes, et la sortie X est à l'état 0. Mais si une des diodes est reliée au pôle positif de la pile, un courant traverse le circuit série constitué par la diode considérée et la résistance. La tension au point X est alors égale à la tension de la pile moins la chute de tension, très faible, aux bornes de la diode. Cette tension en X est au niveau 1. Elle restera à ce niveau si A OU B est au niveau 1.

De même qu'une fonction ET peut être comparée à un circuit composé d'interrupteurs placés en série, une fonction OU fait penser à plusieurs interrupteurs branchés en parallèle.

La fonction logique NON

Cette fonction peut également se représenter par un circuit électrique simple. Ici nous utilisons un transistor. Lorsque celui-ci n'est pas polarisé ($A = 0$), le transistor ne conduit pas. Aucun courant ne le traverse, la tension en X est égale à la tension d'alimentation ($X = 1$). Dans le cas où la base du

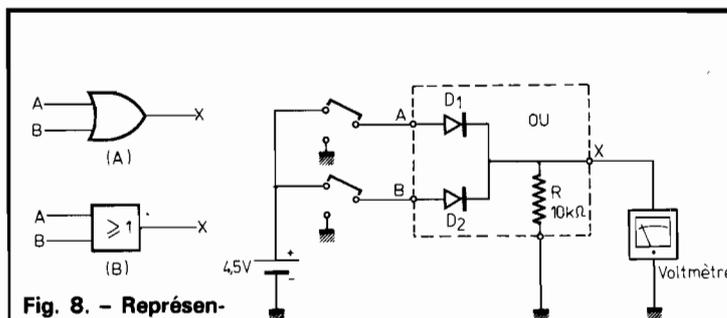


Fig. 8. - Représentation schématique d'une porte OU.

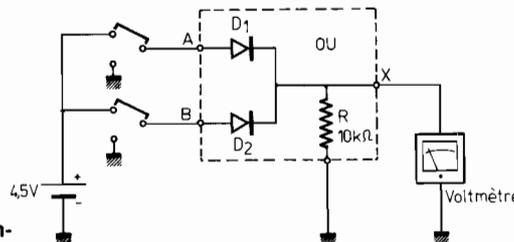
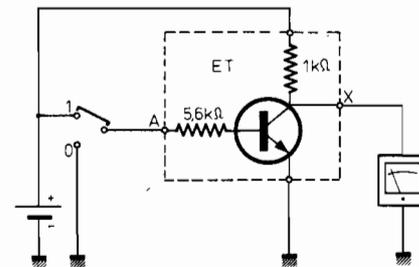


Fig. 9. - Réalisation d'une porte OU.



A	X
0	1
1	0

1^{ère} possibilité :
2^{ème} possibilité :

Fig. 10. - Réalisation pratique d'une porte NON.

transistor est reliée au pôle positif à travers une résistance ($A = 1$), le transistor est saturé, la tension de sortie en X est pratiquement égale à zéro ($X = 0$). Le schéma et la table de vérité correspondante sont donnés figure 10.

La fonction logique NON s'exprime par la relation :

$$X = \bar{A}$$

qui se lit : « X égal A barre » et qui signifie que l'état de X est le contraire ou le complément de celui de A.

Les représentations schématiques, la plus utilisée ainsi que celle de l'AFNOR, sont données sur la figure 11. UN cercle, comme celui placé à la sortie de ce circuit, indique une négation dans les circuits logiques.

Fonctions logiques intégrées

Les fonctions ET, OU, NON sont les trois fonctions logiques élémentaires. C'est en les

combinant que beaucoup d'autres fonctions sont réalisées.

Si nous avons utilisé des composants discrets (diodes, résistances, transistors) pour réaliser ces circuits, c'est uniquement pour expliquer leur fonctionnement. Désormais nous utiliserons des circuits intégrés pour réaliser les fonctions logiques.

