



République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Institut Supérieur d'Informatique et des Mathématiques
de Monastir
Université de Monastir



Cours: Systèmes Logiques et Architecture des Ordinateurs

Dr. Safa Teboulbi

Année universitaire : 2024-2025



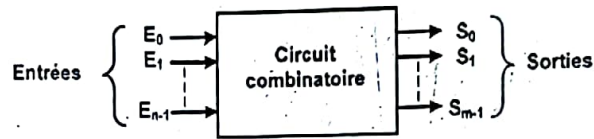
Chapitre 5

Logique Séquentielle

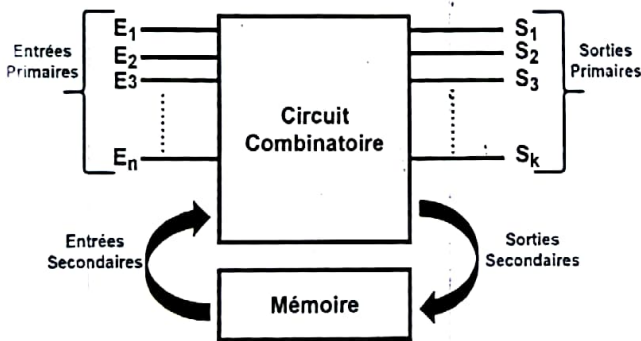
Introduction

Rappel sur les circuits combinatoires

Dans un système combinatoire, les sorties ne dépendent que de l'état des entrées à un instant donné.



Les circuits séquentiels



La fonction de sortie des systèmes séquentiels dépend en plus des états des entrées (appelées entrées primaires) des états antérieurs des sorties (appelées entrées secondaires).

On dit que le circuit séquentiel possède une fonction mémoire.

1

❖ Les systèmes séquentiels sont classés en 2 catégories :

➤ Circuits séquentiels asynchrones

Dans les circuits séquentiels asynchrones, les sorties changent d'états dès qu'il y a changements des états des entrées.

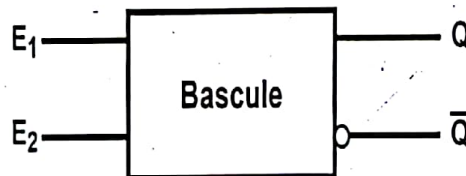
➤ Circuits séquentiels synchrones

Dans ce type de circuits, les sorties changent d'états après avoir eu une autorisation d'un signal de synchronisation appelé souvent signal « Horloge » noté H ou CLK.

2

Les Bascules Asynchrones


- ❖ La bascule est le circuit de mémorisation le plus répandu.
- ❖ Elle est un système séquentiel constitué par une ou deux entrées et deux sorties complémentaires.



- ❖ On l'appelle ainsi « bascule bistable » car elle possède deux états stables.
- ❖ On distingue 4 types de bascules : RS, D, JK, et T.

3

Bascule RS

Symbole	Explication
	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <p>← S</p> <p>→ R</p> </div>  </div> <p>Une impulsion sur S (set) → Mise à 1 de Q (marche)</p> <p>Une impulsion sur R (Reset) → Mise à 0 de Q (Arrêt)</p>

4

Table de vérité

Entrées			Sorties		Mode de fonctionnement
R	S	Q_n	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}	
0	0	0	0	1	Etat précédent
0	0	1	1	0	Etat précédent
0	1	0	1	0	Enclenchement
0	1	1	1	0	Maintien à 1
1	0	0	0	1	Maintien a 0
1	0	1	0	1	Déclenchement
1	1	0	-	-	Interdit
1	1	1	-	-	Interdit

Equation de Sortie

Q_{n+1}

$Q_n \backslash RS$	00	01	11	10
0	0	1	\emptyset	0
1	1	1	\emptyset	0

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

Logigramme

À l'aide des portes NAND	À l'aide des portes NOR

REMARQUE :

L'état $R=S=1$ est un état interdit puisqu'il nous donne le deux sorties complémentaires Q et \bar{Q} au même état ce qui n'est pas logique.

