



LOGIQUE SEQUENTIELLE : LES BASCULES

Objectifs

- ☐ Construire et analyser le fonctionnement de bascules latch à base de portes NOR et NAND
- ☐ Décrire la différence entre les systèmes asynchrones et synchrones
- ☐ Comprendre le fonctionnement de bascules RSH
- ☐ Faire la synthèse de bascules synchrones et reconnaître leurs symboles associés
- ☐ Dessiner le chronogramme de systèmes constitués de plusieurs types de bascules



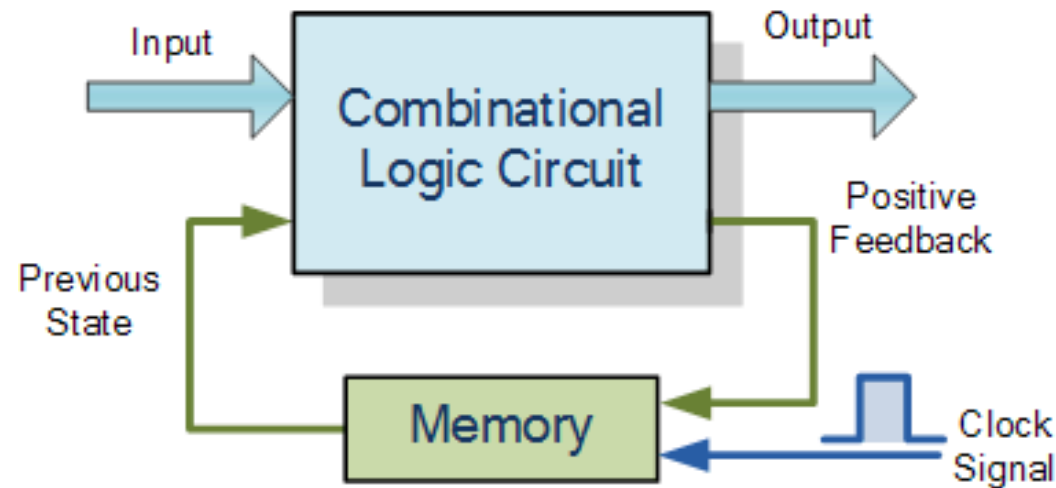
Les circuits logiques combinatoires n'ont pas d'éléments de mémorisation, par conséquent, ne peuvent agir que sur l'état présent des entrées du système. L'absence de mémoire restreint l'usage de circuits combinatoires que pour certaines types d'applications.

Les circuits logiques séquentiels sont caractérisés par l'utilisation d'éléments de mémorisation. Les circuits séquentiels trouvent ainsi leurs applications dans les compteurs, les registres, les SRAM, les CPU, les générateurs de séquences, les convertisseurs parallèle-série...

Les méthodes d'analyse et de synthèse de systèmes séquentiels impliquent des conventions, des hypothèses, un formalisme et des algorithmes, qui diffèrent de ceux des systèmes combinatoires.

► *Structure générale*

Un circuit est dit séquentiel lorsque ses sorties dépendent à la fois de ses variables d'entrées et de l'état antérieur de ses sorties. On passe dans le domaine de la logique séquentielle quand le temps intervient.

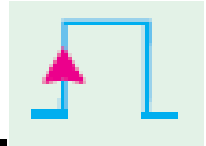
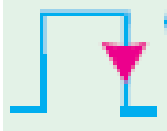


Ce type de circuit contient nécessairement au moins un élément de mémoire afin de stocker l'état du circuit.

Un circuit séquentiel peut donc être :

- ▶ **Asynchrone** : la sortie peut changer d'état à tout moment en fonction des grandeurs d'entrées.
- ▶ **Synchrone** : le changement d'état du système est conditionné par autorisation donnée par un signal de synchronisation appelé aussi "signal d'horloge".

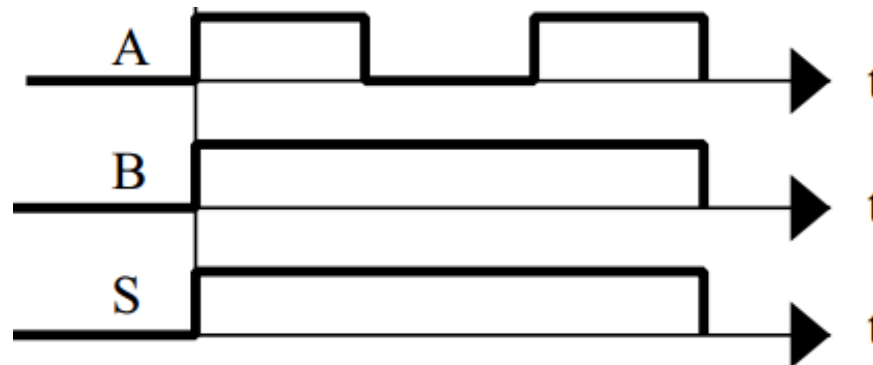
Signal de contrôle CLK :

- ▶ Pour la synchronisation sur un **front montant**, la commande n'a lieu que lors de la transition d'un état 0 à 1, symbolisée par 
- ▶ Pour la synchronisation sur un front **descendant**, la commande n'a lieu que lors de la transition d'un état 1 à 0, symbolisée par 

► Chronogramme

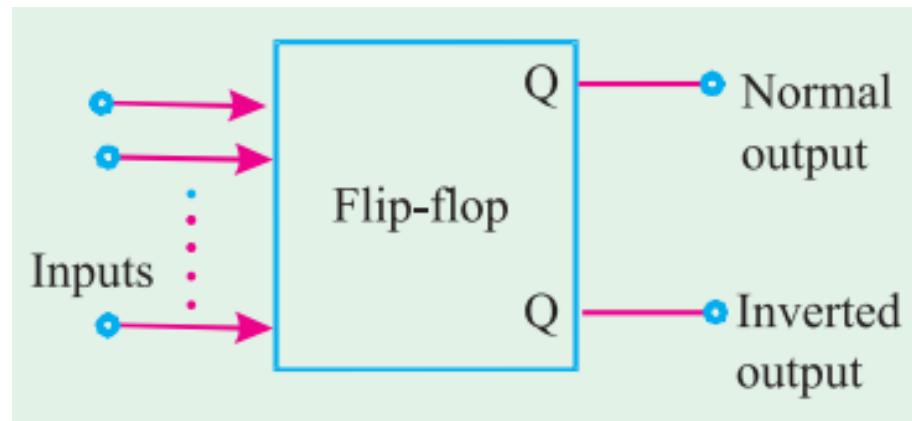
Pour représenter une fonction logique, nous avons vu les équations logiques, les tables de vérité et les tableaux de Karnaugh. Ces représentations sont suffisantes en logique combinatoire mais n'intègrent pas la notion de temps et ne permettent donc pas de visualiser facilement des systèmes où le temps intervient de façon essentielle. C'est pourquoi on adopte plutôt les chronogrammes : ils consistent à dessiner un graphique sur lequel le temps sera représenté en abscisse et le niveau logique en ordonnée.

