

## INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

## LES BASCULES RS

Les bascules, également appelées basculeurs, bistables ou flip-flop, font partie des circuits séquentiels. Ce sont des dispositifs électroniques capables de stocker une information binaire.

Les bascules étudiées aujourd'hui sont du type RS, appelées encore « latch » ou « RS asynchrone ». Un seul opérateur binaire ne peut suffire pour constituer une bascule. Il est nécessaire de disposer de deux opérateurs avec inversion (NAND ou NOR).

Une bascule RS possède deux entrées : l'une, S (ou Set), met la bascule à l'état travail (niveau logique 1), tandis que l'autre, R (ou Reset),

remet la bascule à l'état repos (niveau logique 0).

Quand il s'agit d'une bascule RS réalisée avec deux opérateurs NAND, les signaux appliqués soit sur S, soit sur R, agissent quand ils prennent le niveau zéro.

Quand elle est composée de deux opérateurs NOR, ces signaux opèrent seulement s'ils sont au niveau 1.

Il y a indétermination si  $S = R = 0$  pour le premier cas, et si  $S = R = 1$  pour le second. Cette situation est interdite, car le montage a alors perdu son sens puisqu'il n'y a plus de basculement.

### Séquentiel et combinatoire

Dans les circuits que nous venons d'étudier (NAND, NOR ...), l'état de la sortie est une fonction directe déterminée par l'état à l'entrée. Il s'agit de **circuits combinatoires**.

Un autre type de circuit existe, ce sont les **circuits séquentiels**, l'état présent à l'entrée ne suffit pas, il faut aussi tenir compte du « passé » des signaux d'entrée pour connaître l'état à la sortie. Les bascules, les compteurs, les registres à décalage font partie des circuits séquentiels.

### Qu'est-ce qu'une bascule ?

C'est un dispositif électronique susceptible de changer d'état binaire sur commande et de conserver cet état jusqu'à l'apparition d'un autre signal. Ce dispositif constitue donc une « mémoire », puisque l'information binaire (0 ou 1) est stockée grâce à lui.

Une bascule électronique est également appelée « basculeur », « bistable » ou « flip-flop », on évitera néanmoins d'utiliser ce dernier terme.

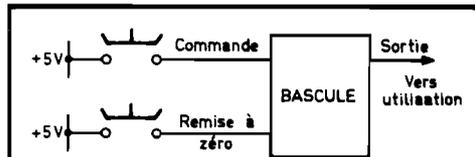


FIGURE 1 – Représentation très schématique d'une bascule.

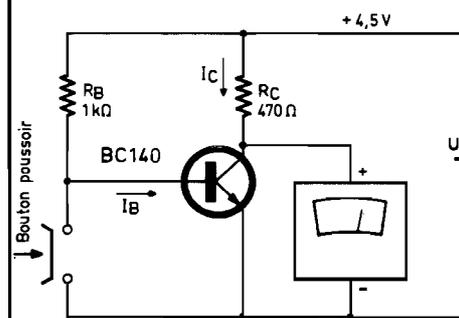


FIGURE 2 – Un transistor seul ne peut pas stocker une information.

Les applications de ces bascules sont très nombreuses. Citons un exemple : lorsque nous sommes dans un ascenseur et que nous appuyons sur le « 6 », un circuit prend en mémoire cette information. Celle-ci sera gardée jusqu'à ce que l'ascenseur soit arrivé au sixième étage. En parlant un langage

un peu plus technique, disons que les commandes d'un ascenseur se composent d'autant d'éléments de mémoire que d'étages à desservir. Le fait d'appuyer sur l'un des boutons de commande envoie un signal binaire (une simple impulsion de tension) à la bascule correspondante, mettant celle-ci à l'état 1. Très schématiquement, la sortie de cette bascule est reliée à la commande du moteur de l'ascenseur qui tournera jusqu'à l'étage choisi. A cet instant, le circuit de mémoire reçoit une autre information binaire qui effacera l'information stockée. Autrement dit, il y a remise à zéro, la bascule retourne à son état primitif et le moteur n'est plus alimenté.