Un circuit intégré est composé de nombreuses fonctions transistorisées. Suivant le nombre de celles-ci, il existe les circuits intégrés SSI (« Single Scale Integration » ou « intégration à simple échelle ») qui comportent environ 50 fonctions transistorisées, principalement pour réaliser des portes et des bascules. Une autre catégorie est constituée par les circuits intégrés MSI (« Medium Scale Integration » ou « intégration à échelle moyenne ») pour les compteurs et les registres, avec environ 500 fonctions transistorisées. Une troisième catégorie, les circuits intégrés LSI (« Large Scale Integration » ou « intégration à grande échelle »),

comporte plus de 5000 fonctions transistorisées que l'on utilise, par exemple, dans les calculatrices de poche. Nous arrêterons là l'énumération de ces catégories, la densité d'intégration augmentant sans cesse.

Les premiers circuits intégrés ne comportaient seulement que des résistances ou des diodes en plus du transistor, c'était l'époque des familles RTL ou DTL (« Resistor Transistor Logic » ou « Diode Transistor Logic »). Ensuite on est venu à intégrer des circuits beaucoup plus denses comportant de nombreux transistors, d'où la série TTL signifiant « Transistor Transistor Logic ».

La série TTL, bien qu'ayant été conçue, il y a déjà quelques années, est très largement utilisée à cause de sa facilité d'utilisation et du choix très grand de son catalogue. Les circuits TTL ont eu un tel essor que nous les rencontrerons encore pendant de nombreuses années, malgré l'apparition d'autres familles plus évoluées. La firme Texas Instrument qui a été le créateur de cette série continue à mettre au point des circuits intégrés de cette technologie. Nous utiliserons donc une famille TTL appelée série 74, la désignation de ces circuits commençant par 74 : 7400, 7486, 74247, etc. Ces circuits intégrés sont disponibles avec des boîtiers différents. Nous utiliserons les boîtiers « DIP » ou « Dual In-line Package » dont les connexions de sortie sont disposées en deux rangées (fig. 12). La plupart des plaques de connexion peuvent recevoir de tels boîtiers.

La fonction logique NAND

Voyons maintenant quelques particularités des circuits TTL. Pour cela nous prendrons comme exemple la fonction logique NAND.

Son nom provient de la contraction de l'anglais « NO-AND » dont la traduction fran-

çaise est « NON-ET ». Cette fonction peut être réalisée par une porte ET suivie d'un inverseur (NON) (fig. 13). Pour établir la table de vérité on raisonne d'abord avec la porte ET seule dont la sortie (Y) sera ensuite complémentée.

Pour la réalisation pratique, nous pourrions très bien utiliser des diodes suivies par un transistor faisant la fonction d'inverseur. La figure 14 montre ce que serait ce circuit NAND à 3 entrées, c'est en fait une porte NAND en technique DTL.

Si les trois entrées sont reliées au pôle + de l'alimenta-

tion (4,5 V), elles sont au niveau 1. L'anode et la cathode des diodes sont pratiquement au même potentiel, leur résistance interne est infinie. La résistance R_1 et la diode D_4 sont parcourues par un courant, qui est le courant de polarisation I_B du transistor. Celui-ci se trouve ainsi saturé. Le courant de son collecteur est tel que la chute de tension aux bornes de la résistance R_2 est pratiquement égale à 4,5 V. La tension en X est alors très proche de zéro (état 0).

Si seulement une des diodes (D_2 , par exemple) est au potentiel de la masse (état 0), le

point Y est à une tension égale à la tension directe de la diode D_2 (quelques dixièmes de V). Le transistor est alors bloqué puisque la tension sur sa base est pratiquement 0 V. Comme il n'y a aucun courant parcourant R_2 , le point X est pratiquement au potentiel de l'alimentation (niveau 1).

Nous avons vu dans l'article sur les transistors qu'un transistor peut être comparé à deux diodes branchées en série. Les diodes à l'entrée d'un DTL (fig. 13) sont remplacées dans un TTL par un transistor multi-émetteur T_1 (fig. 14). Celui-ci est suivi par un transis-

tor déphaseur T_2 relié à un circuit « totem-pôle » dont la caractéristique est que si l'un des transistors est bloqué l'autre est saturé.

Visualisation des niveaux logiques

Pour connaître le niveau logique à la sortie des portes, un voltmètre continu peut être utilisé, ou une diode LED (« Light Emitting Diode », diode photo-émissive), ou encore une ampoule basse tension commandée par un transistor.

