



Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul  
Département Technologies de l'Informatique

*Support de cours*

# CIRCUITS NUMÉRIQUES

Niveau : SEM-2

*Elaboré par*

***Azzouna Ahmed***

---

*Année Universitaire 2019 – 2020*

---

## SECTION 2 :

# ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SYSTÈMES SÉQUENTIELS (REGISTRES & COMPTEURS)

# LES REGISTRES

---

## *Définition*

**Définition 1 :** Un registre est un élément logique capable de mémoriser une information ou de transférer cette information à un autre élément.

**Définition 2 :** Un registre est un ensemble de cases ou cellules mémoire capables de stocker une information.

Nous pouvons rencontrer deux types de registres :

- Registre à mémoire.
- Registre à décalage.

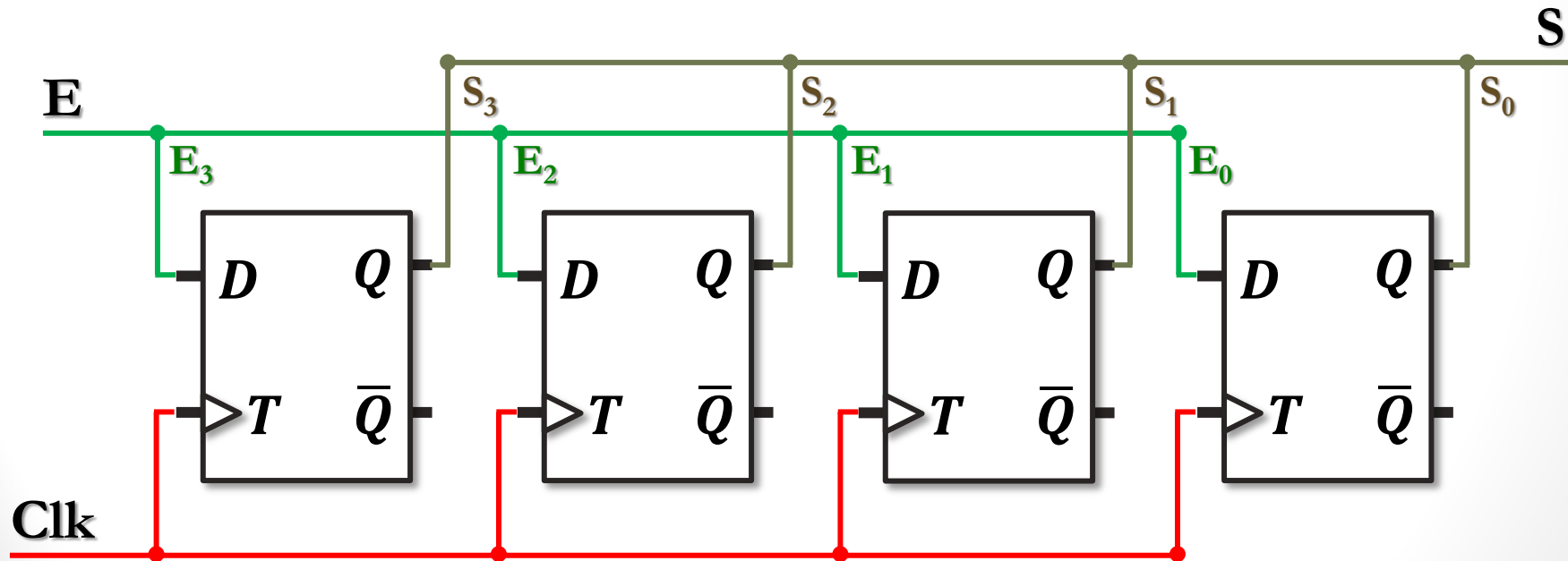
Ces deux types de registres sont composés d'éléments reliés en cascade. Dans le système binaire, une case mémoire est une bascule. Un registre est donc un ensemble ordonné de bascules.

# LES REGISTRES : REGISTRES À MÉMOIRE

## *Définition*

Le registre à mémoire est une cascade de bascules capables de mémoriser un mot binaire de plusieurs bits.

## Exemple de réalisation à l'aide des bascules D

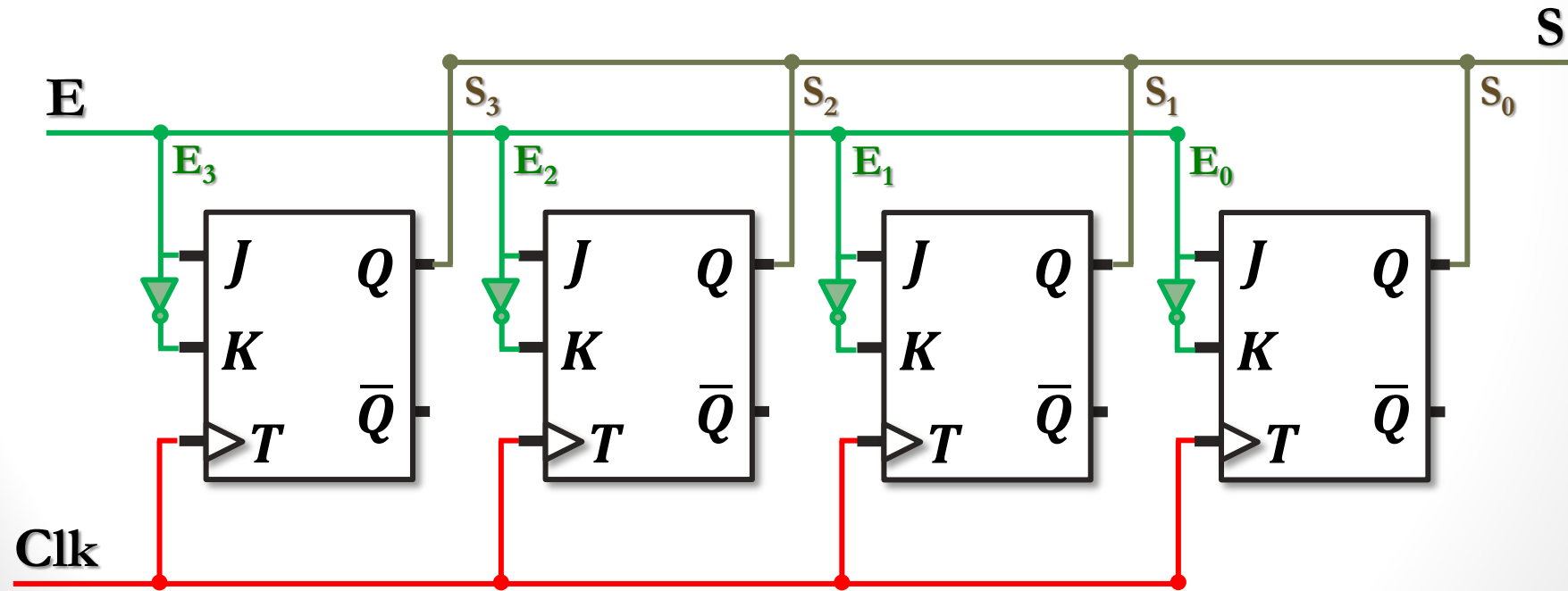


# LES REGISTRES : REGISTRES À MÉMOIRE

## *Définition*

Le registre à mémoire est une cascade de bascules capables de mémoriser un mot binaire de plusieurs bits.

## Exemple de réalisation à l'aide des bascules JK



# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

---

## *Définition*

Le registre à décalage est un registre composé de « N » cellules (bascules identiques). Celles-ci sont reliées entre elles de telle manière que l'information puisse passer du bit « P » au bit « P+1 » (ou du bit « P+1 » au bit « P ») sur un ordre de synchronisation qui est l'horloge.

On peut rencontrer plusieurs types de registres. Cette variété dépend de la nature du transfert de l'information (type du décalage) et forme d'entrée-sortie.

Trois types de décalage peuvent être réalisés :

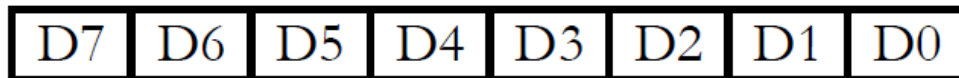
- Décalage à gauche,
- Décalage à droite,
- Décalage circulaire ou rotation.

# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

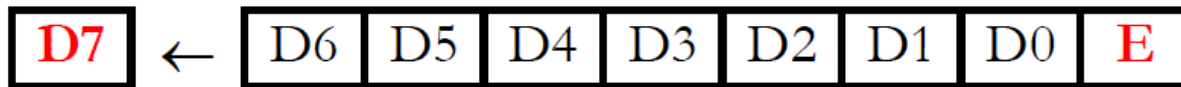
---

## Décalage à gauche

Tous les éléments binaires sont décalés d'un rang vers la gauche, il apparaît un « 0 » à droite ou un « 1 » et l'élément binaire qui était à gauche (le bit du plus fort poids du mot binaire) est perdu (le nombre est multiplié par deux s'il apparaît un zéro à droite).