Bascule D

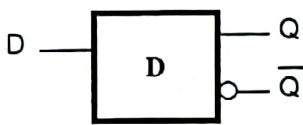
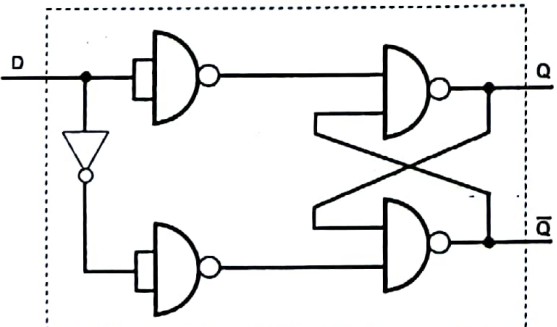
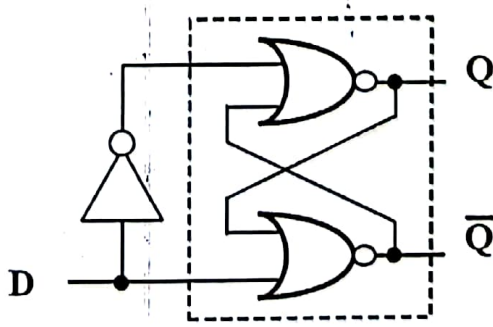
Symbole	Explication
	<p>Un appui sur D → Mise à 1 de Q</p> <p>Un relâchement de D → Mise à 0 de Q</p>

Table de vérité					Equation de Sortie		
Entrées		Sorties		Mode de Fonctionnement	Q_{n+1}		
D	Q_n	Q_{n+1}	$\overline{Q_{n+1}}$		$Q_n \backslash D$	0	1
0	0	0	1	Maintien à 0: μ_0	0	0	1
0	1	0	1	Déclenchement: δ	0	0	1
1	0	1	0	Enclenchement: ϵ	1	0	1
1	1	1	0	Maintien à 1 : μ_1			

$Q_{n+1} = D$

7

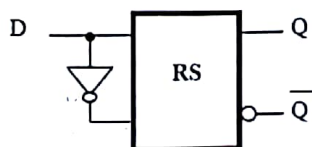
Logigramme

À l'aide des portes NAND	À l'aide des portes NOR
	

REMARQUE :

En mettant $S = D$ et $R = \overline{D}$ dans l'équation de la bascule RS on aura $Q_{n+1} = D Q_n + \overline{D} = D (Q_n + 1) = D$.

On obtient une bascule D en rajoutant un inverseur entre S et R.

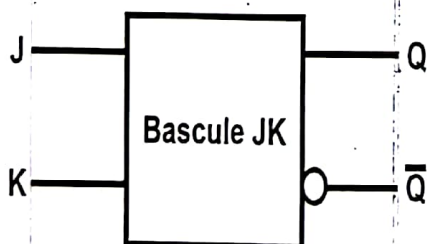


8

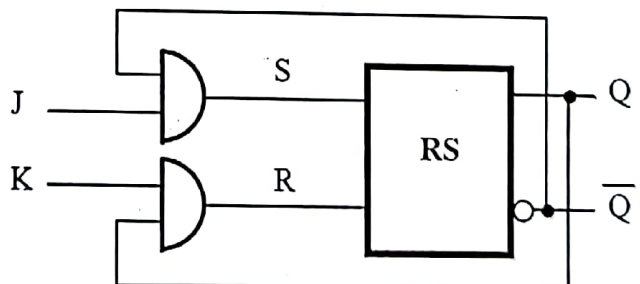
Contrairement à la bascule RS, la condition $J=K=1$, ne donne pas lieu à une condition indéterminée, mais par contre la bascule passe à l'état opposé.

Table de vérité					Equation de Sortie					
Entrées			Sorties		Mode de Fonctionnement	Q_{n+1}				
J	K	Q_n	Q_{n+1}	$\overline{Q_{n+1}}$		$Q_n \backslash JK$	00	01	11	10
0	0	0	0	1	État précédent	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	État précédent		1	1		
0	1	0	0	1	Maintien à 0: μ_0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	1	Déclenchement: δ		1	0	0	1
1	0	0	1	0	Enclenchement: ϵ	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	Maintien à 1: μ_1		0	0	0	0
1	1	0	1	0	Enclenchement: ϵ	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	Déclenchement: δ		0	0	0	0

Symbole



Logigramme



Bascule T

La bascule T est obtenue en reliant les entrées J et K d'une bascule JK.