- *Chronogramme porte OR*



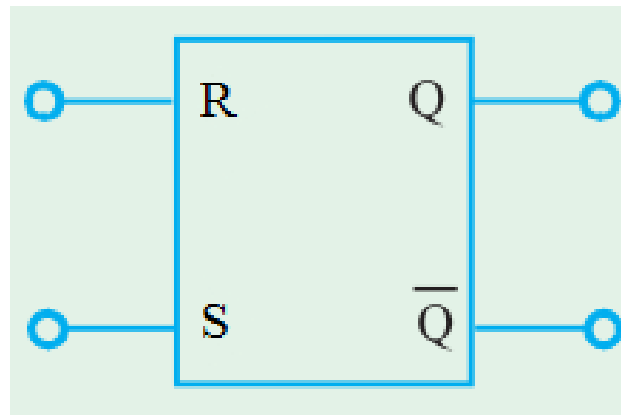
► **Basculer**

Une bascule est un opérateur susceptible de basculer, c'est-à-dire de changer d'état ('0' ou '1') sur commande et de conserver cet état jusqu'à l'apparition d'une nouvelle commande. Son rôle consiste donc à mémoriser une information. Les bascules sont les éléments de base des systèmes séquentiels. Le schéma synoptique général est donné par la figure suivante :



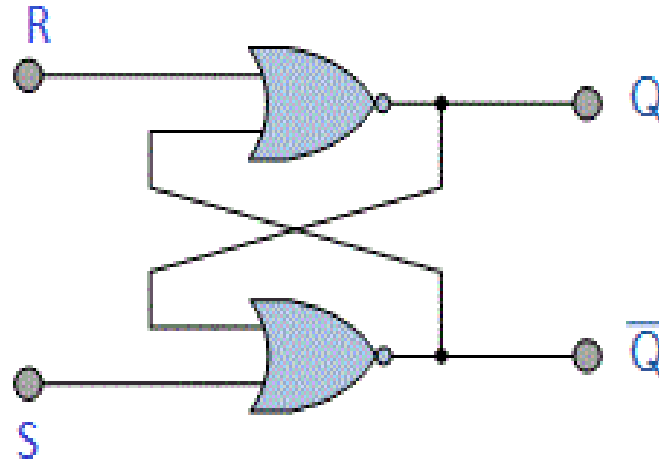
1. Bascules RS-latch

La bascule RS, asynchrone, est la première évolution du circuit mémoire à base d'inverseurs. Il a deux entrées de commande **R** (Reset) et **S** (Set), la valeur mémorisée est accessible sur la sortie **Q**. Le symbole d'une bascule RS est donnée par la figure suivante :



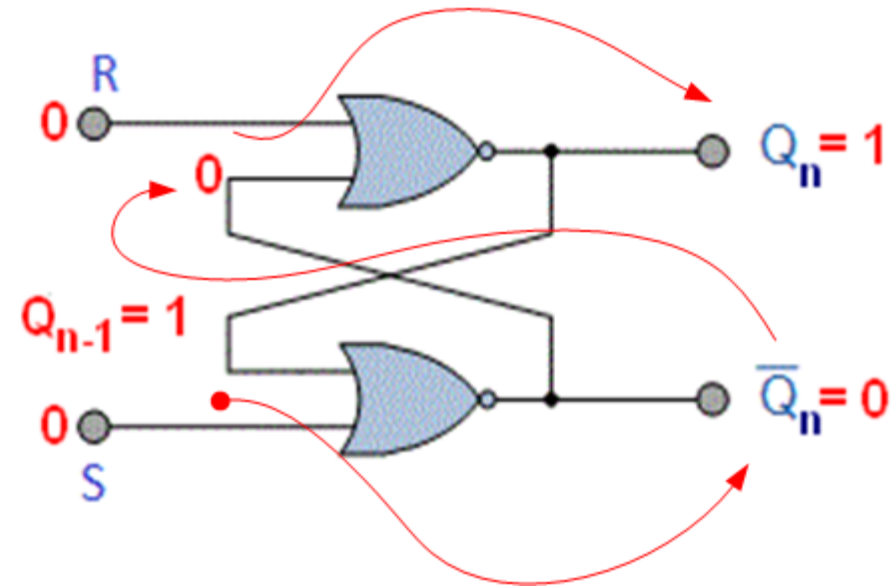
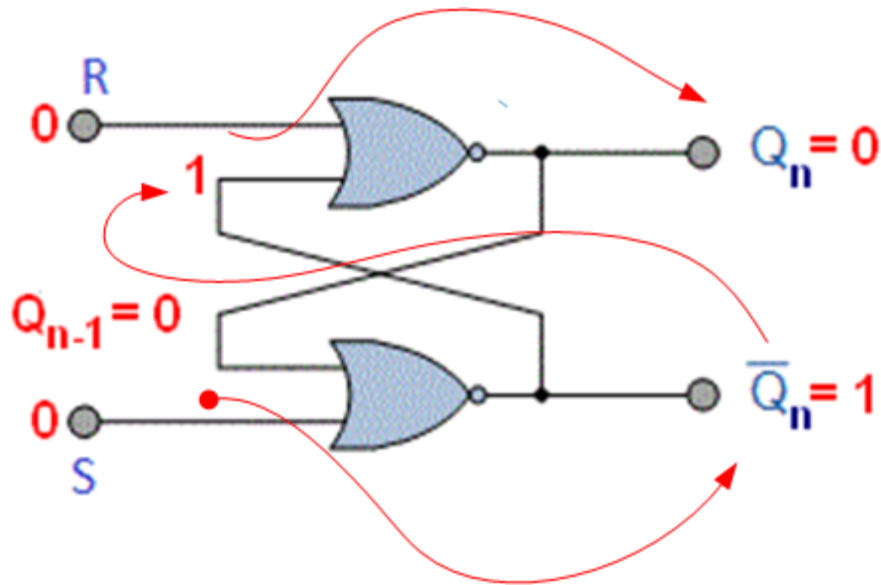
- On peut donner tous les états possibles de la sortie **Q** en fonction des états des entrées **R** et **S**.

Nous travaillerons avec une bascule RS constituée de portes NOR.