Avant décalage



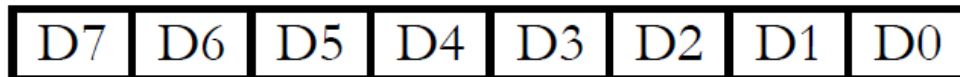
Après décalage

# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

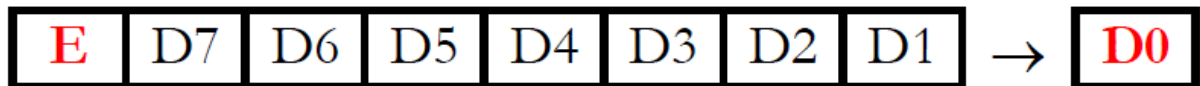
## Décalage à droite

Tous les éléments binaires sont décalés d'un rang vers la droite, il apparaît un « 0 » à gauche ou un « 1 » et l'élément binaire qui était à droite (le bit du plus faible poids du mot binaire) est perdu (le nombre est divisé par deux s'il apparaît un zéro à gauche).

Avant décalage



Après décalage



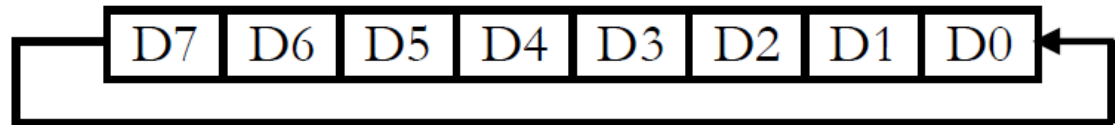


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

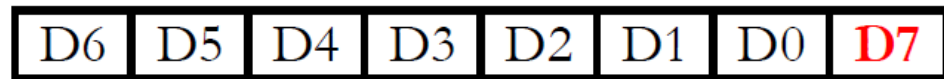
## Décalage circulaire ou rotation

### *Décalage circulaire à gauche*

Avant décalage

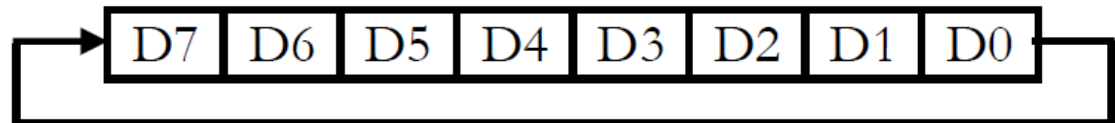


Après décalage

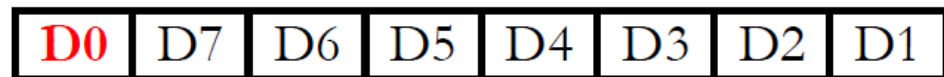


### *Décalage circulaire à droite*

Avant décalage



Après décalage

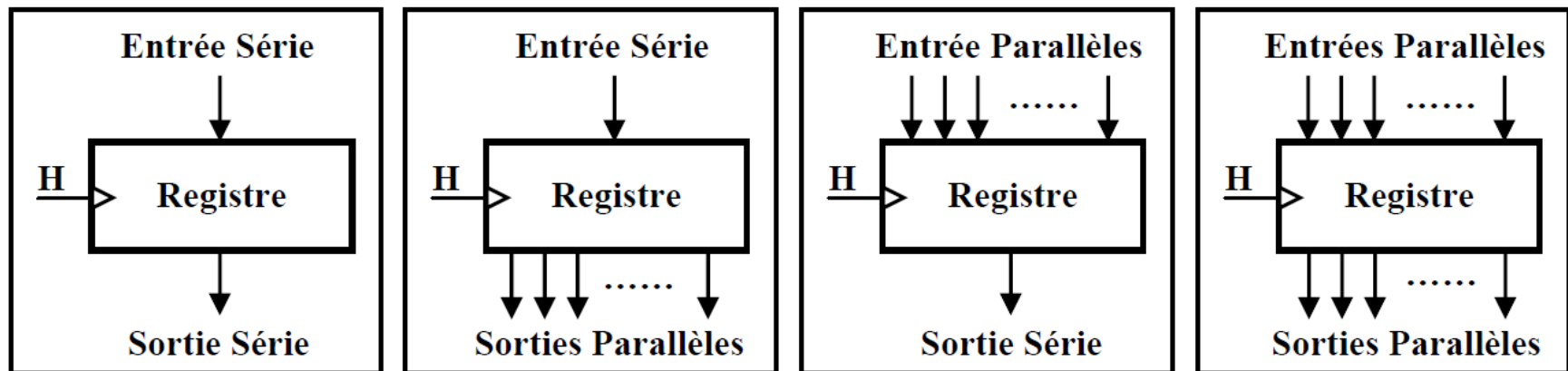


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Types d'entrée-sortie

L'information peut être introduite soit en série soit en parallèle, de même pour la sortie peut être soit en série soit en parallèle. Pour cette raison, on peut rencontrer les types de registres à décalage suivant :

- Le registre à décalage à entrée série et sortie série
- Le registre à décalage à entrée série et sorties parallèles
- Le registre à décalage à entrées parallèles et sortie série
- Le registre à décalage à entrées parallèles et sorties parallèles

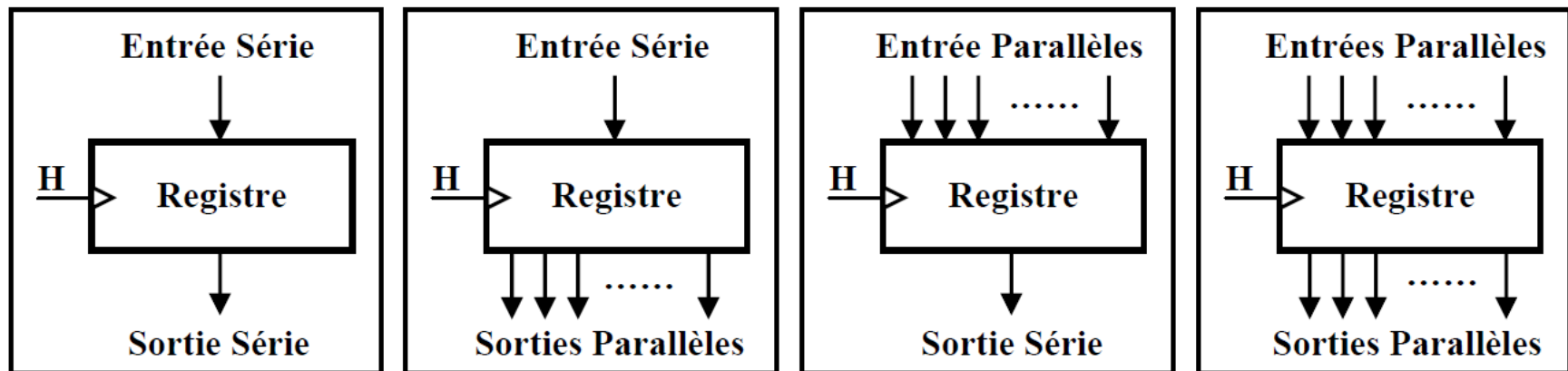


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Types d'entrée-sortie

L'information peut être introduite soit en série soit en parallèle, de même pour la sortie peut être soit en série soit en parallèle. Pour cette raison, on peut rencontrer les types de registres à décalage suivant :

- Le registre à décalage à entrée série et sortie série
- Le registre à décalage à entrée série et sorties parallèles
- Le registre à décalage à entrées parallèles et sortie série
- Le registre à décalage à entrées parallèles et sorties parallèles



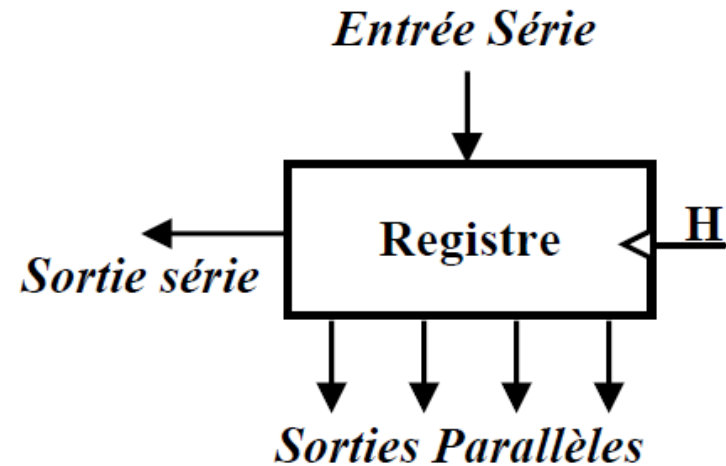
# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