Table de vérité

Entrées		Sorties		Mode de fonctionnement
T	Q_n	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}	
0	0	0	1	Maintien à 0 : μ_0
0	1	1	0	Maintien à 1 : μ_1
1	0	1	0	Enclenchement : ε
1	1	0	1	Déclenchement : δ

Equation de Sortie

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

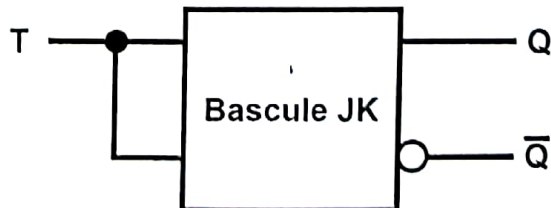
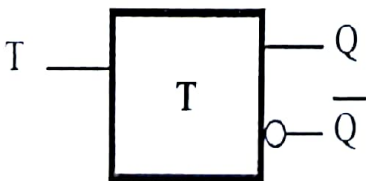
$$Q_{n+1} = \bar{T}Q_n + T\bar{Q}_n = T \oplus Q_n$$

11

REMARQUE :

En remplaçant J et K par T dans l'équation de la bascule JK on aura :

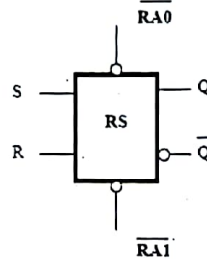
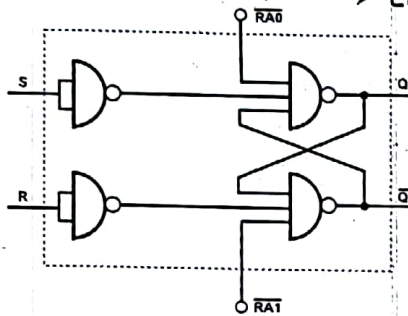
$$Q_{n+1} = \bar{T}Q_n + T\bar{Q}_n = T \oplus Q_n$$



12

Forçage des Bascules

- ❖ Certaines bascules sont équipées par des entrées particulières :
 - Entrée de remise à 1 : PRESET (RA1).
 - Entrée de remise à 0 : RESET (RA0).



✓ On applique le même raisonnement pour les bascules D, T et JK.

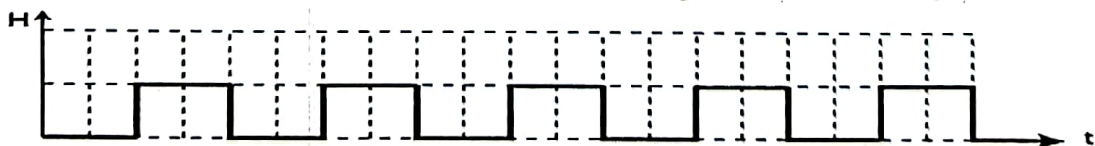
Table de vérité

Entrées		Sorties		Mode de fonctionnement
PRESET	CLEAR	Q_{n+1}	\overline{Q}_{n+1}	
0	0	\emptyset	\emptyset	Interdit
0	1	1	0	Forçage à 1
1	0	0	1	Forçage à 0
1	1	Q_n	\overline{Q}_n	Mémorisation

13

Les Bascules Synchrones

Une bascule est synchrone quand ses sorties ne changent d'état que si un signal supplémentaire est appliqué sur une entrée, dite entrée d'horloge (notée H ou CLK).



Modes d'action du signal d'horloge :

Il existe quatre modes d'actions ou de synchronisation d'horloge connus par les symboles suivants :

Symbole	Désignation
	Niveau Haut
	Niveau Bas
	Front montant
	Front descendant

- On distingue deux familles de bascules :
 - ❑ Bascules à commande par niveau d'horloge (niveau haut ou niveau bas) : On dit que la bascule est commandée de manière statique.
 - ❑ Bascules à commande par front d'horloge (front montant ou front descendant) : On dit que la bascule est commandée de manière dynamique.