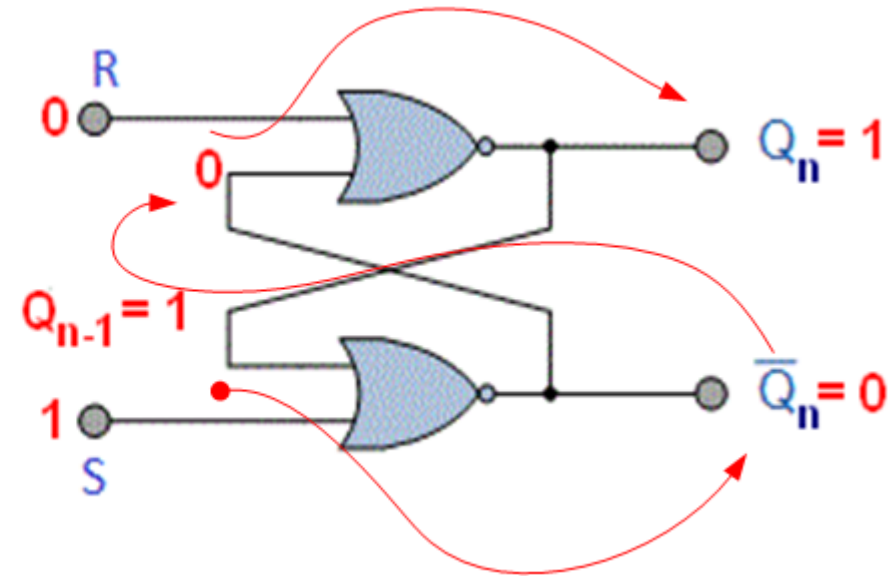
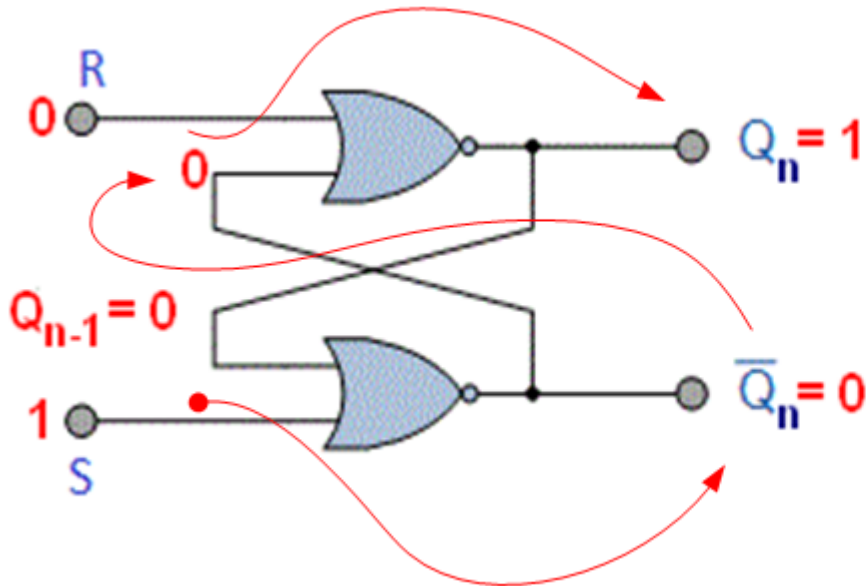
On note Q_{n-1} l'état précédent (passé) du système
 Q_n l'état actuel (présent) du système
 Q_{n+1} l'état suivant (futur) du système

① Si $R = S = 0$



Les états précédents sont maintenus, les sorties restent dans l'état où elles étaient. $Q_n = Q_{n-1} \rightarrow$ on est en mode mémorisation.

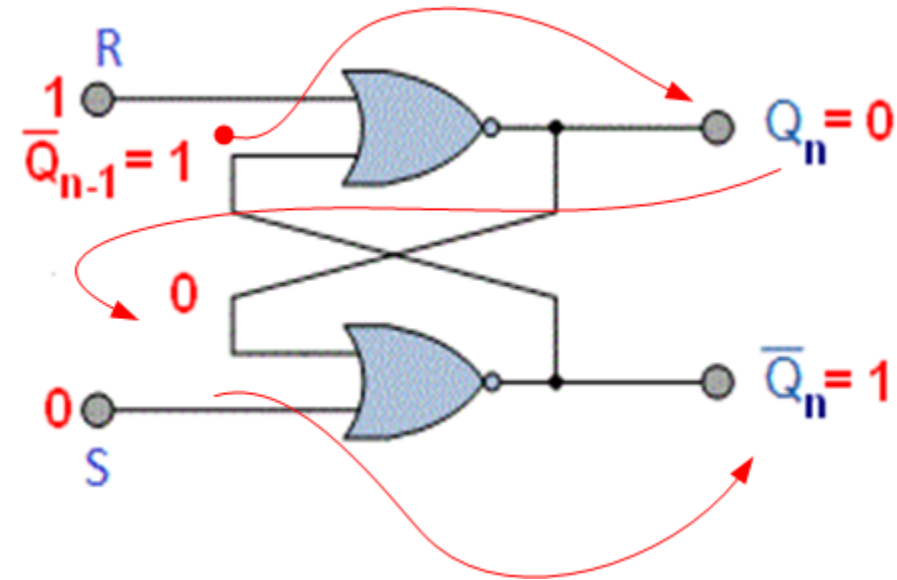
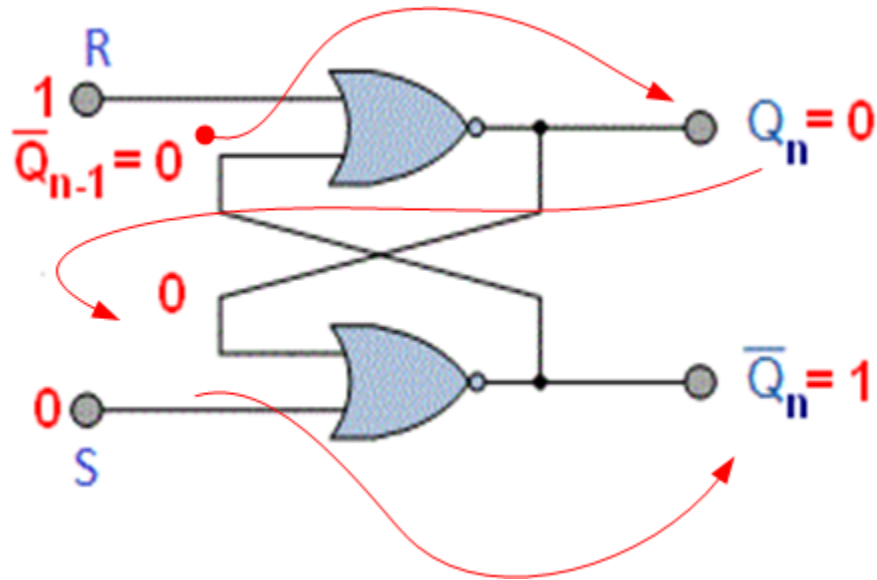
② Si $R = 0$ et $S = 1$



L'état de Q_n est toujours à 1 quel que soit l'état antérieur de ses sorties.

$Q_n = 1 \quad \forall \quad Q_{n-1} \rightarrow$ on est en mode SET (mise à 1).