*Registre à décalage vers la **gauche** avec une **entrée série***

Si on veut décaler à gauche un registre initialement nul par la séquence suivante : **101101**

S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	
0	0	0	0	
0	0	0	1	E <sub>série</sub>
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
1	0	1	1	1
0	1	1	0	1
1	1	0	1	0
				1

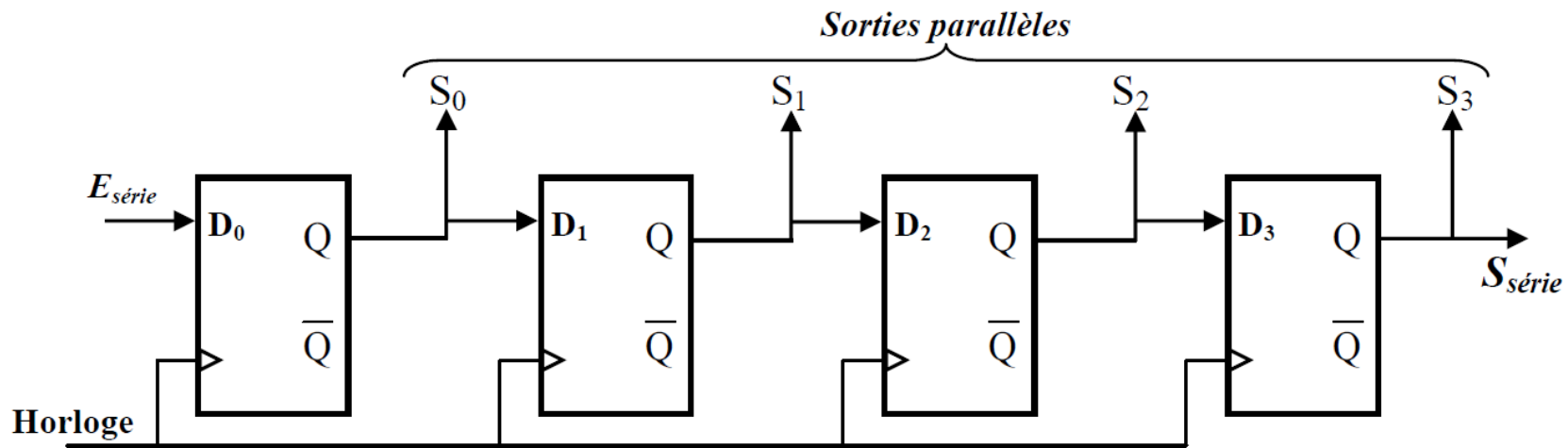


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

*Registre à décalage vers la **gauche** avec une **entrée série***

Si on veut décaler à gauche un registre initialement nul par la séquence suivante : **101101**



**Remarque :** Il s'agit toujours d'un registre à décalage vers la gauche et non pas vers la droite car c'est le bit de plus fort poids ( $Q_3$  dans ce cas) qui va se présenter à la sortie ou encore le décalage se fait du rang inférieur vers le rang supérieur.

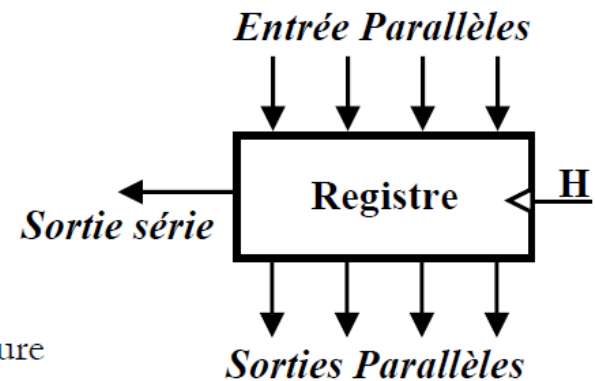
# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

### *Registre à décalage vers la **gauche** avec des **entrées parallèles***

Exemple de registre à décalage avec des entrées parallèles (décalage par insertion de 0) :

S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	T	E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>0</sub>	
1	0	1	0	0	1	0	1	0	Lecture
0	1	0	0	1					Décalage
1	0	0	0	1					Décalage
0	0	0	0	1					Décalage
1	1	0	1	0	1	1	0	1	Lecture
1	0	1	0	1					Décalage
0	1	0	0	1					Décalage
1	0	0	0	1					Décalage

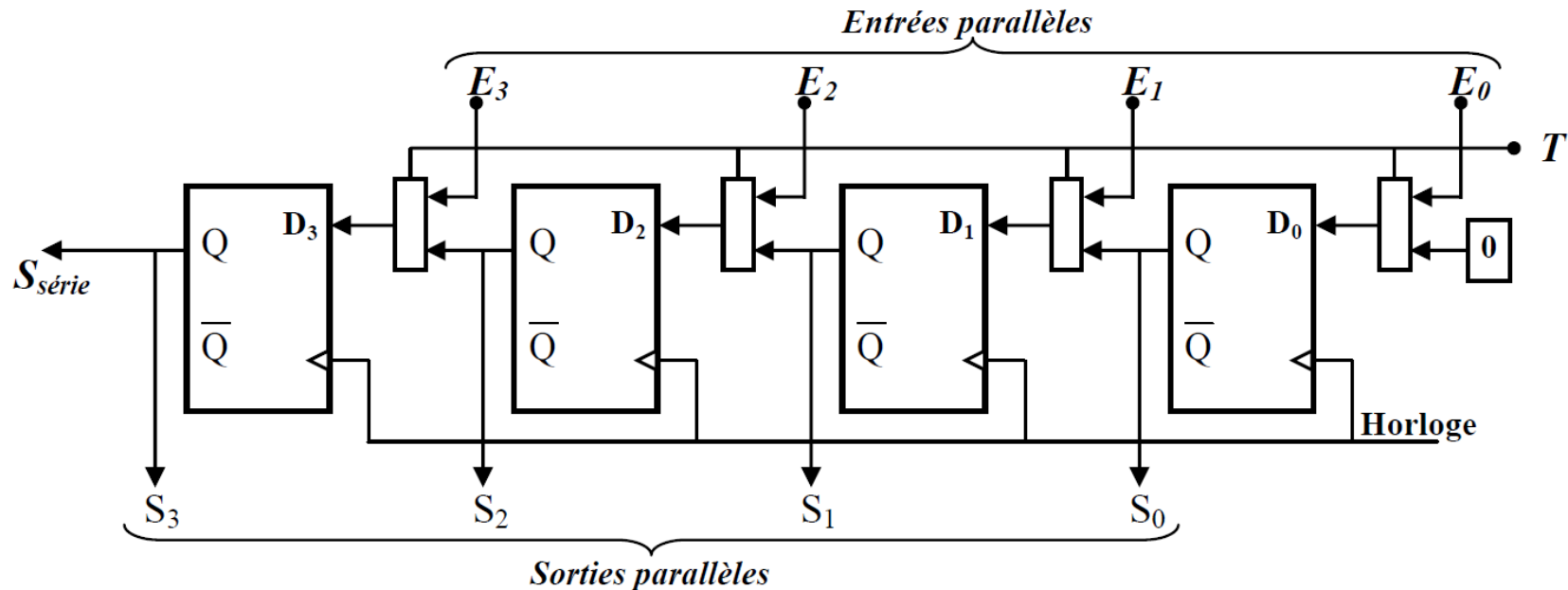


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

*Registre à décalage vers la **gauche** avec des **entrées parallèles***

Exemple de registre à décalage avec des entrées parallèles (décalage par insertion de 0) :



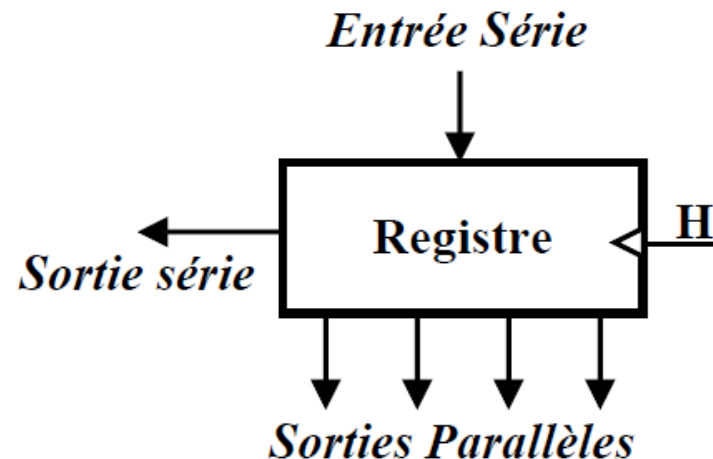
# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

*Registre à décalage vers la **droite** avec une **entrée série***

Si on veut décaler à droite un registre initialement nul par la séquence suivante : **101101**

S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	E <sub>série</sub>
0	0	0	0	
1	0	0	0	
0	1	0	0	
1	0	1	0	
1	1	0	1	
0	1	1	0	
1	0	1	1	