14

Bascule synchrone RSH ou RST

- ❖ C'est une bascule RS dont les ordres Set et Reset ne changent l'état de la sortie Q qu'après l'autorisation d'un signal d'horloge H (Clock CLK).
- ❖ Cette technique permet d'immuniser la bascule contre les parasites.

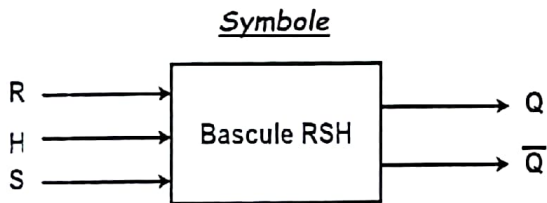


Table de vérité

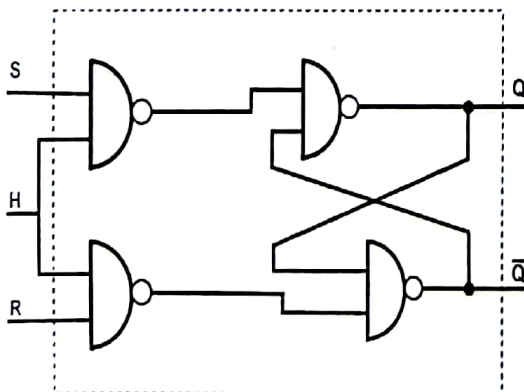
R	S	H	Q_{n+1}
0	0	0	Q
0	1	0	Q
1	0	0	Q
1	1	0	Q
0	0	1	Q
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	1	0

Mémorisation

Valeurs prises par Q_{n+1} quand H passe de 0 à 1.

15

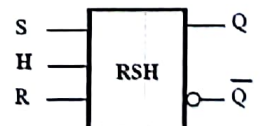
Synchronisation sur niveau haut



□ Si $H=0$: les sorties \bar{S} et \bar{R} sont bloquées à 1 quelque soient R et S, (les entrées sont masquées par rapport aux sorties); la sortie garde l'état précédent.

□ Si $H=1$: la bascule RS fonctionne normalement; les sorties obéissent aux entrées.

- Donc la bascule RS ne fonctionne normalement que si $H=1$ (Niveau Haut).
- Même chose pour les autres bascules.

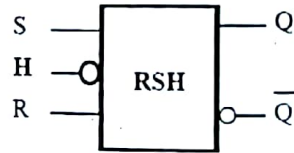
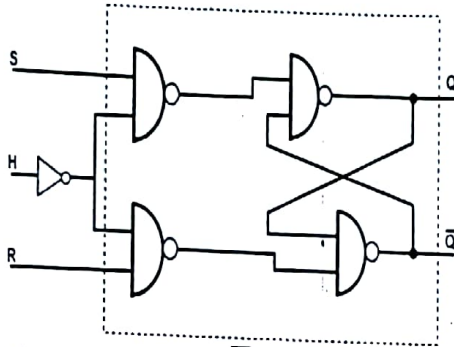


16

Synchronisation sur niveau bas

Dans le niveau bas, c'est l'inverse qui se manifeste :

- Si $H=1$: Q garde l'état précédent.
- Si $H=0$: Fonctionnement normal de la bascule.



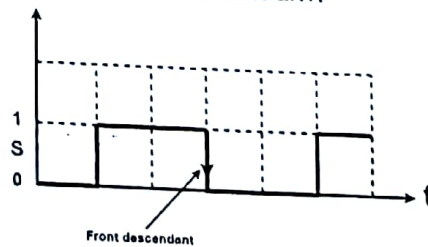
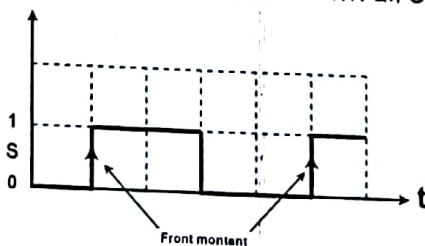
- Si $H=1$: les sorties \bar{S} et \bar{R} sont bloquées à 1 quelques soient R et S , (les entrées sont masquées par rapport aux sorties), la sortie garde l'état précédent.
- Si $H=0$: la bascule fonctionne normalement et les sorties obéissent aux entrées.