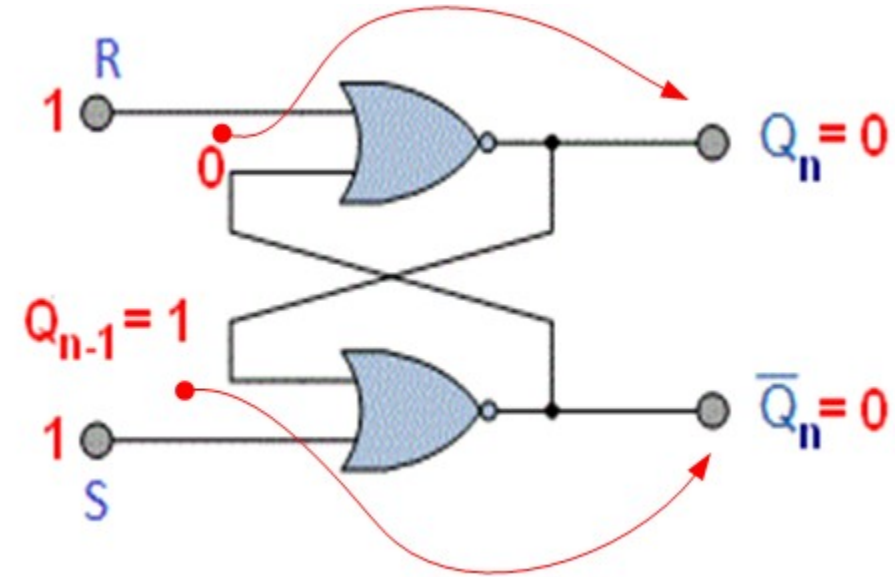
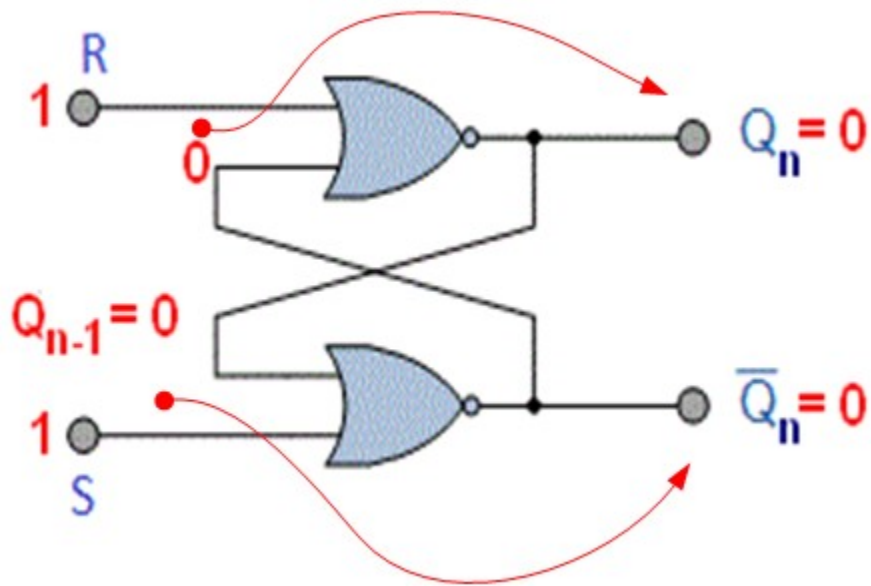
③ Si $R = 1$ et $S = 0$



L'état de Q_n est toujours à 0 quel que soit l'état antérieur de ses sorties.

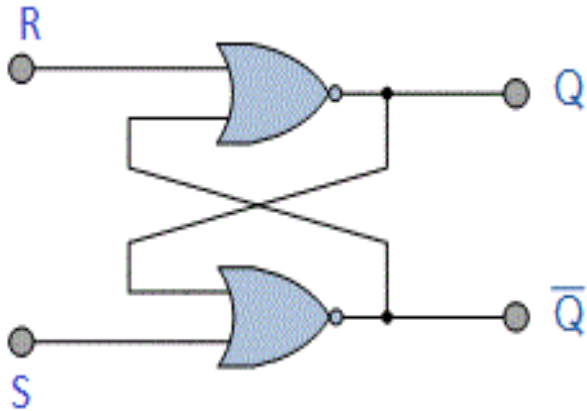
$Q_n = 0 \quad \forall \quad Q_{n-1} \rightarrow$ on est en mode *RESET* (mise à 0).

④ Si $R = 1$ et $S = 1$



L'état de Q_n est identique à l'état \bar{Q}_n ($Q_n = \bar{Q}_n$ contradictoire).
Ce mode est invalide, indéterminé, interdit.

- Table de vérité bascule RS*



R	S	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	\emptyset
1	1	1	\emptyset

- Table de fonctionnement bascule RS

R	S	Q_{n+1}	Mode
0	0	Q_n	Mémorisation
0	1	1	SET : mise à 1
1	0	0	RESET : mise à 0
1	1	\emptyset	Interdit

- Table de vérité réduite bascule RS

R	S	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	\emptyset

- Table de transition bascule RS

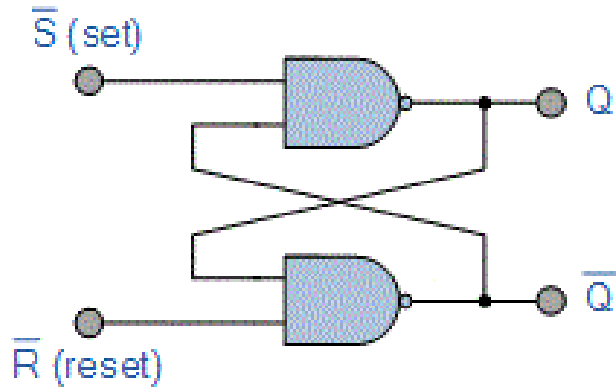
Q_n	Q_{n+1}	R	S
0	0	\emptyset	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	\emptyset