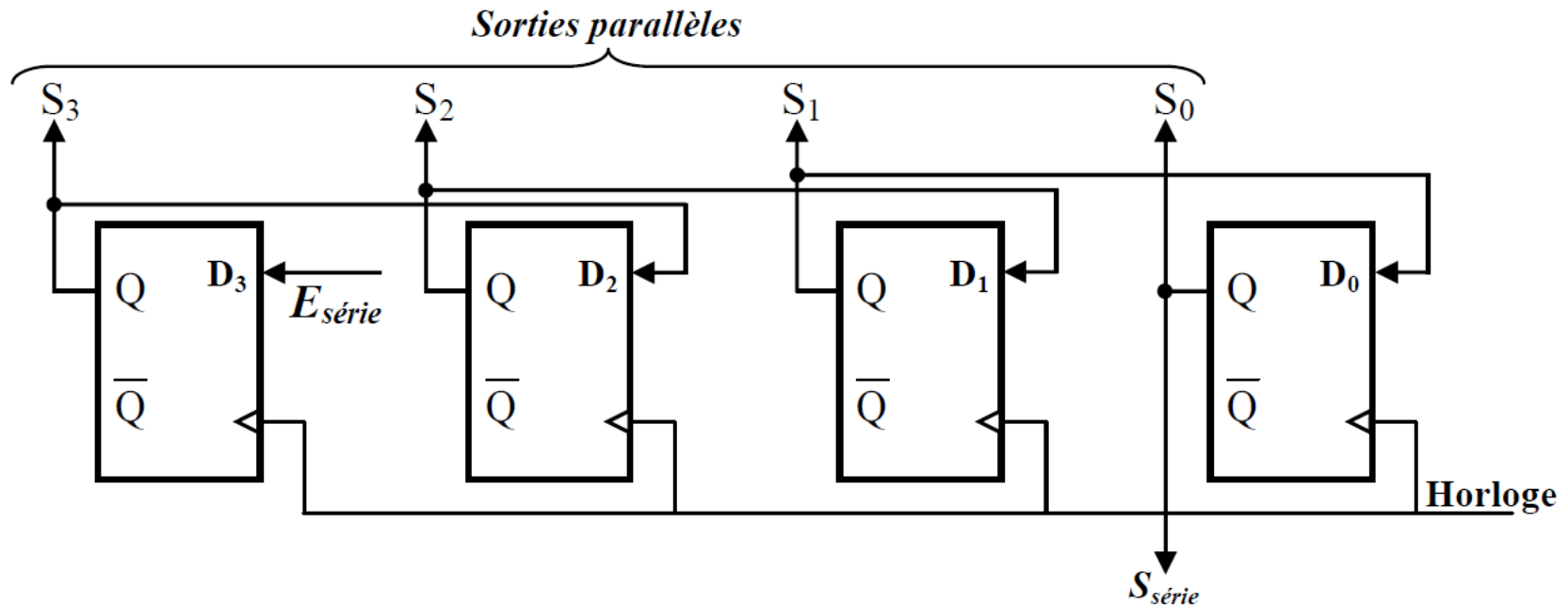


## LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

## Registre à décalage vers la **droite** avec une **entrée série**

Si on veut décaler à gauche un registre initialement nul par la séquence suivante : **101101**



# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

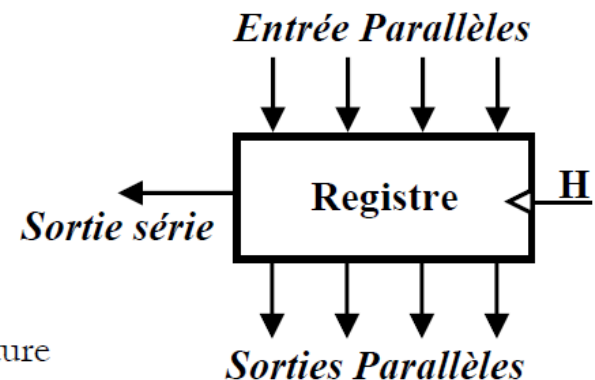
## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

### *Registre à décalage vers la droite avec des entrées parallèles*

Exemple de registre à décalage avec des entrées parallèles (décalage par insertion de 0) :

S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	1	0
0	0	0	1
1	1	0	1
0	1	1	0
0	0	1	1
0	0	0	1

T	E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>0</sub>	
0	1	0	1	0	Lecture
1					Décalage
1					Décalage
1					Décalage
0	1	1	0	1	Lecture
1					Décalage
1					Décalage
1					Décalage

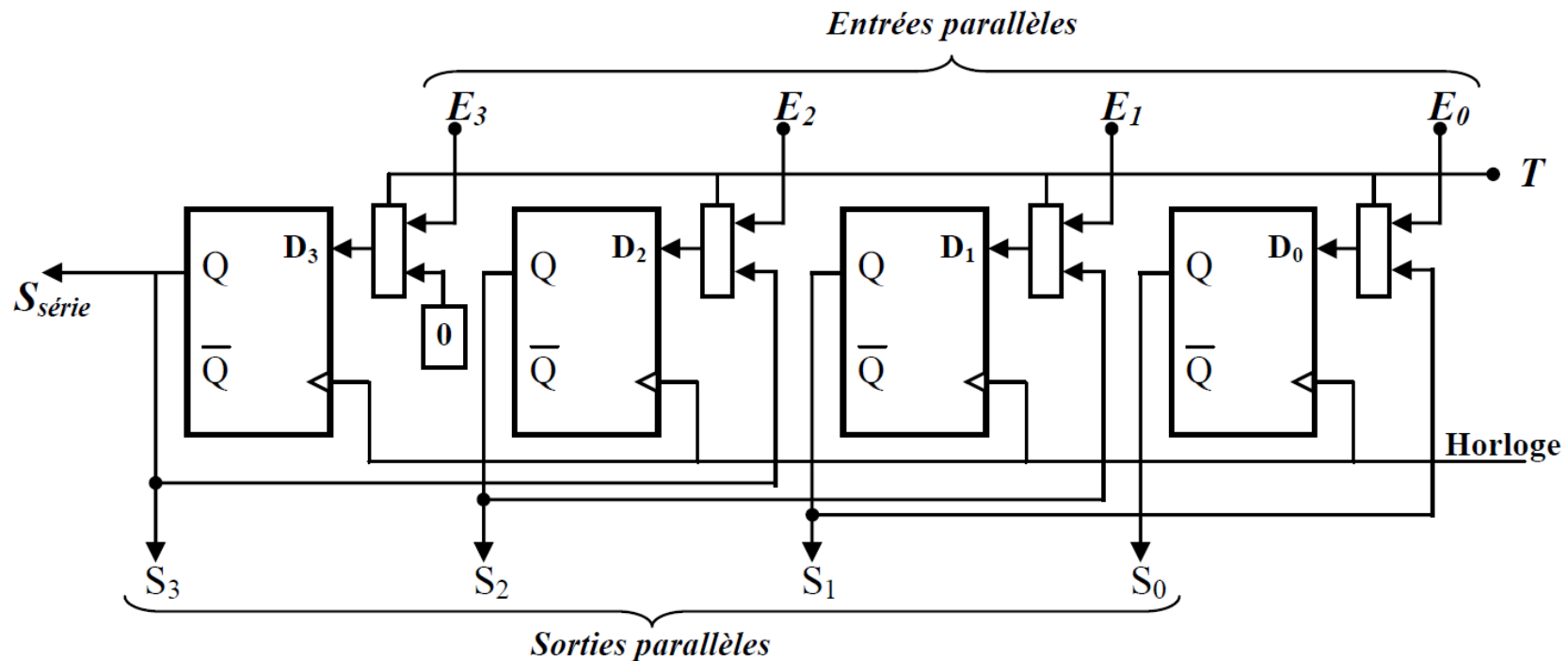


# LES REGISTRES : REGISTRES À DÉCALAGE

## Exemples de réalisation : registre à 4 bits

*Registre à décalage vers la **droite** avec des **entrées parallèles***

Exemple de registre à décalage avec des entrées parallèles (décalage par insertion de 0) :



# LES COMPTEURS

---

## *Définition*

Un compteur est un système logique composé par une série de  $n$  bascules placées en cascade. Il est utilisé pour définir une suite séquentielle de  $2^n$  états.

Le changement de fonctionnement d'un compteur est cadencé par une horloge.