- Donc la bascule RS ne fonctionne normalement que si $H=0$ (Niveau bas).
- La bascule synchrone est identique à celle asynchrone.
- Même chose pour les autres bascules.

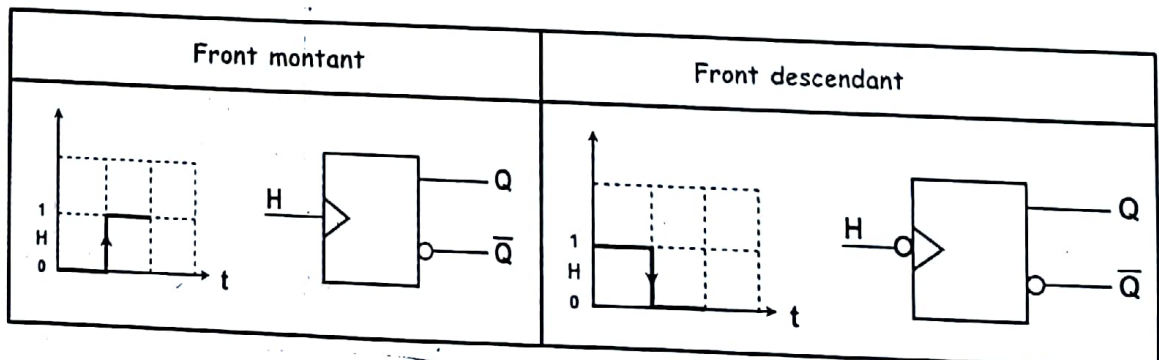
17

Synchronisation sur front

- Une variable logique S peut avoir deux niveaux : le niveau haut (Vrai) ou le niveau logique bas (Faux).
- Quand elle passe du niveau bas vers le niveau haut, elle définit le front montant.
- Dans le cas contraire, elle définit le front descendant.



Symbole



18

❖ La bascule D (Data ou Donnée) est dérivée de la bascule RSH en ajoutant une porte inverseuse entre les entrées Set et Reset pour n'avoir qu'une seule entrée pour fixer le niveau logique à mémoriser.

❖ Avec cette bascule, il n'y a plus de combinaison invalide $S=R=1$.

❖ On distingue deux types de bascules D :

➤ Une bascule D à verrouillage ou bascule D Latch.

C'est une bascule statique synchrone sur le niveau d'horloge dont le fonctionnement est le suivant :

La bascule est transparente tant que le signal d'horloge est au niveau haut.

La sortie Q suit toutes les variations de l'entrée D. Le Latch, est dit transparent.

L'état de la sortie Q est verrouillé (mémoire) tant que le signal d'horloge est au niveau bas.

La sortie Q conserve son état logique. Le Latch, est dit bloqué.

➤ Une bascule D flip-flop.

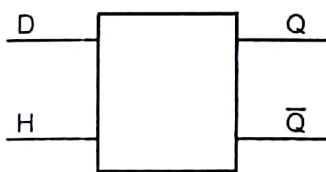
C'est une bascule dynamique synchrone sur le front d'horloge dont le fonctionnement est le suivant :

En présence du front actif de l'horloge, la bascule recopie l'état logique de l'entrée D sur la sortie Q.

En absence du front actif de l'horloge, la bascule mémorise son état logique de la sortie Q.