- Equation caractéristique

SQ_n	00	01	11	10
R				
0		1	1	1
1			\emptyset	\emptyset

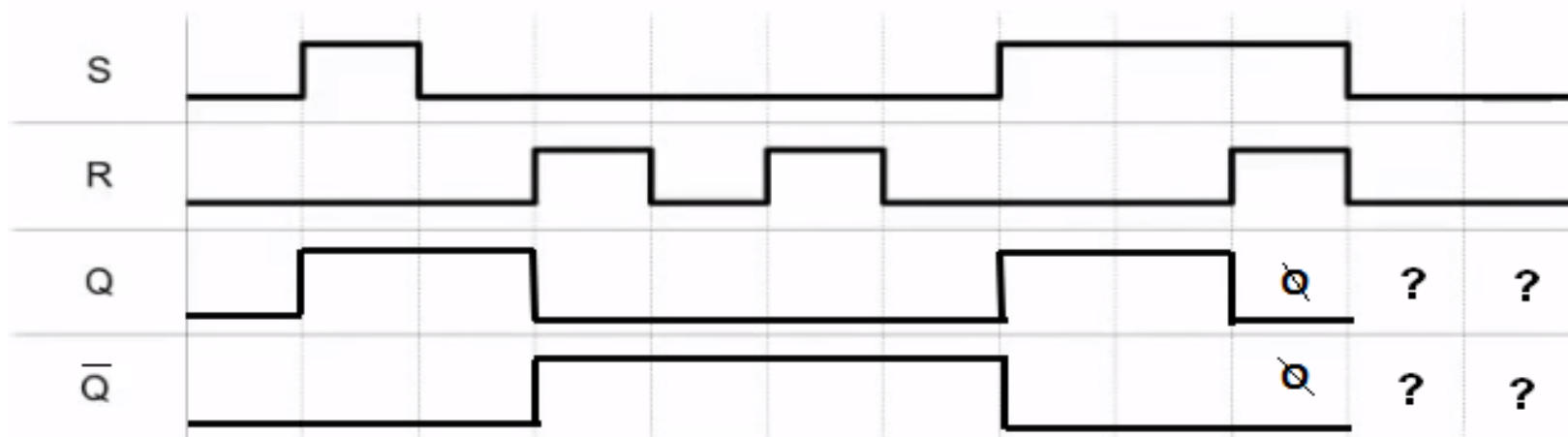
$$Q_{n+1} = S + \bar{R}Q_n$$

- Bascule RS avec porte NAND*



R	S	Q_{n+1}	Mode
0	0	Q_n	Mémorisation
0	1	1	SET : mise à 1
1	0	0	RESET : mise à 0
1	1	\emptyset	Interdit

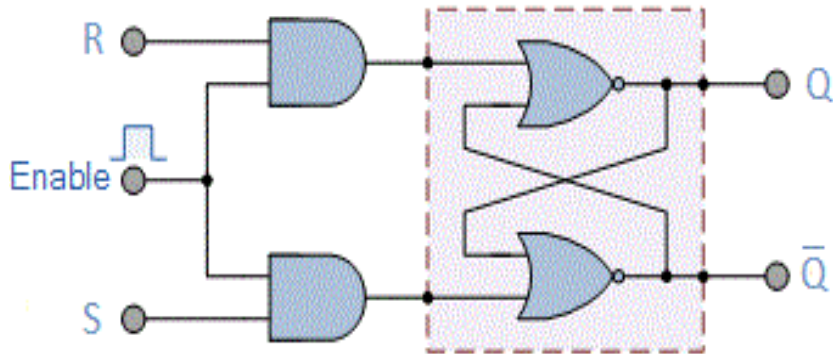
- Application : pour compléter un chronogramme, on s'appuie sur la table de fonctionnement de la bascule*



2. Bascules RSH

Pour ce type de bascule, une troisième entrée (H, Horloge ou EN, Enable) est ajoutée afin que l'état de la bascule ne puisse changer que lorsque une commande appropriée est appliquée sur cette entrée.

Dans l'exemple suivant, la commande d'activation de la bascule est l'état '1'

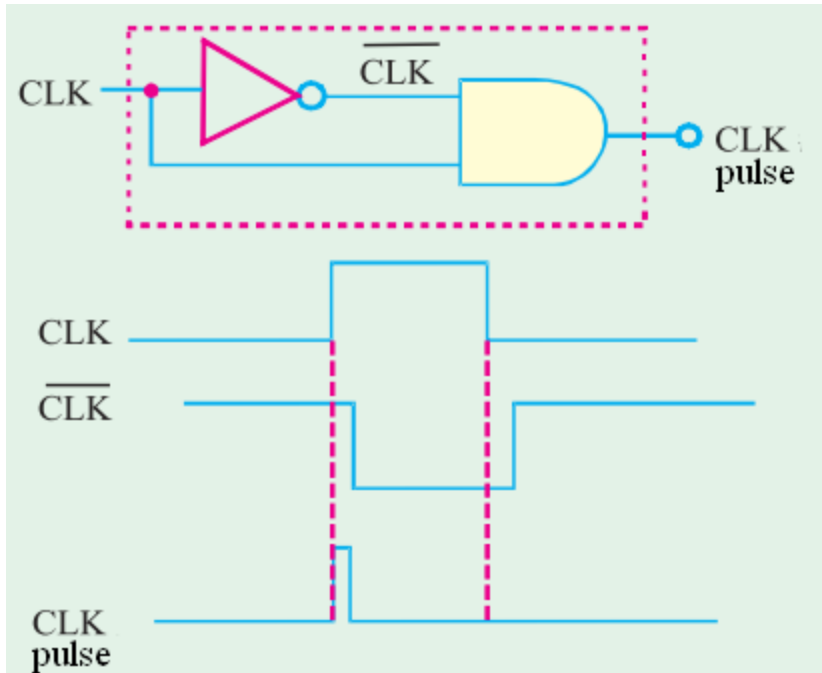


EN	R	S	Q_{n+1}	Mode
0	\emptyset	\emptyset	Q_n	Transparent
1	0	0	Q_n	Mémorisation
1	0	1	1	SET : mise à 1
1	1	0	0	RESET : mise à 0
1	1	1	\emptyset	Interdit

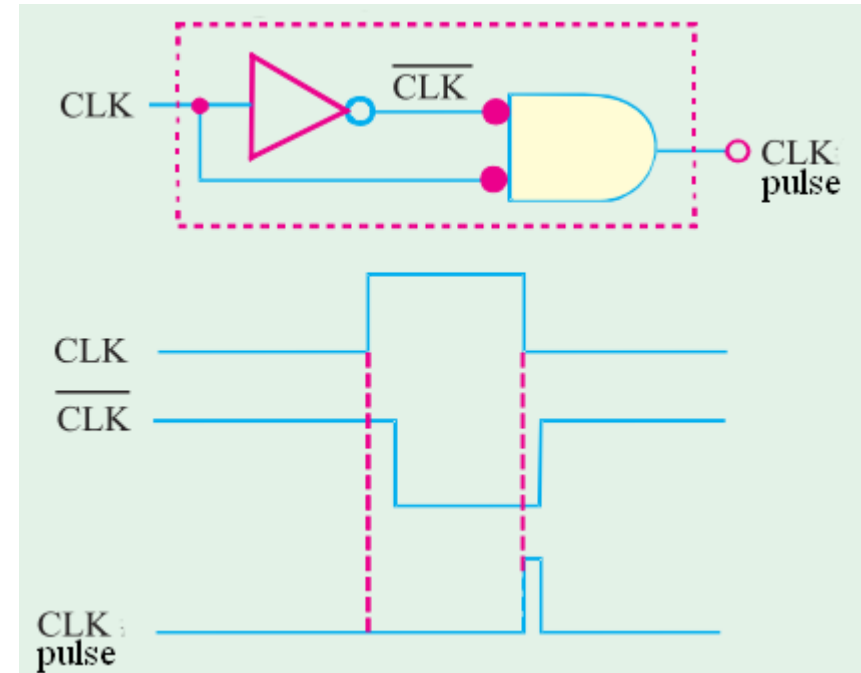
3. Bascules RS synchrone

Ce type de bascule est commandée par une entrée (front) d'horloge.