Une bascule peut être schématisée par un rectangle (fig. 1) ayant deux entrées : l'une pour la commande, l'autre pour la remise à zéro. Cette bascule possède également une sortie par laquelle on pourra utiliser l'information stockée.

### Bascule à transistors

Comment pourrait être construit cet élément de mémoire ? Serait-il possible d'utiliser un simple transistor tel celui représenté sur la figure 2 ?

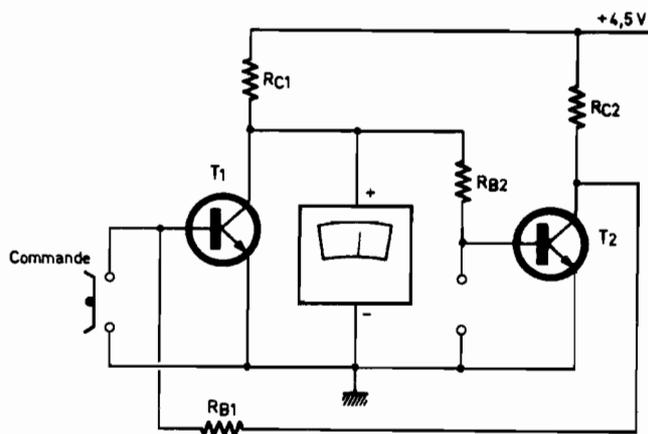


FIGURE 3 - Bascule à transistor ( $T_1 = T_2 = BC140$ ;  $R_{C1} = R_{C2} = 470 \Omega$ ,  $R_{B1} = R_{B2} = 1 k\Omega$ ).

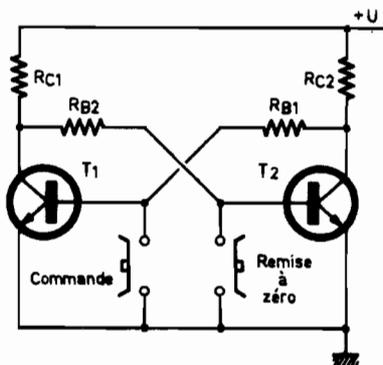


FIGURE 4 - Représentation usuelle d'une bascule à transistor.

Le transistor (BC140 ou autre) est polarisé pour fonctionner en commutation. Un courant  $I_B$  traverse la résistance  $R_B$  et la jonction base-émetteur. Il en résulte un fort courant  $I_C$ , et la tension mesurée par le voltmètre est très proche de zéro (plus exactement 0,2 V). Cette tension, pratiquement nulle, pourrait être considérée comme un zéro logique.

Le fait d'appuyer sur le bouton-poussoir change l'état du transistor. En jetant un coup d'œil sur le voltmètre, nous voyons que la tension collecteur passe de 0 à 4,5 V, valeur pouvant être considérée comme un « un » logique. Cette nouvelle valeur de tension collecteur ne reste que le temps durant lequel le bouton-poussoir est actionné.

Il n'y a, manifestement, aucune fonction mémoire puisque, dès que l'état à l'entrée disparaît (relâchement du bouton-poussoir), le circuit retourne à son état initial. Un moyen doit être trouvé afin que le transistor reste à l'état « 1 ». Une solution est trouvée par l'utilisation d'un deuxième transistor ( $T_2$  de la figure 3), dont le rôle est de remplacer le bouton-poussoir, une fois que celui-ci est relâché.

Dans l'état initial, le transistor  $T_1$  est passant, son courant de base traverse successivement  $R_{C2}$ ,  $R_{B1}$  et sa jonction base-émetteur. La valeur ohmique de  $R_{C2}$  et  $R_{B1}$  a été choisie assez faible dans le but de bien saturer  $T_1$ . La tension collecteur de  $T_1$  est très faible, comme nous l'avons vu précédemment.

Et puisque la base de  $T_2$  est polarisée par cette tension collecteur de  $T_1$  à travers  $R_{B2}$ , le transistor  $T_2$  ne conduit pas, et la tension collecteur de ce dernier est très proche de 4,5 V. Il y a donc un état d'équilibre tel que  $T_1$  est passant (état logique 0) et  $T_2$  bloqué (état logique 1).