Bascule D à commande par niveau d'horloge

Symbole :



Logigramme à l'aide des portes NAND :

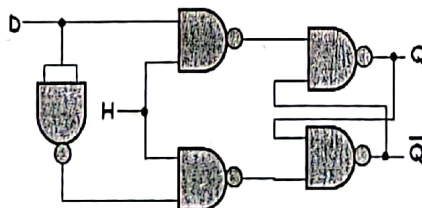
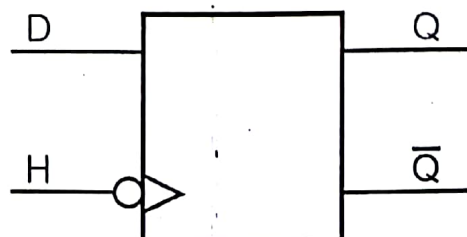
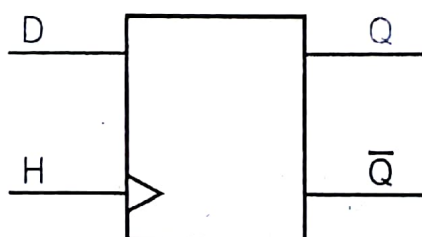


Table de vérité :

D	H	Q_{n+1}	Mode
X	0	Q_n	Mémorisation
0	1	0	Transparent (La bascule recopie la valeur de D sur Q)
1	1	1	

Bascule D à commande par front d'horloge



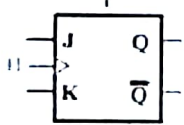
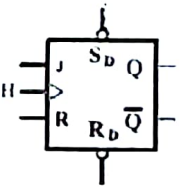
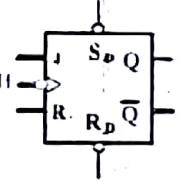
Bascule JK

- ❖ La bascule JK est une bascule synchrone possédant deux entrées de commande:
 - L'entrée de l'enclenchement J qui joue le rôle de l'entrée S de la bascule RSH.
 - L'entrée de déclenchement K qui joue le rôle de l'entrée R de la bascule RSH.
- ❖ En absence du signal d'horloge, la bascule conserve l'état précédant de la sortie Q (mémorisation).
- ❖ Pour la combinaison $J=K=0$, la bascule mémorise l'état de la sortie Q à chaque front actif d'horloge.
- ❖ Lorsque $J=\bar{K}$, la sortie Q recopie l'état de l'entrée J à chaque front actif d'horloge :
 - Pour la combinaison $JK=10$, La sortie Q est mise à 1 à chaque front actif d'horloge.
 - Pour la combinaison $JK=01$, La sortie Q est mise à 0 à chaque front actif d'horloge.
- ❑ À l'action simultanée sur J et K ($J=K=1$), la bascule change d'état à chaque front actif d'horloge.

La bascule JK permet donc de lever l'ambiguïté qui existe pour la combinaison $S=R=1$ de la bascule RSH.

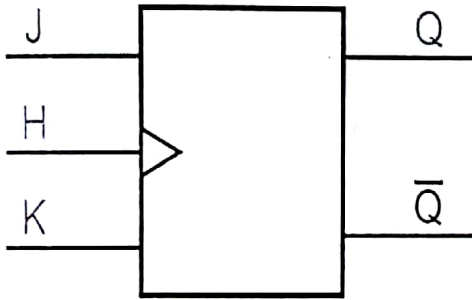
Remarque

Le principe des bascules dynamiques permet de mieux protéger la bascule contre les changements indésirables des entrées.

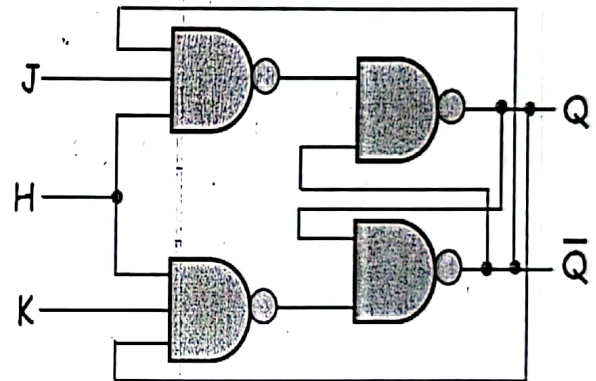
Symbole	Commentaire
	Bascule JK synchrone à front montant
	Bascule JK synchrone à front montant et à commande asynchrone complémentée
	Bascule JK synchrone à front descendant et à commande asynchrone complémentée

Principe de fonctionnement d'une bascule JK synchronisée sur front montant

Symbole :