- Détecteur front montant

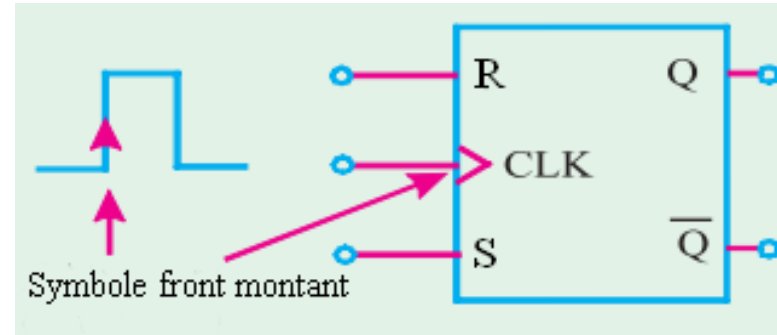


- Détecteur front descendant

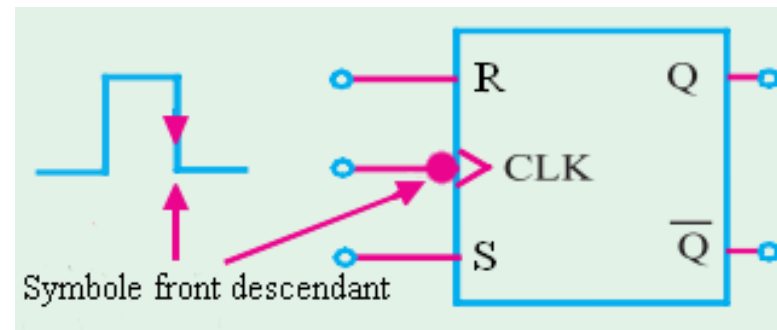


On exploite le retard élémentaire des portes logiques, cependant on peut améliorer ce type de détecteur en utilisant la configuration *maître-esclave*.

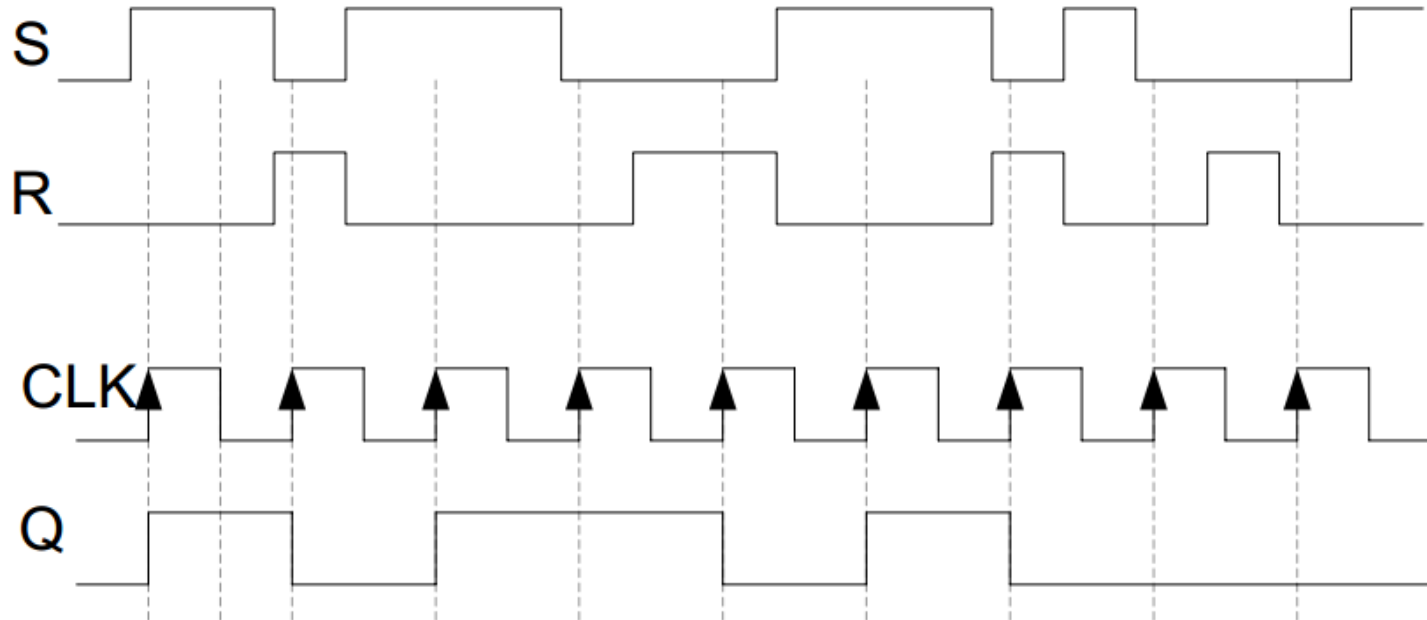
- Pour réaliser une bascule RS à front montant, il suffit d'insérer juste avant l'entrée Enable un détecteur de front montant matérialisé comme suit :



- Pour réaliser une bascule RS à front descendant, il suffit d'insérer juste avant l'entrée Enable un détecteur de front descendant matérialisé comme suit :



- *Application: chronogramme d'une bascule RS synchrone au front montant.*
La bascule ne change pas d'état sauf pendant un bref instant, juste au moment où l'entrée d'horloge passe de 0 à 1.





4. *Synthèse de bascules*

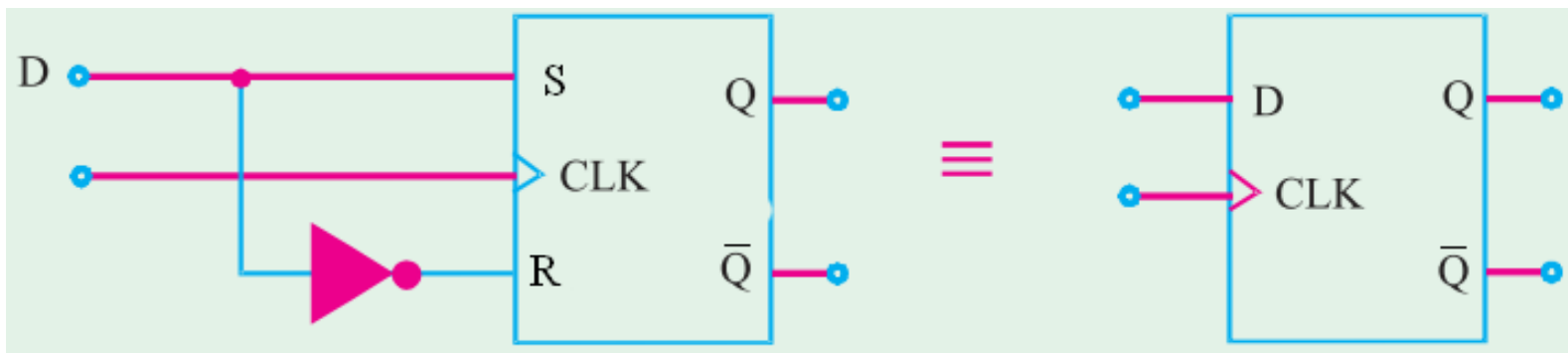
En dehors des bascules RS qui peuvent être synchrones ou asynchrones, toutes les bascules que nous allons voir par la suite seront forcément des bascules synchrones. La synthèse se fera à partir de la bascule RS synchrone.