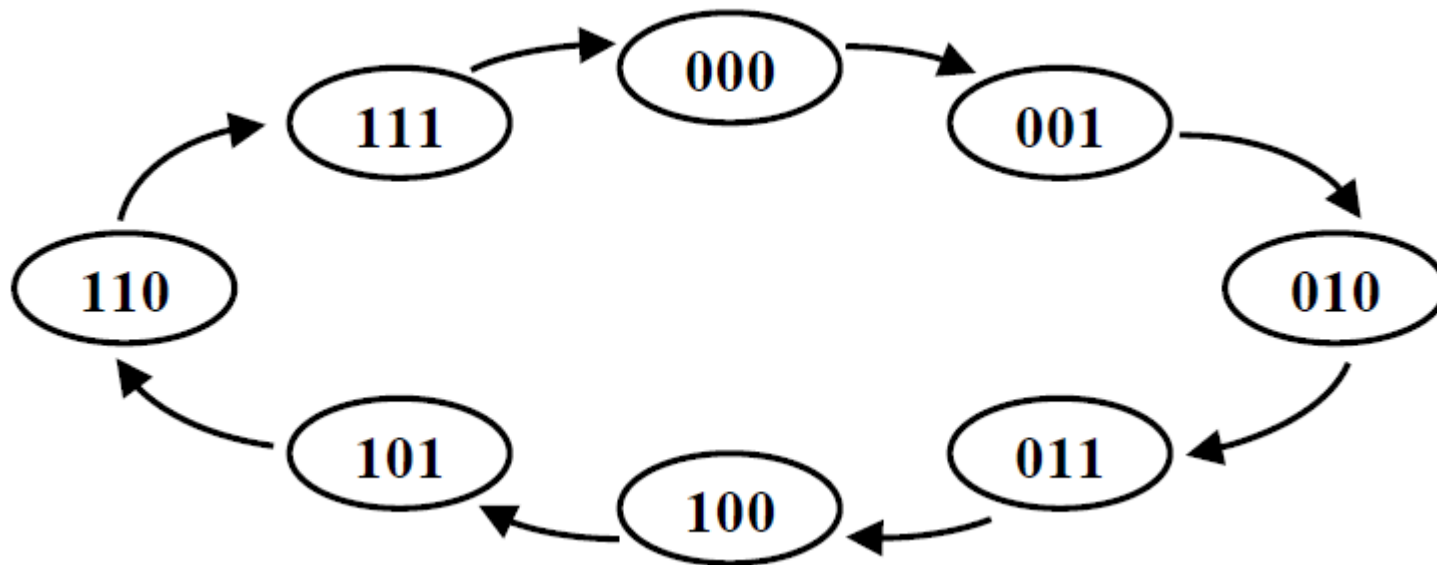
Nous pouvant rencontrer deux types de compteurs :

- **Compteur Asynchrone** : l'ordre de changement des états des bascules se fait par une propagation en cascade.
- **Compteur Synchrone** : l'ordre de changement des états des bascules se fait par un signal d'horloge qui synchronise simultanément toutes les bascules.

# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo 8

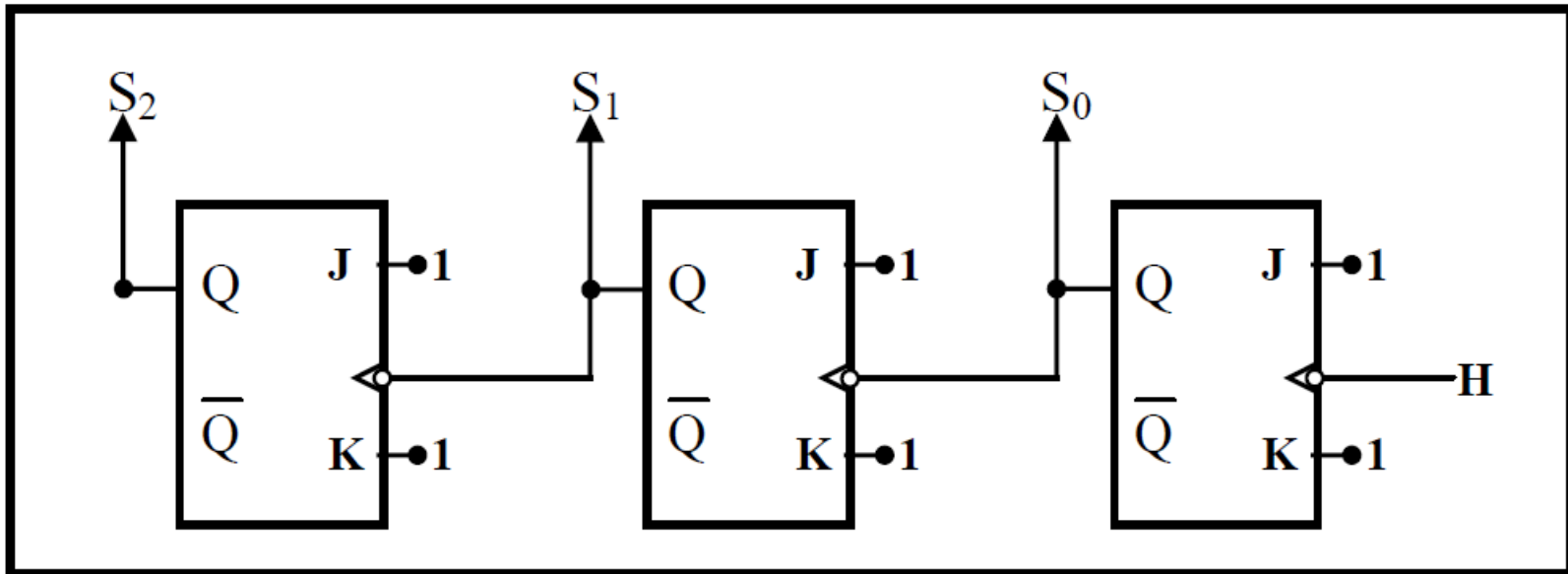
*Diagramme des états*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo 8

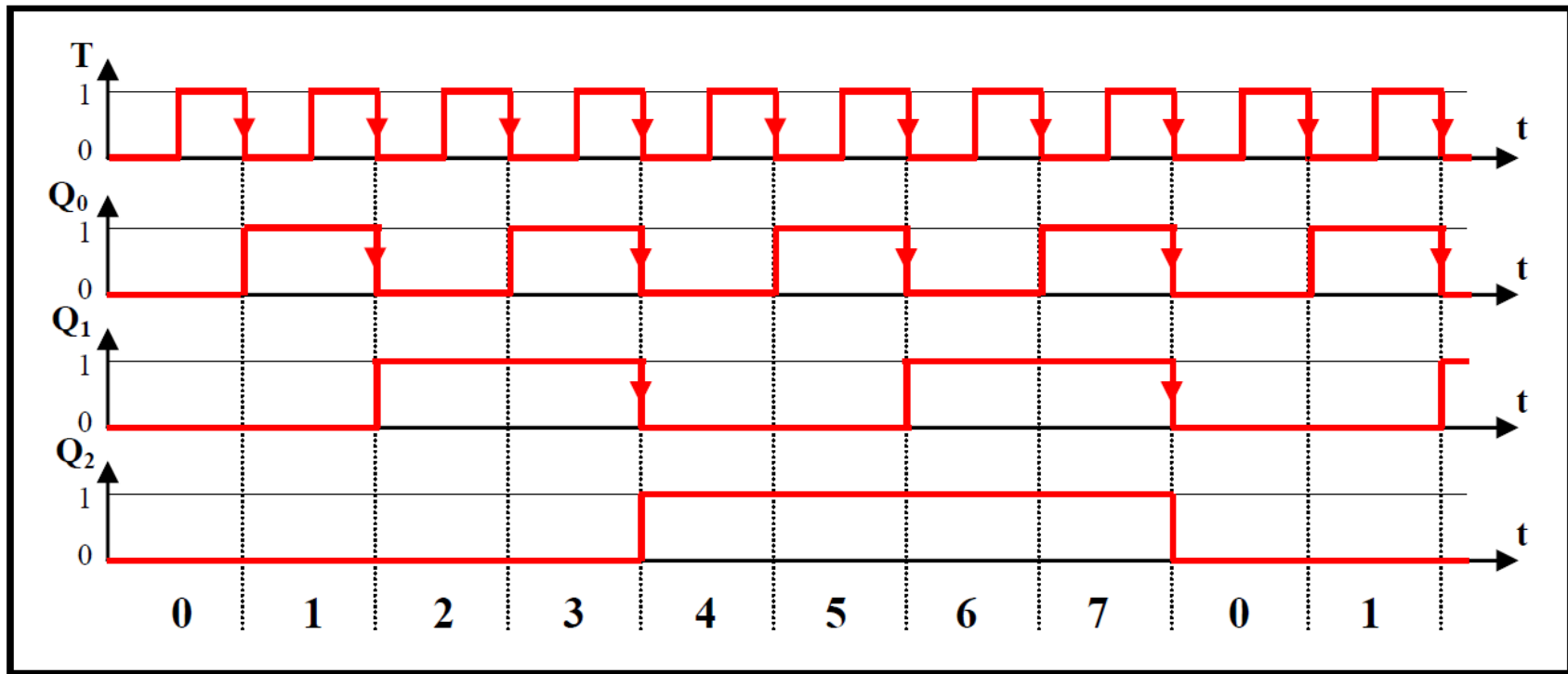
*Réalisation avec des bascules JK synchronisées par front descendant*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo 8