L'emploi d'une diode électro-luminescente (LED) est le procédé le plus pratique. On sait que quand une diode classique est traversée par un courant direct, la recombinaison des porteurs dans les deux blocs de semi-conducteurs libère une énergie qui se manifeste sous forme de chaleur. Certains semi-conducteurs, autres que le silicium ou le germanium, libèrent l'énergie sous forme de lumière. C'est le cas de l'arséniure de gallium (Ga As). La lumière est commandée par le courant direct. Sa représentation schématique est la même que celle d'une diode classique, avec en plus deux petites flèches émanant de la diode et indiquant l'émission de lumière. Pour ne pas surcharger la sortie de la porte, on insère en série une résistance de 1000Ω .

Une autre façon de savoir quel est le niveau logique, consiste à utiliser une ampoule de lampe de poche (50 mA) insérée dans le circuit collecteur d'un transistor dont la résistance de base est de $10 k\Omega$ (fig. 16).

Quelques applications avec le circuit intégré 7400

Un des gros avantages des circuits TTL est sa facilité d'utilisation. Il suffit de les alimenter avec une source de + 5 V.

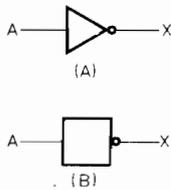


Fig. 11. - Représentation schématique d'une porte NON.

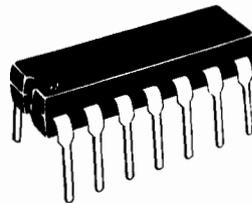


Fig. 12. - Dual In Line Package (boîtier TO-116).

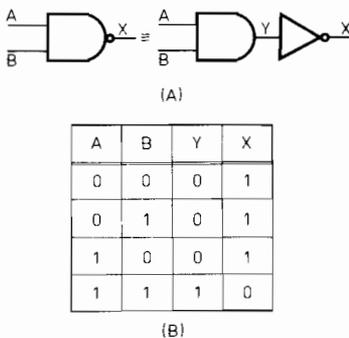


Fig. 13. - Représentation d'une porte NAND, avec sa table de vérité.

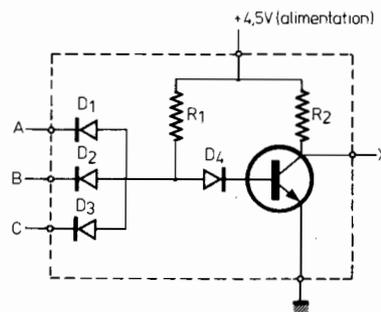


Fig. 14. - Porte NAND (DTL).

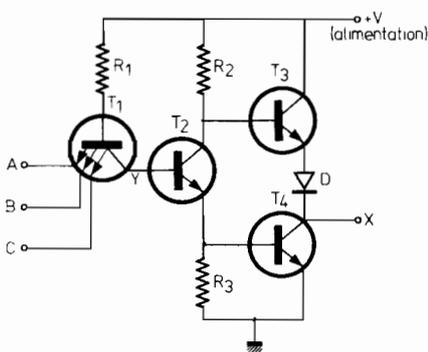


Fig. 15. - Porte NAND (TTL).

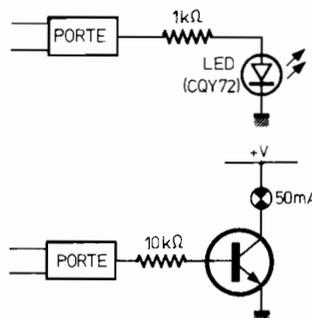


Fig. 16. - Visualisation des niveaux logiques.

Une pile de 4,5 V peut être utilisée à la rigueur. Nous vous conseillons d'utiliser l'alimentation dont le schéma a été décrit dans notre premier article. Elle ne nécessite qu'un transformateur, un pont de diodes, deux condensateurs de filtrage et un circuit de régulation intégré.

Le premier circuit intégré que nous utiliserons est du type 7400 en boîtier DIL 14 broches. De même qu'une voiture existe en plusieurs versions, les TTL peuvent exister en cinq catégories :

- standard : 7400
- low power : 74L00 (économique en puissance)
- high speed : 74H00 (rapide)
- schottky : 74S00 (le plus rapide)
- lower power schottky : 74LS00 (rapide et économique en puissance).

Nous utiliserons le modèle standard. La marque de fabrique n'a pas d'importance.