► **Bascule D**

Ce type de bascule est très utilisée dans les mémoires intermédiaires situées à l'entrée des divers organes des microprocesseurs.

- Synthèse de la bascule D

La bascule D est une bascule RS dont le complément de S est relié à R. Cette bascule a une seule entrée, nommée D.



- Equation caractéristique de la bascule D

En partant de l'équation de la bascule RS : $Q_{n+1} = S + \bar{R}Q_n$

On pose : $D = S = \bar{R}$ alors $Q_{n+1} = D_n + D_n Q_n = D_n(1 + Q_n)$

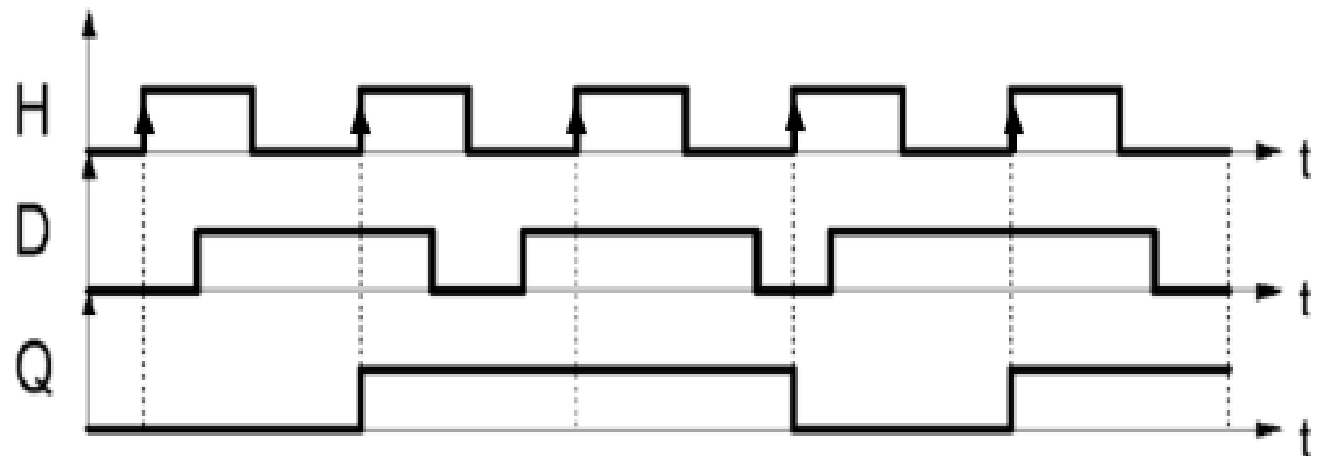
d'où $Q_{n+1} = D_n$

La sortie Q recopie l'état de l'entrée D en fonction du mode de synchronisation.

- Table de fonctionnement

D	CLK	Q_{n+1}
0	↑	0
1	↑	1

- Chronogramme

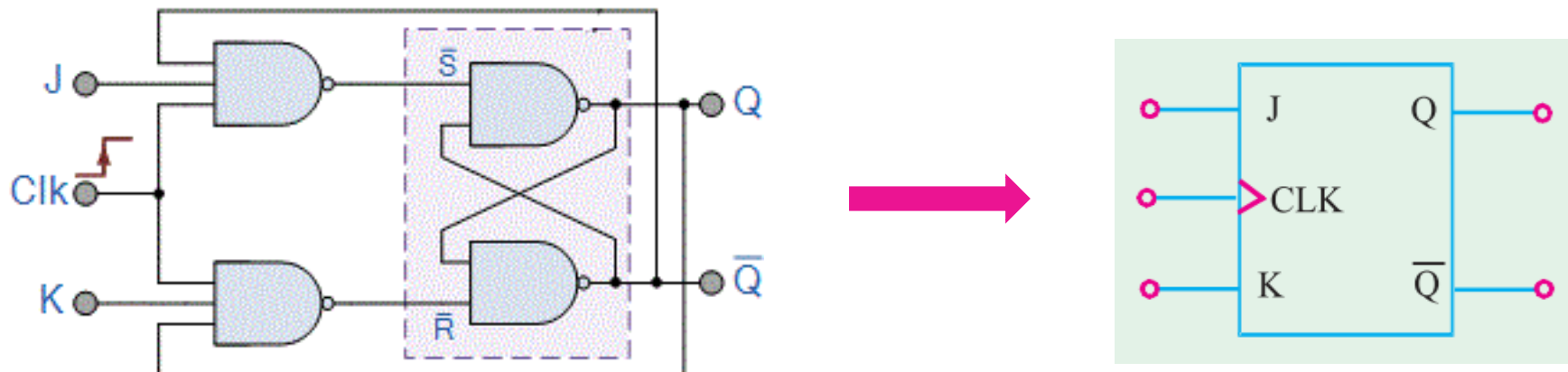


► Bascule JK

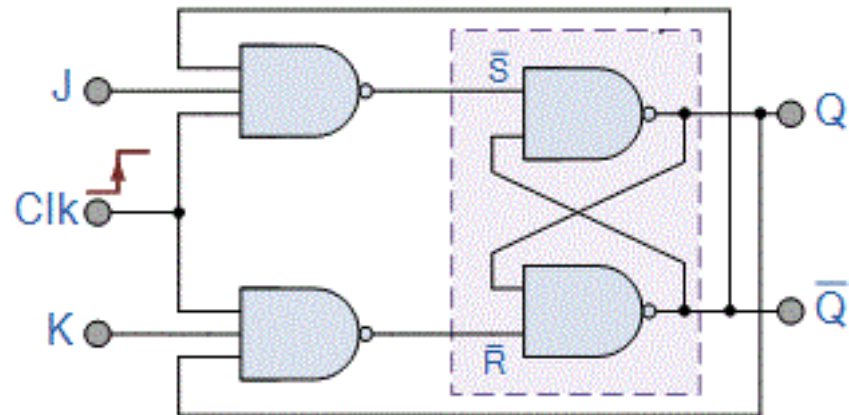
La bascule JK est une bascule qui permet de lever l'état interdit de la bascule RS en remplaçant cet état interdit par un état complémenté. Ce type de bascule est très utilisée dans les circuits numériques.

- Synthèse de la bascule JK

La bascule JK est une bascule RS dont les sorties Q_n et \bar{Q}_n sont utilisées comme rétroaction sur les portes NAND de la bascule RSH.