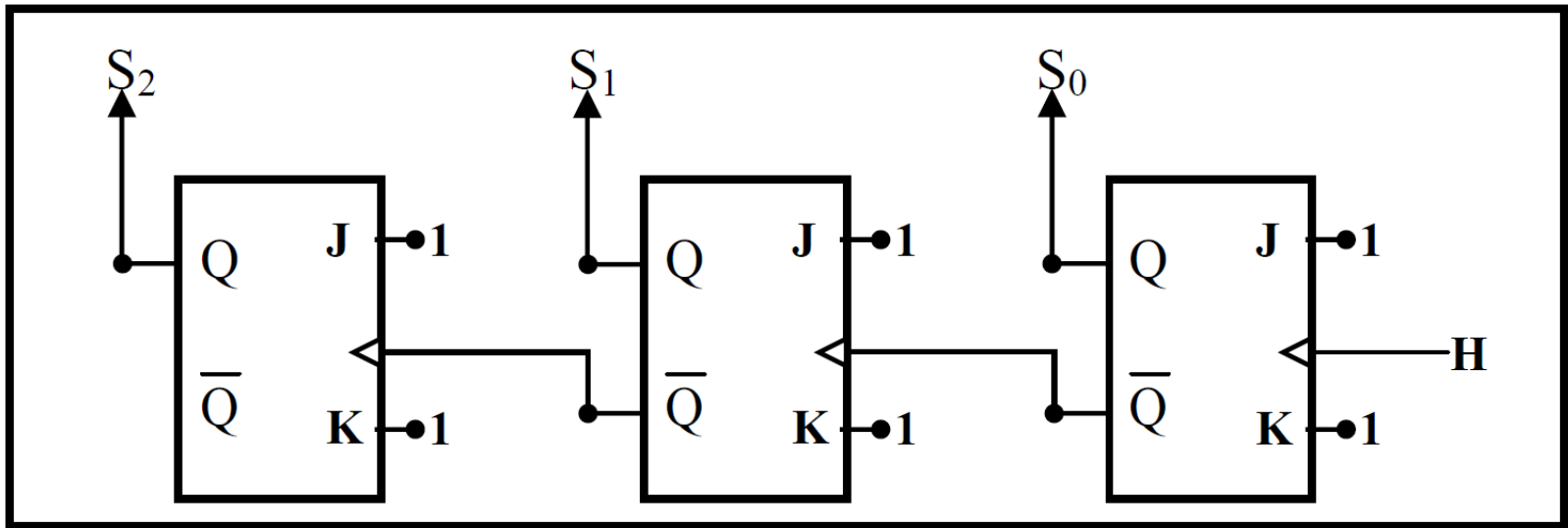
*Représentation en chronogramme*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo 8

*Réalisation avec des bascules JK synchronisées par front montant*

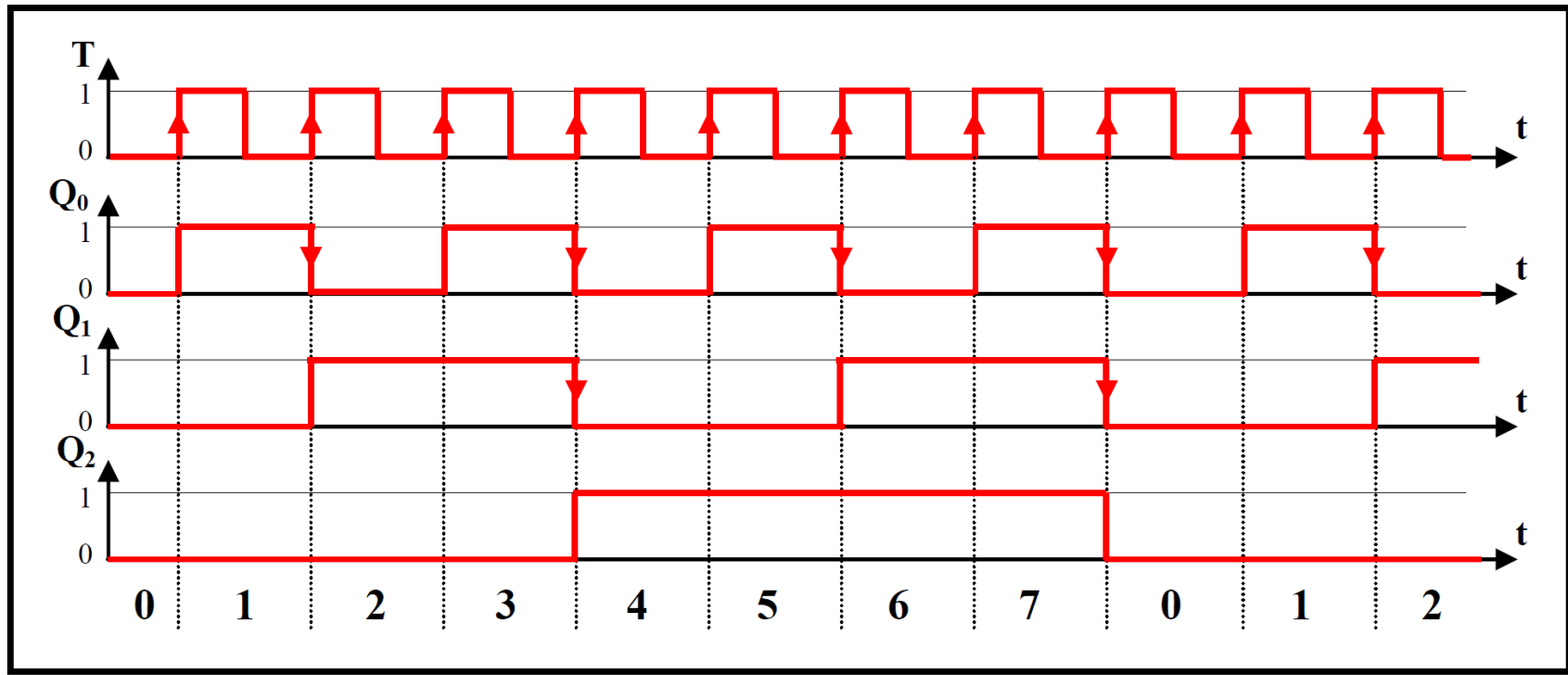




# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo 8

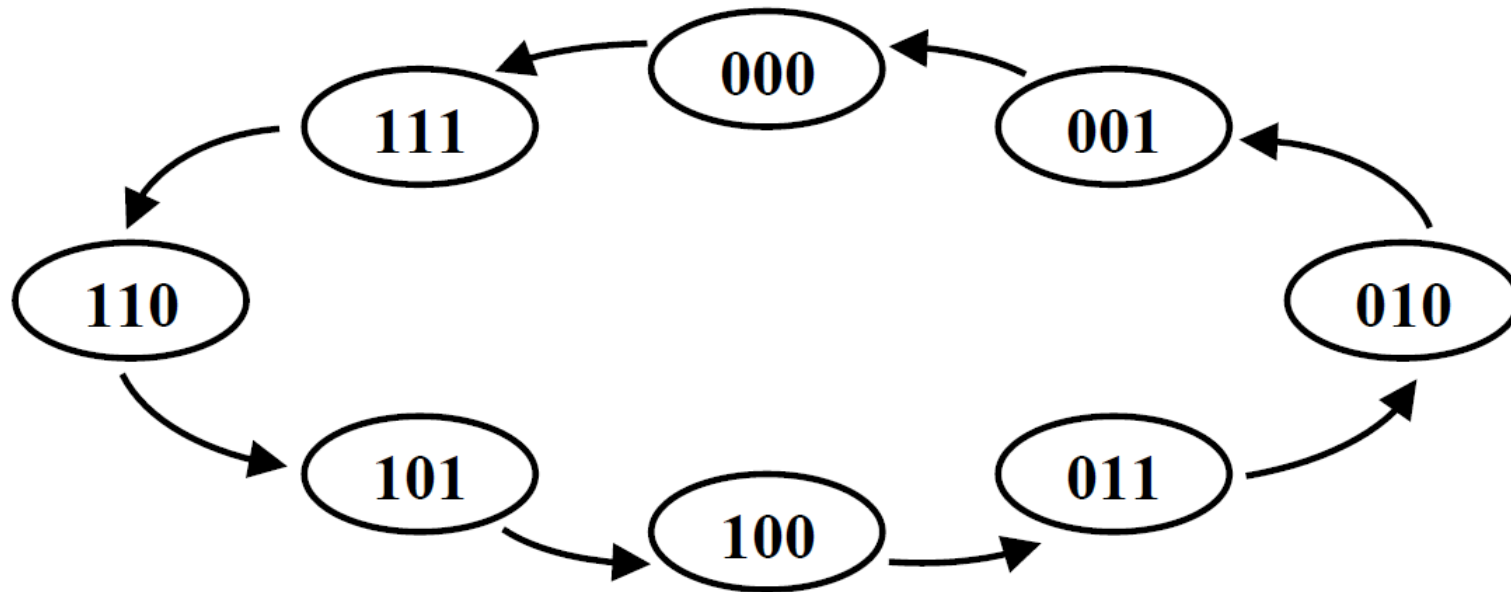
*Représentation en chronogramme*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un décompteur modulo 8