Actionnons maintenant le bouton-poussoir. Comme nous l'avons vu,  $T_1$  n'est plus polarisé; sa tension collecteur monte à 4,5 V (état 1) et, en conséquence, le transistor va conduire, d'où chute de sa tension collecteur (état 0). Cette tension nulle va prendre la relève du bouton-poussoir dès qu'il sera relâché. Le transistor  $T_1$  restera à l'état 1 (transistor bloqué) et  $T_2$  restera à l'état 0 (transistor passant). Un deuxième état d'équilibre apparaît donc dans le montage. La fonction mémoire est bien réalisée.

## Remise à zéro

Il est bien de pouvoir mettre en mémoire une information binaire, mais il est également indispensable de pouvoir vider cette mémoire de son contenu lorsque cela est nécessaire.

Dans notre schéma à deux transistors, cette remise à zéro peut être effectuée à l'aide d'un deuxième bouton-poussoir disposé entre base et émetteur du transistor  $T_2$ . En actionnant cette nouvelle commande,  $T_2$  se bloque, sa tension collecteur remonte à + 4,5 V et  $T_1$  est à nouveau passant.

On retrouve alors l'état d'équilibre initial et la bascule est prête pour un nouveau basculement.

Ce montage mérite bien son nom de « bistable », avec ses deux états d'équilibre. Il est, le plus souvent, représenté d'une autre façon, comme le montre la figure 4.

## Bascules à circuits logiques

Cette bascule élémentaire peut être constituée avec des opérateurs logiques. Il est seulement nécessaire d'utiliser deux éléments inverseurs tels que des portes NAND ou NOR.

Pour nos essais, nous prendrons un circuit TTL du type 7400 comportant quatre portes NAND à deux entrées.

Nous vous conseillons de lire la suite de cet article tout en manipulant. C'est en réalisant et expérimentant les montages proposés que vous progresserez dans cette technique.

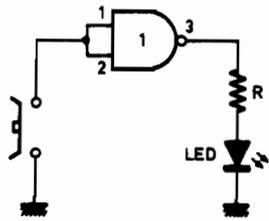


FIGURE 5 – Un seul opérateur inverseur ne peut pas stocker une information.

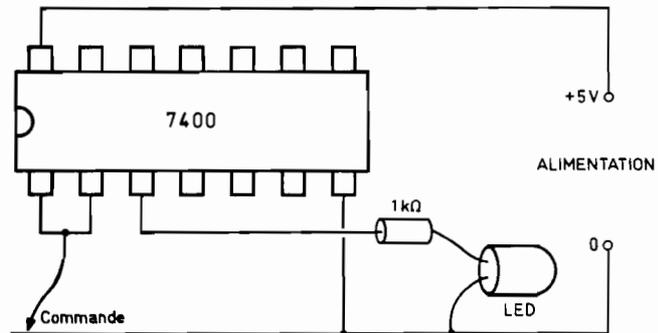


FIGURE 6 – Câblage d'un NAND, première étape pour la réalisation d'une bascule.

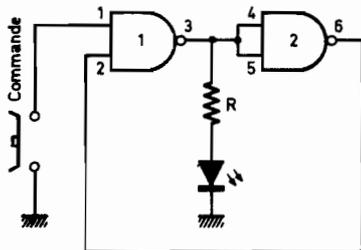


FIGURE 7 – En appuyant sur le bouton de commande, un zéro logique apparaît en 2, la sortie 3 reste à l'état haut.

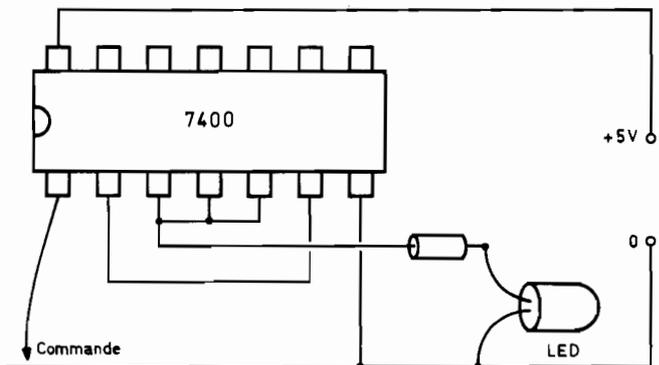


FIGURE 8 – Schéma de câblage de la bascule représentée figure 7.