- Table de vérité bascule JK*



J	K	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

- *Table de fonctionnement bascule JK*
- *Table de transition bascule JK*

J	K	Q_{n+1}	Mode
0	0	Q_n	Mémorisation
0	1	0	RESET : mise à 0
1	0	1	SET : mise à 1
1	1	\bar{Q}_n	Bascullement

Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	\emptyset
0	1	1	\emptyset
1	0	\emptyset	1
1	1	\emptyset	0

Les 3 premières lignes de la table de fonctionnement correspondent bien à une bascule RS mais la dernière ligne ($J=K=1$) introduit un mode supplémentaire (bascullement, inversion) qui sera très utilisé pour réaliser les compteurs asynchrones que nous verrons plus loin.

- *Equation caractéristique*

En partant de l'équation de la bascule RS : $Q_{n+1} = S + \bar{R}Q_n$

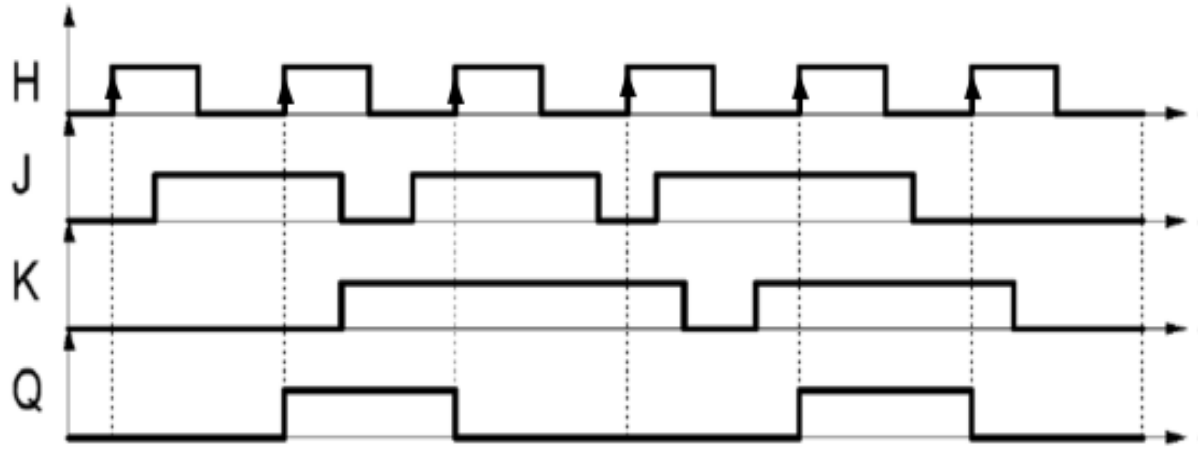
On pose : $S = J\bar{Q}_n$ et $R = KQ_n$

alors $Q_{n+1} = J\bar{Q}_n + \overline{KQ_n}Q_n = J\bar{Q}_n + (\bar{K} + \bar{Q}_n)Q_n$

d'où $Q_{n+1} = J\bar{Q}_n + \bar{K}Q_n$

NB: on peut également utiliser la table de Karnaugh pour déterminer l'équation caractéristique

- Chronogramme bascule JK

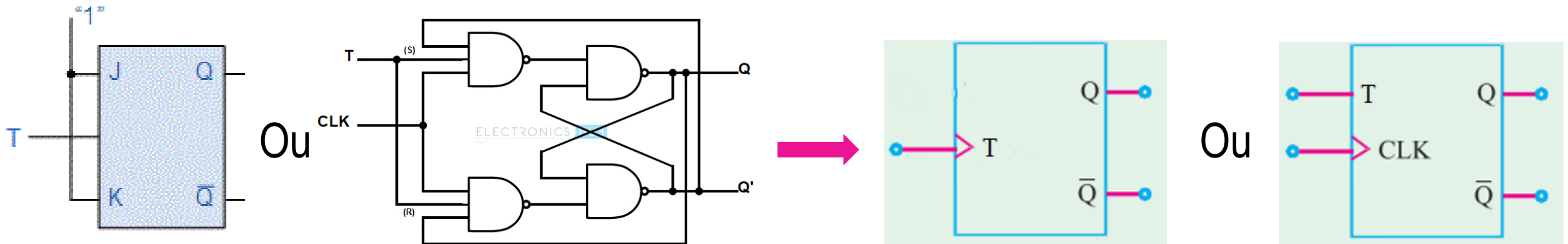


► Bascule T

Ce type de bascule à une seule entrée utilisable uniquement en mode synchrone, et ne fonctionne qu'en commutation i.e. change d'état à chaque front. On l'utilise généralement comme diviseur de fréquence.

- Synthèse de la bascule T

La bascule T est une bascule JK dont les entrées J et K sont au niveau haut ($J=K=1$). On peut également obtenir une bascule T en utilisant les sorties Q_n et \bar{Q}_n comme rétroaction sur les entrées JK ($T = J = \bar{Q}_n$ et $\bar{T} = K = Q_n$).



- *Table de fonctionnement bascule T*
- *Table de vérité bascule T*

T	Q_{n+1}	Mode
0	Q_n	Basculement Commutation
1	\bar{Q}_n	

T	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- *Equation caractéristique*

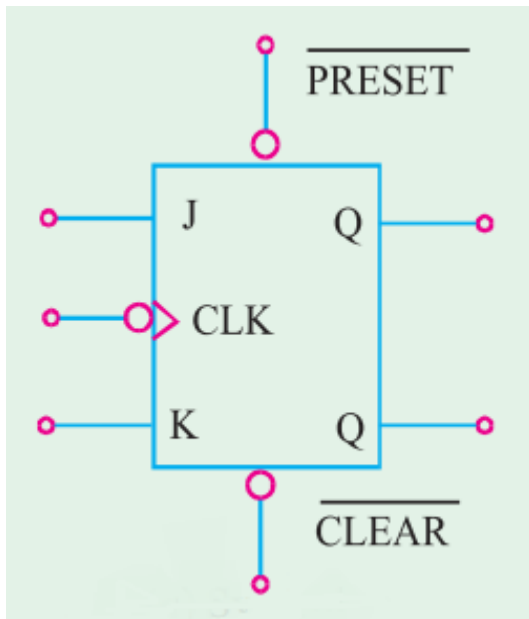
En partant de l'équation de la bascule JK : $Q_{n+1} = J\bar{Q}_n + \bar{K}Q_n$

On pose : $J = K = 1$ alors $Q_{n+1} = \bar{Q}_n$

Ou bien, on pose : $T = J = \bar{Q}_n$ et $\bar{T} = K = Q_n$ alors $Q_{n+1} = T \oplus Q_n$

► Entrées de forçage ou asynchrones

La majeure partie des bascules possèdent des entrées asynchrones dont leurs actions ont un effet immédiat sur la bascule indépendamment de l'horloge et des entrées synchrones. La bascule peut ainsi être réinitialisée à tout instant grâce aux entrées **Preset** et **Clear**.



$\overline{\text{PRESET}}$	$\overline{\text{CLEAR}}$	Mode
0	0	Invalid
0	1	SET : mise à 1
1	0	RESET : mise à 0
1	1	Synchrone