Logigramme à l'aide des portes NAND :

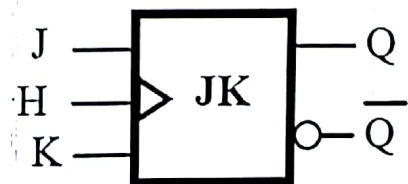


23

Table de vérité

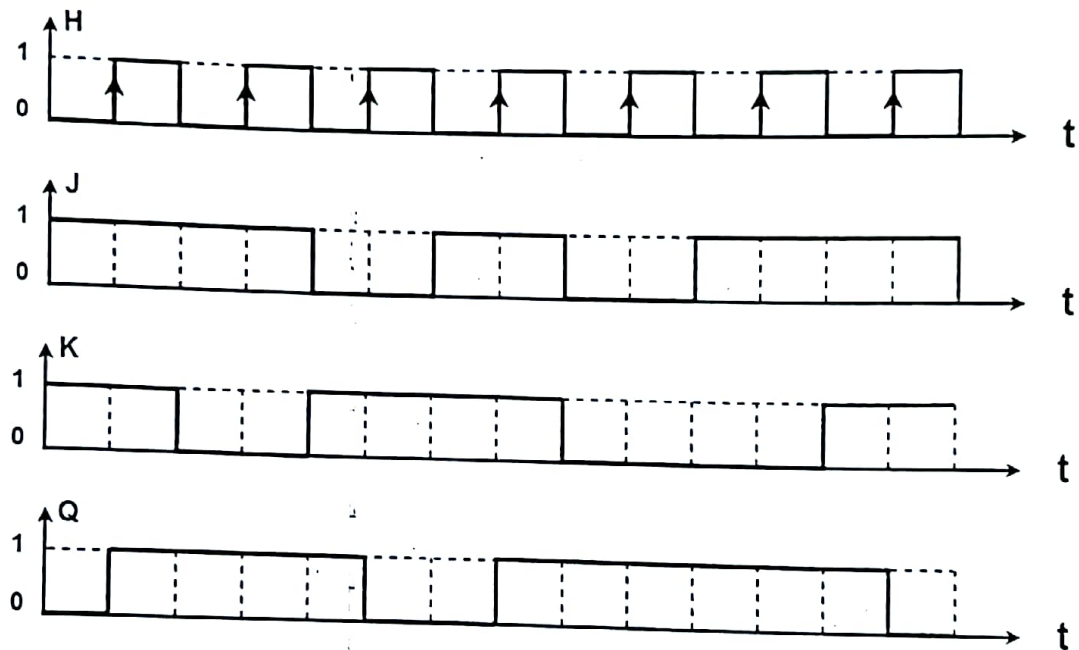
Entrées			Sorties		Mode de fonctionnement
H	J	K	Q_{n+1}	\overline{Q}_{n+1}	
0	x	x	Q_n	\overline{Q}_n	Etat précédent
1	x	x	Q_n	\overline{Q}_n	Etat précédent
↓	x	x	Q_n	\overline{Q}_n	Etat précédent
↑	0	0	Q_n	\overline{Q}_n	Etat précédent
↑	0	1	0	1	Déclenchement : δ
↑	1	0	1	0	Enclenchement : ε
↑	1	1	\overline{Q}_n	Q_n	changement d'état

Symbole



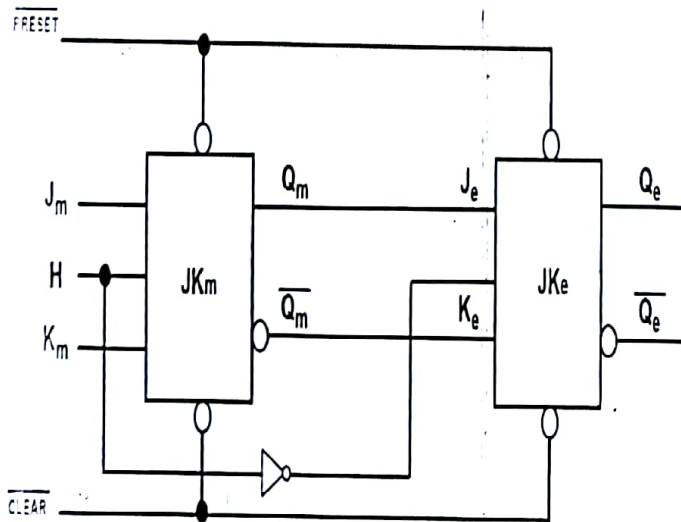
24

Chronogramme :