En n'utilisant qu'une seule porte NAND (fig. 5 et 6), on est ramené au même stade qu'avec un seul transistor. L'état binaire « haut » ne peut être conservé qu'à la condition d'utiliser un circuit supplémentaire inverseur, comme cela est montré sur les figures 7 et 8.

Nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire de nous attarder sur le fonctionnement de cette bascule. On se rappellera que lorsqu'une entrée d'une porte n'est pas connectée, cela équivaut à une liaison au + 5 V (revoir éventuellement ce qui a été dit sur la technologie TTL dans *Le Haut-Parleur* de novembre 1984, page 140).

A la mise sous tension de l'alimentation, les entrées du NAND n° 1 sont toutes les deux à l'état 1, la diode LED est éteinte.

Lorsque la broche 2 est reliée au 0 V (bouton-poussoir enclenché), ces deux entrées sont à l'état bas, la diode s'allume.

Quand la broche 2 sera à nouveau en l'air (poussoir relâché), les deux entrées sont à 1 et 0, la sortie du NAND n° 1 reste à l'état haut, la diode reste allumée.

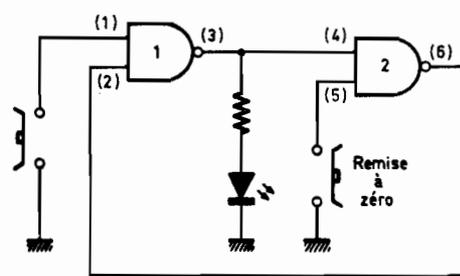


FIGURE 9  
Bascule avec remise à zéro.

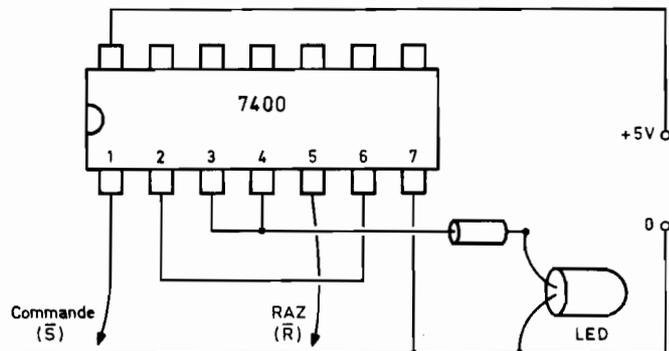


FIGURE 10 – Réalisation pratique de la bascule de la figure 9.

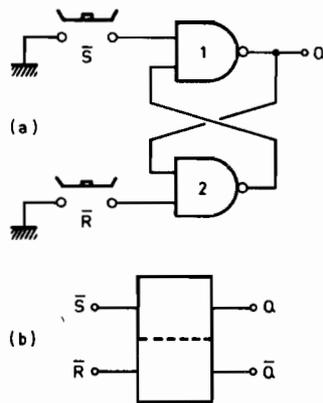


FIGURE 11 – Représentation courante d'une bascule utilisant des opérateurs NAND (a). Une représentation plus schématique est donnée en (b). La barre sur R et sur S signifie que les entrées doivent être excitées par un zéro logique.

Avec ce montage, pour revenir à l'état initial (LED éteinte), il faut soit couper l'alimentation, soit couper la liaison entre les bornes 2 et 6.

Pour la remise à zéro de cette bascule, nous allons employer une solution plus élégante, c'est-à-dire que nous allons utiliser la deuxième entrée du NAND n° 2, comme cela est indiqué sur les figures 9 et 10.

Le fait d'actionner et de relâcher le bouton-poussoir de remise à zéro met la sortie du NAND n° 2 au niveau haut, entraînant celle du NAND n° 1 au niveau bas.