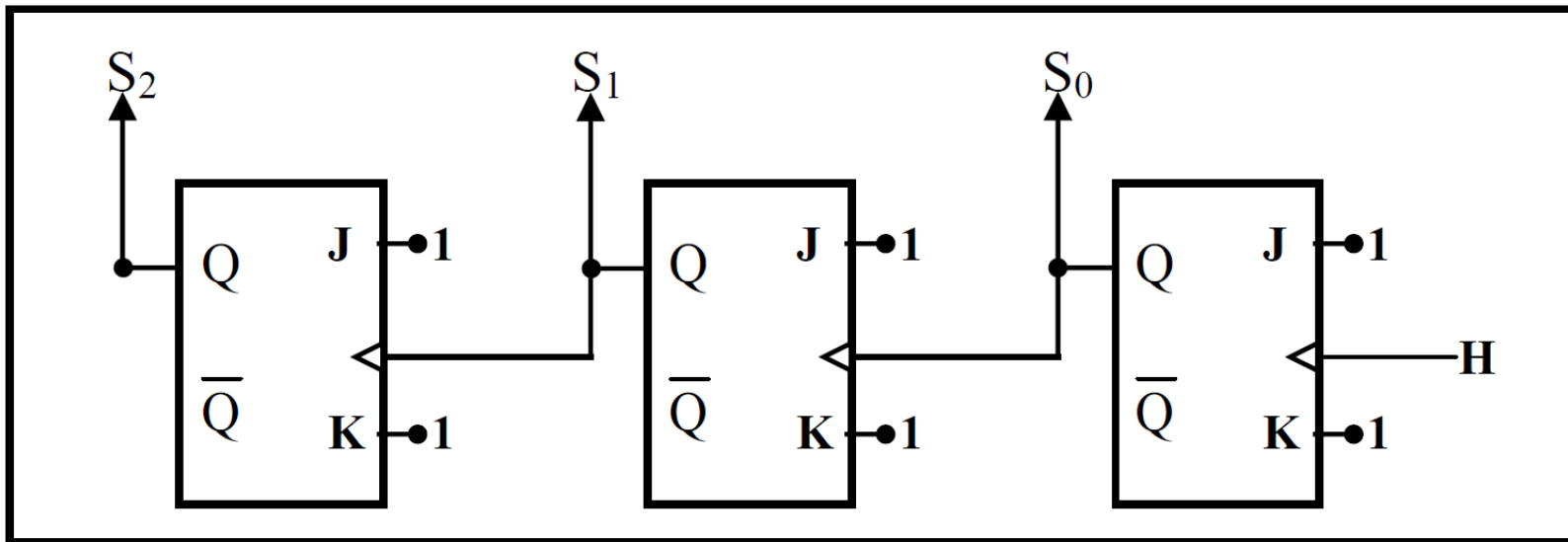
*Diagramme des états*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un décompteur modulo 8

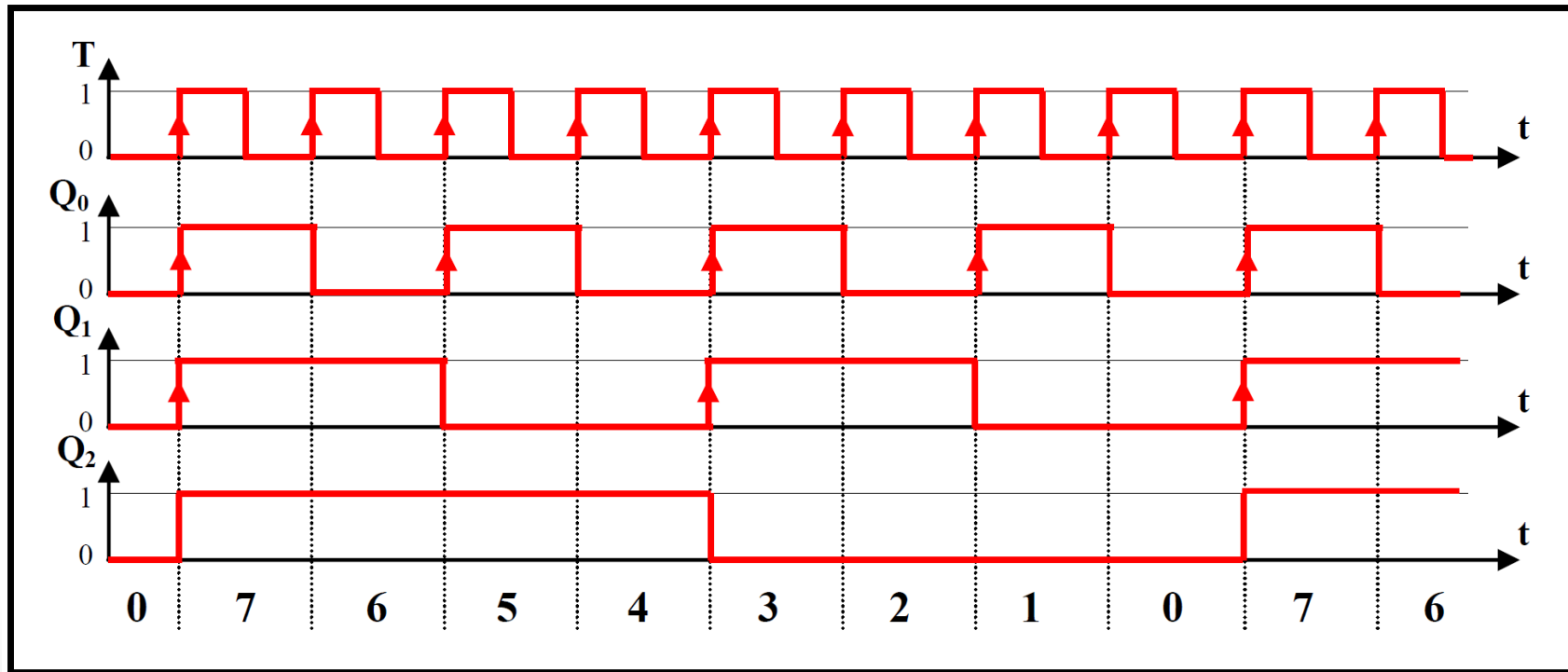
*Réalisation avec des bascules JK synchronisées par front montant*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un décompteur modulo 8

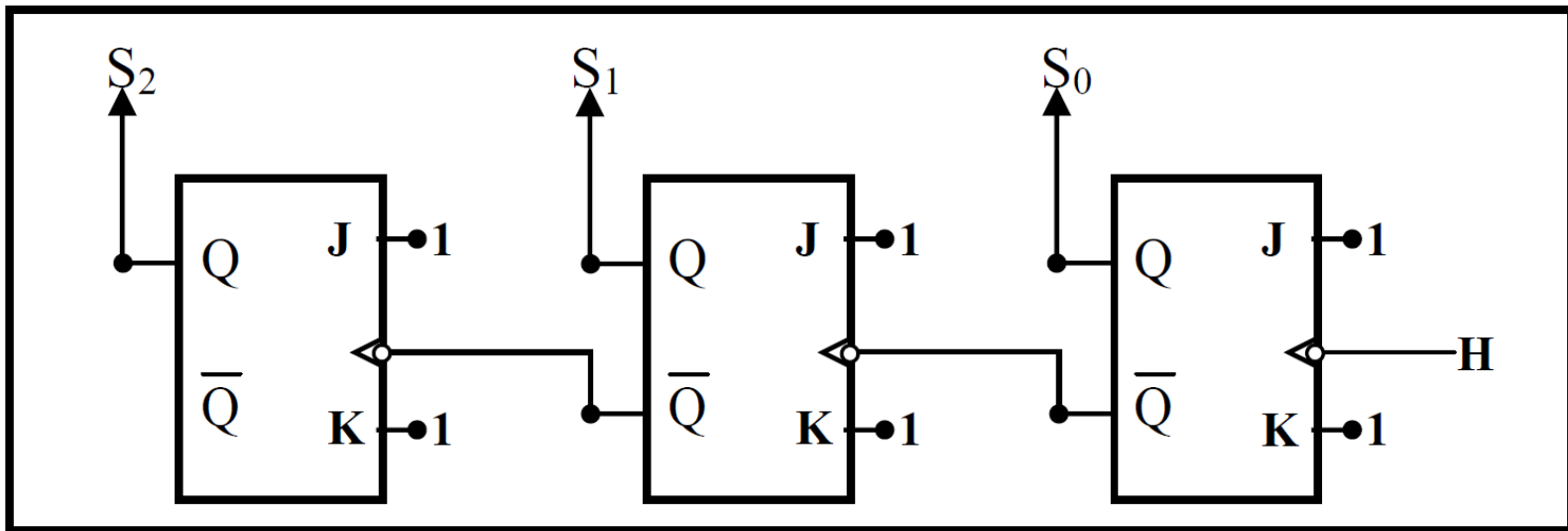
*Représentation en chronogramme*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un décompteur modulo 8