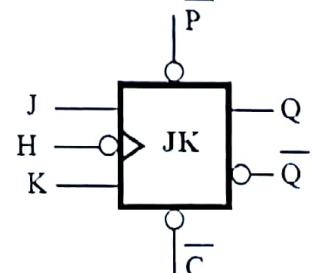


Bascule JK maître esclave

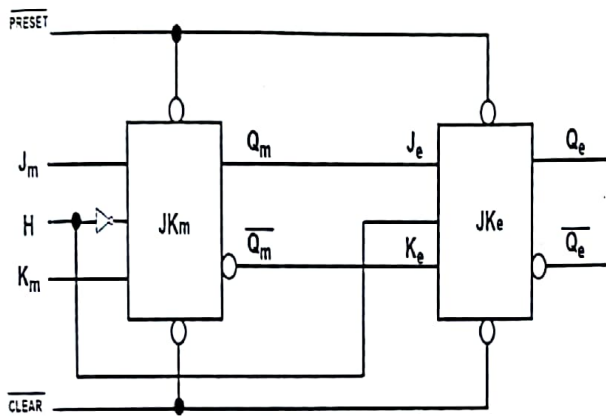
Synchronisation sur Front descendant



Les deux bascules fonctionnent normalement si $\text{PRESET} = \text{CLEAR} = 1$ et si $H=1$ la première bascule fonctionne normalement alors que la deuxième est bloquée et quand $H=0$ la première bascule est bloquée alors que la deuxième fonctionne normalement et les deux bascules ne fonctionnent ensemble qu'au moment de passage de H de 1 à 0 c'est-à-dire au moment du front descendant (\downarrow).

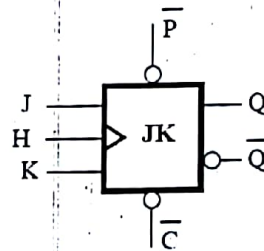


Synchronisation sur Front montant



Les deux bascules fonctionnent normalement si $\overline{\text{PRESET}} = \overline{\text{CLEAR}} = 1$ et si $H=0$ la première bascule fonctionne normalement alors que la deuxième est bloquée et quand $H=1$ la première bascule est bloquée alors que la deuxième fonctionne normalement et les deux bascules ne fonctionnent ensemble qu'au moment de passage de H de 0 à 1 c'est-à-dire au moment du front montant (\uparrow).

Donc toute bascule maître esclave dont le maître travaille sur le niveau bas et l'esclave travaille sur le niveau haut est une bascule synchronisée sur front montant.



27

Résumé

Synchronisation sur niveau haut	Synchronisation sur niveau Bas	Synchronisation sur front montant	Synchronisation sur front descendant

28



La bascule T est une bascule synchrone possédant une seule entrée de commande T (Timing).

- ❖ La sortie Q de la bascule T change d'état à chaque front actif de l'horloge.
- ❖ En absence du signal d'horloge, la bascule conserve l'état précédant de la sortie Q (mémorisation).
La bascule T est l'un des éléments constitutifs de certains compteurs.

Symbole :

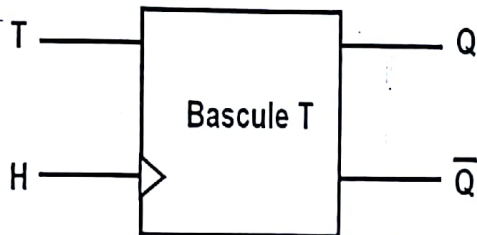


Table de vérité :

H	T	Q_+	\overline{Q}_+	observation
0/1	X	Q	\overline{Q}	Etat mémoire
↑	0	Q	\overline{Q}	Mémorisation
↑	1	\overline{Q}	Q	Basculement