Cette bascule utilisant deux portes NAND est représentée le plus souvent sous la forme donnée figure 11a. Un schéma encore plus simplifié prend la forme d'un rectangle avec deux entrées et deux sorties (fig. 11b).

### Bascule RS

Ce type de bascule est appelé « bascule RS », R et S étant le nom des deux entrées, lettres initiales des expressions anglo-saxonnes RESET et SET.

L'entrée S (Set) sert à la commande de la bascule pour qu'elle soit au niveau logique « 1 ». L'autre entrée, R (Reset), est la remise à zéro de la bascule. La sortie est désignée par la lettre majuscule Q. Il est courant d'utiliser la sortie complémentée  $\bar{Q}$ . Lorsque la bascule est à l'état « 1 »,  $Q = 1$  et  $\bar{Q} = 0$ .

Pourquoi, sur la figure représentant la bascule RS réalisée avec deux opérateurs NAND, avons-nous inscrit  $\bar{S}$  et  $\bar{R}$ ? La raison est que, pour avoir l'état 1 ( $Q = 1$ ), on doit appliquer un zéro logique (niveau masse) sur l'entrée de la commande, d'où la barre sur le S. Il en est de même pour la remise à zéro.

### Table de vérité

Il est intéressant de connaître l'état de sortie d'une bascule pour toutes les possibilités d'excitation des deux entrées, aussi dresserons-nous la table de vérité d'un basculeur RS, comme nous l'avons fait précédemment avec les opérateurs de base.

Le montage est toujours branché comme sur la figure 10. Une deuxième diode LED pourrait être branchée sur la broche 6 pour visualiser l'état de la sortie Q.

Si nous laissons « en l'air » les entrées 1 et 5, la sortie Q sera au hasard à l'état 0 ou à l'état 1. En réalité, tout dépend de la rapidité d'établissement du courant dans les deux portes qui ne sont pas rigoureusement pareilles, une des portes se ferme plus rapidement que l'autre.

Supposons que la sortie soit à l'état zéro à la mise sous tension (fig. 12a), la bascule est à l'état zéro ( $Q = 0$ ). Le fait de brancher les entrées  $\bar{S}$  et  $\bar{R}$  au + 5 V ne change rien en ce qui concerne l'état de la bascule.

En (b), l'entrée  $\bar{S}$  passe de l'état 1 à l'état 0, le niveau de sortie change :  $Q = 1$ . Ce niveau logique est appliqué à l'une des entrées de la porte 2. Il y a équilibre et la bascule reste dans cet état (même si à nouveau on fait  $\bar{S} = 1$  comme en (c)). En revanche, en changeant l'état de  $\bar{R}$ , qui passe de 1 à 0, la bascule est ramenée au repos comme en (d). L'entrée  $\bar{R}$  peut revenir à l'état logique 1, la bascule reste dans ce même état de repos comme en (e).

Notons que si à nouveau nous faisons  $\bar{R} = 0$ , le montage ne rebascule pas, et Q garde sa valeur logique zéro.

Remarquons aussi qu'un cas n'a pas été expérimenté. C'est celui de porter les deux entrées  $\bar{S}$  et  $\bar{R}$  en même temps