Le 7400 contient 4 portes NAND ayant chacune deux entrées. La figure 17 représente ce circuit vu de dessus.

Ce circuit est alimenté entre les broches 14 (+ 5 V) et 7 (0 V). La première chose à faire est de tester les quatre NANDS. Pour cela, nous placerons le circuit sur la plaque de connexion. Un fil relié, le + 5 V à la broche 14. Un autre met la broche 7 à la masse de l'alimentation. Pour visualiser le niveau de sortie, une diode LED en série avec une résistance de 1 kΩ 1/4 W est branchée entre la sortie du premier NAND (broche 11) et la masse (voir fig. 18).

Il reste à brancher les deux entrées du NAND et expérimenter la table de vérité de cette porte (fig. 13). Pour la première ligne de cette table, les broches 12 et 13 doivent être reliées à la masse. La sortie X doit être alors au niveau 1 et la LED doit s'allumer. Celle-ci ne sera éteinte que si A et B sont au niveau 1 (+ 5 V).

Il est courant de réaliser avec des portes NAND les autres fonctions élémentaires : ET, OU et NON.

La fonction NON est facilement faite en reliant les deux entrées d'une porte NAND

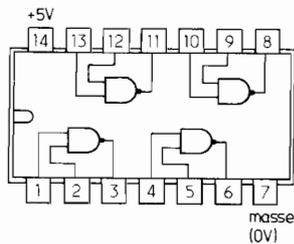


Fig. 17. - Circuit intégré 7400 (vue de dessus).

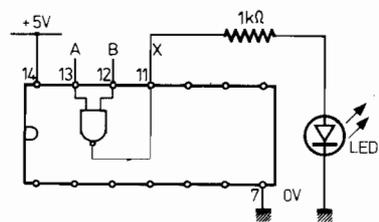


Fig. 18. - Branchement d'une porte NAND.

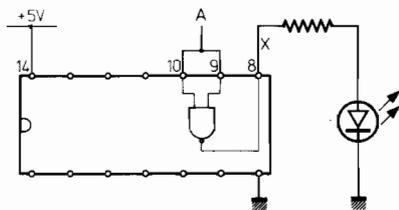
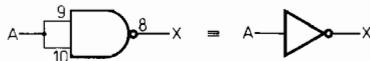


Fig. 19. - Réalisation d'une fonction NON, avec une porte NAND.

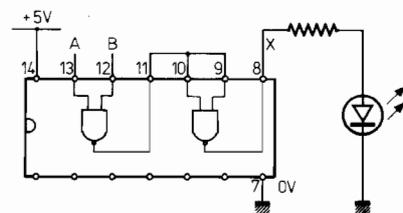
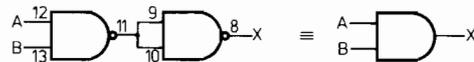


Fig. 20. - Réalisation d'une fonction AND, avec deux portes NAND.

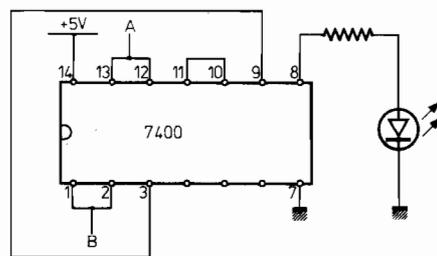
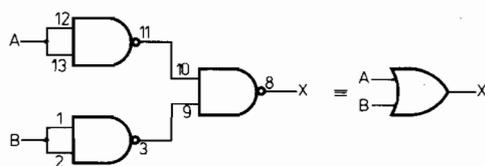


Fig. 21. - Réalisation d'une porte OU avec trois portes NAND.

(fig. 19). Si le point A est au niveau 1 (+ 5 V), la sortie sera au niveau 0 (LED éteinte).

Une fonction AND sera réalisée en connectant cet inverseur à la sortie d'une porte NAND (fig. 20). La figure 21

indique le montage à réaliser pour obtenir la fonction OU.

Ces montages seront contrôlés par application des niveaux 1 et 0 sur les entrées A et B et en contrôlant l'état de la sortie qui doit correspondre

à la table de vérité de la porte considérée.

Dans notre prochain article nous expérimenterons d'autres montages de circuits logiques.

J.-B. P.