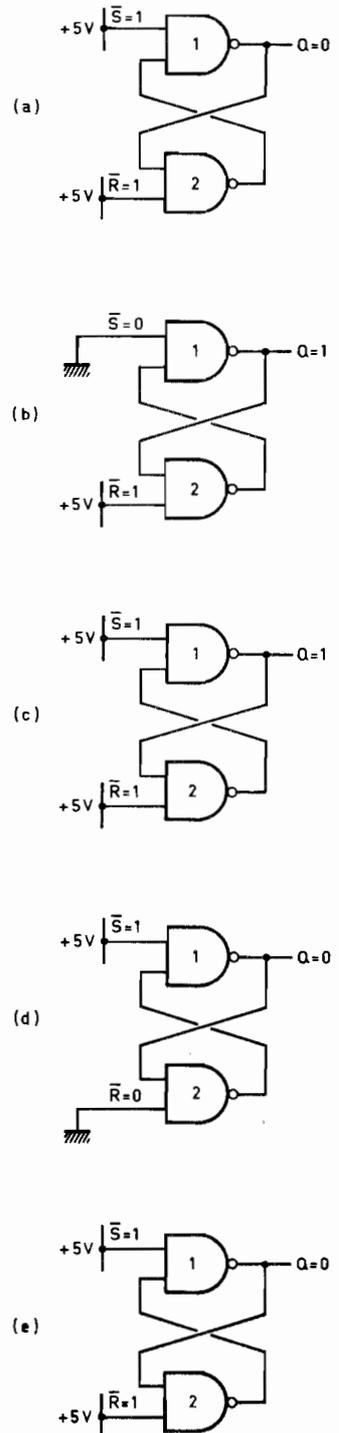


FIGURE 12 – Représentation des différents états que peut prendre la bascule.

au zéro logique. Cette manipulation est interdite avec la bascule RS. On dit qu'il y a **indétermination**. Les deux sorties Q et  $\bar{Q}$  sont au même niveau logique 1 et le montage a perdu son sens car il n'y a plus de basculement.

Nous pouvons porter nos remarques sur une table de vérité (fig. 13). Mais celle-ci manque de précision, il serait quand même plus utile de savoir, étant donné l'état de la sortie Q (0 ou 1), ce que devient cette sortie pour chaque cas d'attaque des entrées  $\bar{R}$  et  $\bar{S}$ . On considère alors l'état présent de la sortie, soit  $Q_n$ , puis son état après application des niveaux logiques sur  $\bar{R}$  et  $\bar{S}$ . Ce nouvel état étant appelé  $Q_{n+1}$ . Cette nouvelle table de vérité comporte alors 8 lignes puisqu'il y a 3 variables à considérer ( $Q_n$ ,  $\bar{R}$  et  $\bar{S}$ ) (fig. 14). On retrouve alors les différentes étapes des manipulations de tout à l'heure. Par exemple la ligne 2 concerne l'état logi-

$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q
0	0	indétermination
0	1	1 (état travail)
1	0	0 (état repos)
1	1	pas de changement

FIGURE 13 – Table de vérité résumant les résultats des manipulations.

	$Q_n$	S	R	$Q_{n+1}$
(1)	0	0	0	indétermination
(2)	0	0	1	1
(3)	0	1	0	0
(4)	0	1	1	0 (inchangé)
(5)	1	0	0	indétermination
(6)	1	0	1	1
(7)	1	1	0	0
(8)	1	1	1	1 (inchangé)

FIGURE 14 – Table de vérité tenant compte de l'information stockée précédemment.

$Q_n$	S	R	$Q_{n+1}$
0	1	X	0
0	0	1	1
1	1	0	0
1	X	1	1

Fig. 15 – Table de vérité fonctionnelle d'une bascule RS équipée de NAND (X signifie que 1 ou 0 peut être appliqué indifféremment).

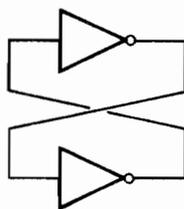


FIGURE 16 – Bascule composée d'inverseurs binaires.

que de la figure 12b, la dernière ligne, l'état donné en (c).

L'examen de cette nouvelle table appelle quelques remarques. D'abord dans le cas où  $Q_n = 0$ , nous voyons que  $Q_{n+1} = 1$  seulement si  $\bar{S} = 0$  et  $\bar{R} = 1$ . De même, toujours pour  $Q_n = 0$ , le montage ne basculera pas si  $\bar{S} = 1$ , tandis que l'état de  $\bar{R}$  est indifférent (0 ou 1), ce qui peut s'écrire  $\bar{S} = X$ .

Dans le cas où  $Q_n = 1$ , il y a basculement seulement pour :  $\bar{S} = 1$  et  $\bar{R} = 0$ , tandis que la bascule reste au même état un si  $\bar{R} = 1$  et  $\bar{S} = X$ . On peut donc dresser une table de vérité fonctionnelle en tenant compte de ces remarques, elle apparaît sur la figure 15. Cette nouvelle table de vérité simplifiée énormément le travail pour l'étude des circuits logiques comportant des bascules RS.

### Bascules RS avec portes NOR

Nous avons dit qu'il fallait deux opérateurs avec négation pour réaliser une bascule. Deux inverseurs se mordant la queue constituent une bascule, mais son inconvénient est qu'il est impossible de changer l'état de cette bascule. Si on s'aventurait à relier à la masse la sortie de l'inverseur, qui est en position travail, pour faire basculer le montage, on prendrait le gros risque d'endommager le circuit (fig. 16).

Un autre opérateur logique ayant également la fonction inversion est le NOR. Deux portes NOR peuvent, dans une bascule RS, être utilisées à la place des NAND (schéma de la figure 17).

Certaines remarques doivent être faites au sujet de cette bascule.

On voit d'abord que la disposition des entrées R et S par rapport à la sortie Q n'est pas la même que pour celle faite avec des NAND.

Les commandes R et S agissent lorsqu'on leur applique le niveau 1. En attente, ses entrées sont au niveau 0. En ce qui concerne l'indétermination, elle apparaît lorsque  $R = S = 1$ .

Cette bascule pourra être réalisée avec un circuit 7402 comportant 4 NOR à 2 entrées (schéma de branchement donné dans *Le Haut-Parleur* de novembre 1984).

Afin d'expérimenter le montage, il est avantageux de dresser la table de vérité analogue à celle représentée figure 14. On en déduira la table de vérité fonctionnelle de la figure 17.

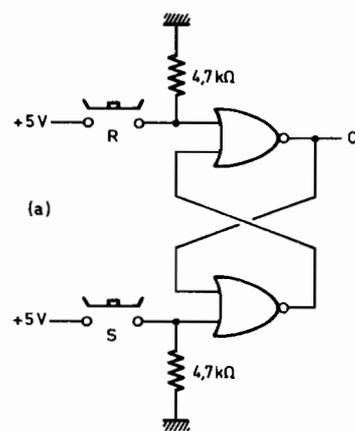
### Fonctionnement en dynamique

La figure 18 nous montre une bascule  $R_S$  attaquée, non pas statiquement, mais par des impulsions qui sont ici négatives puisque la bascule est constituée de deux NAND. Si les opérateurs avaient été des NOR, les deux résistances auraient été reliées au 0 V et les signaux auraient eu une polarité positive, et leurs points d'attaque inversés.

### Bascule RS intégrée

Les circuits 74118 et 74119 contiennent chacun six bascules. Le premier comporte une remise à zéro commune.

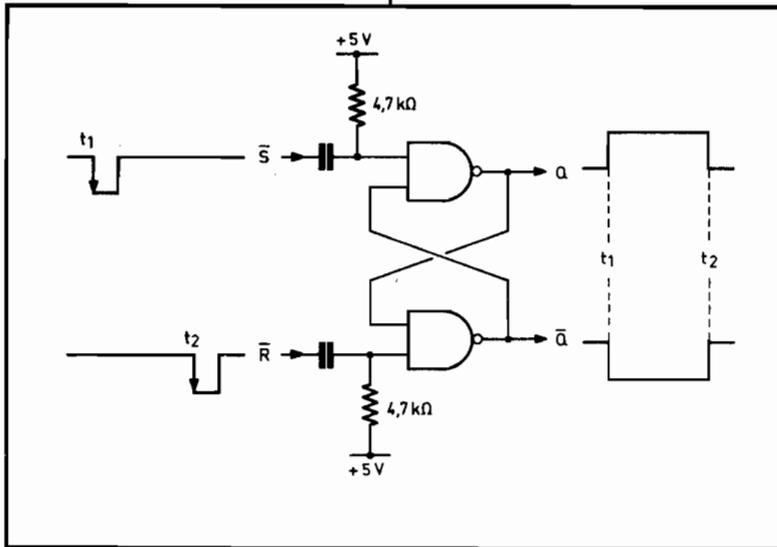
FIGURE 17



Bascule RS équipée de NOR ▲

$Q_n$	S	R	$Q_{n+1}$
0	0	X	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	X	0	1

et sa table de vérité fonctionnelle ▲



### Exercices d'application (fig. 19)

Les bascules sont souvent associées à des portes logiques. Nous vous proposons de trouver le signal de sortie de trois montages recevant deux suites de signaux en parallèle. Ces schémas comportent un inverseur permettant de résoudre le problème d'indétermination. Les signaux Q vous seront donnés le mois prochain avec quelques explications (les entrées des bascules sont marquées S et R, elles agissent quand on leur fait prendre le niveau 1).

### Solution des exercices sur le diagramme de Karnaugh

Il s'agissait d'abord de représenter l'expression  $X = \bar{A} + A\bar{B}C + BC$ . Puisque nous avons trois variables (ABC), le tableau comporte  $2^3$ , soit 8 cases (fig. 20a).

Il fallait ensuite simplifier l'expression  $X = \bar{A}BCD + \bar{B}C + AD$ . La solution est  $X = AD + BC$  (fig. 20b).

Il était ensuite demandé de donner l'équation représentée par le diagramme de Karnaugh de la figure 20c. La réponse est :  $X = BCD$ . **J.-B. P.**

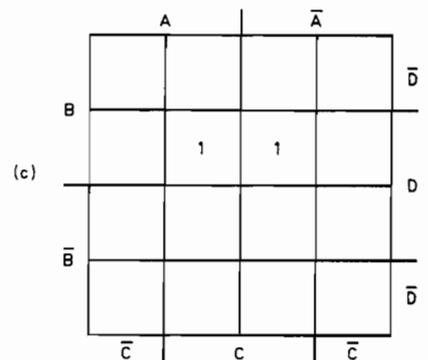
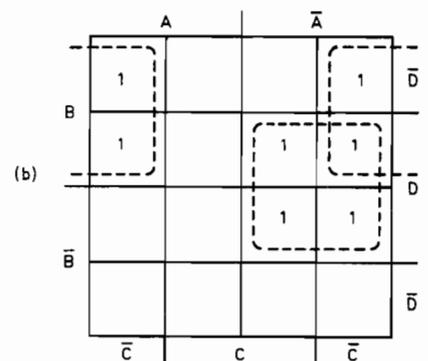
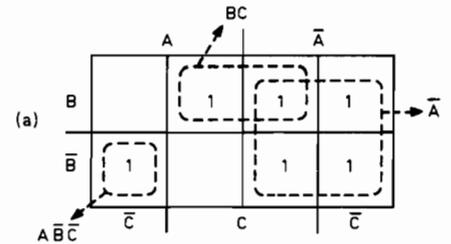


FIGURE 20 - Voir texte.

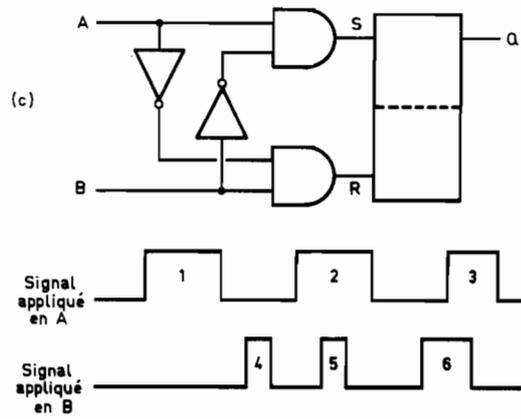
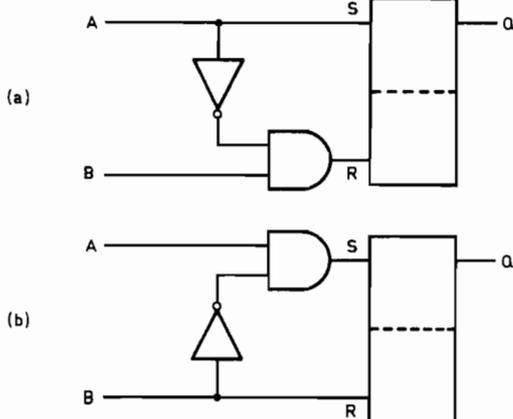


FIGURE 19 - Exercices d'application sur les bascules RS (voir texte).