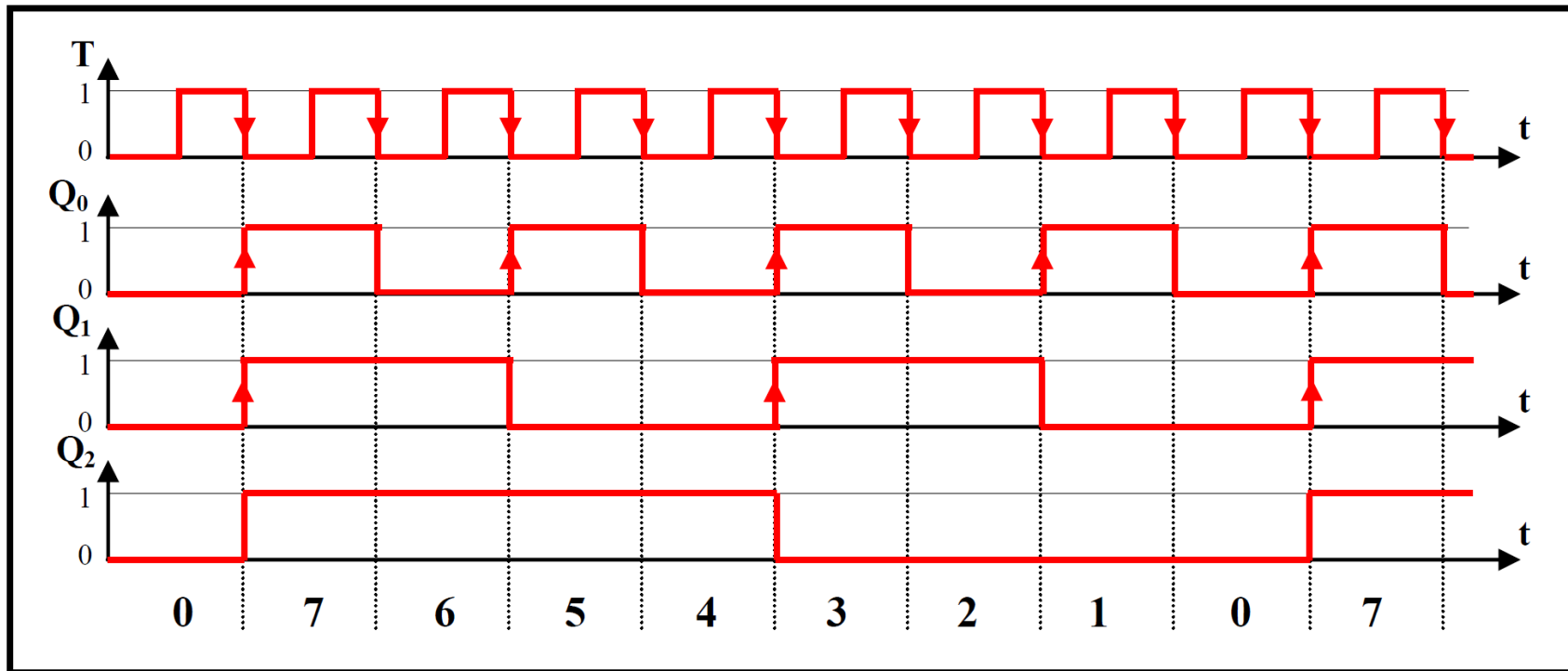
*Réalisation avec des bascules JK synchronisées par front descendant*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un décompteur modulo 8

*Représentation en chronogramme*



# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

---

## Conclusion

Pour une synchronisation sur un front montant :

- Si  $S_i \leftarrow Q_{i-1}$  : 
$$\begin{cases} \text{lecture sur } Q \Rightarrow \text{Décompteur} \\ \text{lecture sur } \overline{Q} \Rightarrow \text{Compteur} \end{cases}$$
- Si  $S_i \leftarrow \overline{Q}_{i-1}$  : 
$$\begin{cases} \text{lecture sur } Q \Rightarrow \text{Compteur} \\ \text{lecture sur } \overline{Q} \Rightarrow \text{Décompteur} \end{cases}$$

Pour une synchronisation sur un front descendant :

- Si  $S_i \leftarrow Q_{i-1}$  : 
$$\begin{cases} \text{lecture sur } Q \Rightarrow \text{Compteur} \\ \text{lecture sur } \overline{Q} \Rightarrow \text{Décompteur} \end{cases}$$
- Si  $S_i \leftarrow \overline{Q}_{i-1}$  : 
$$\begin{cases} \text{lecture sur } Q \Rightarrow \text{Décompteur} \\ \text{lecture sur } \overline{Q} \Rightarrow \text{Compteur} \end{cases}$$

## Principe d'un compteur modulo $X$

### *Démarche générale*

Pour construire un **compteur modulo  $X$**  qui compte de **0** à **( $X-1$ )** :

- Trouver le nombre de bascules « **N** » tel que  $2^{N-1} < X \leq 2^N$  et raccorder ces bascules pour obtenir un compteur modulo  $2^N$ .
- Si  $2^N > X$  connecter la sortie d'une porte « **AND** » ou « **NAND** » aux entrées **remise à zéro** (RAZ ou CLEAR) de toute les bascules. Déterminer quelles sont les **bascules** qui sont à **1** quand **X est atteint**.

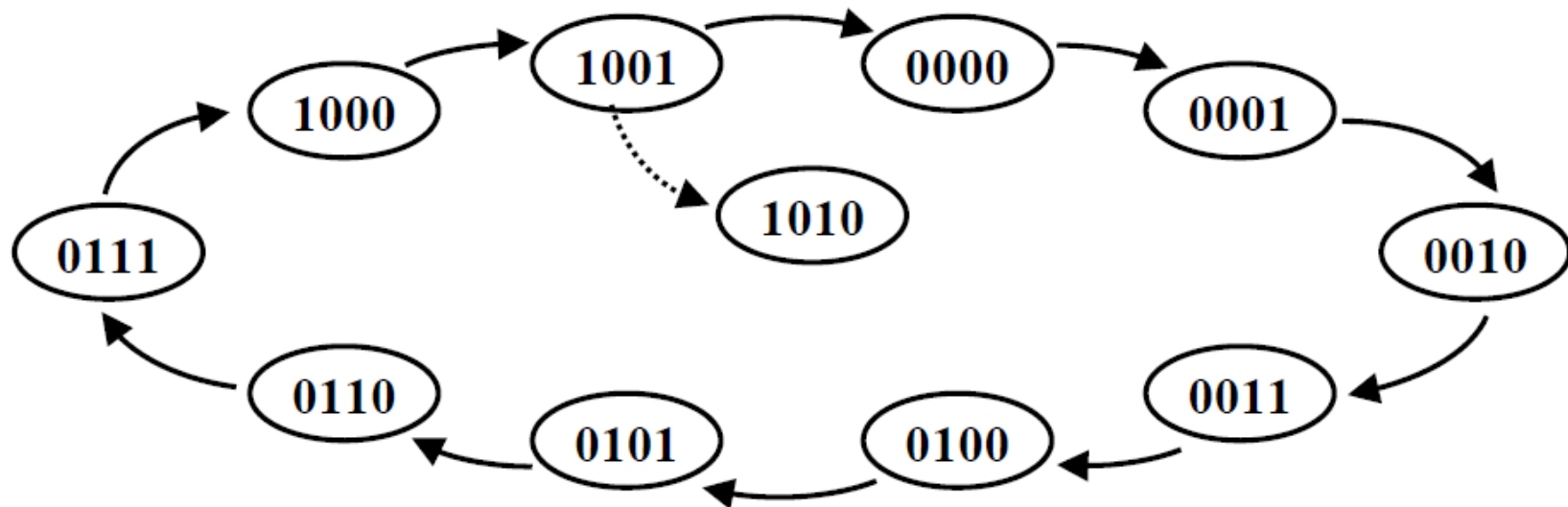


# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo X

*Exemple : Compteur modulo 10*

Modulo 10  $\Rightarrow 2^3 < 10 < 2^4 \Rightarrow 4$  bascules.

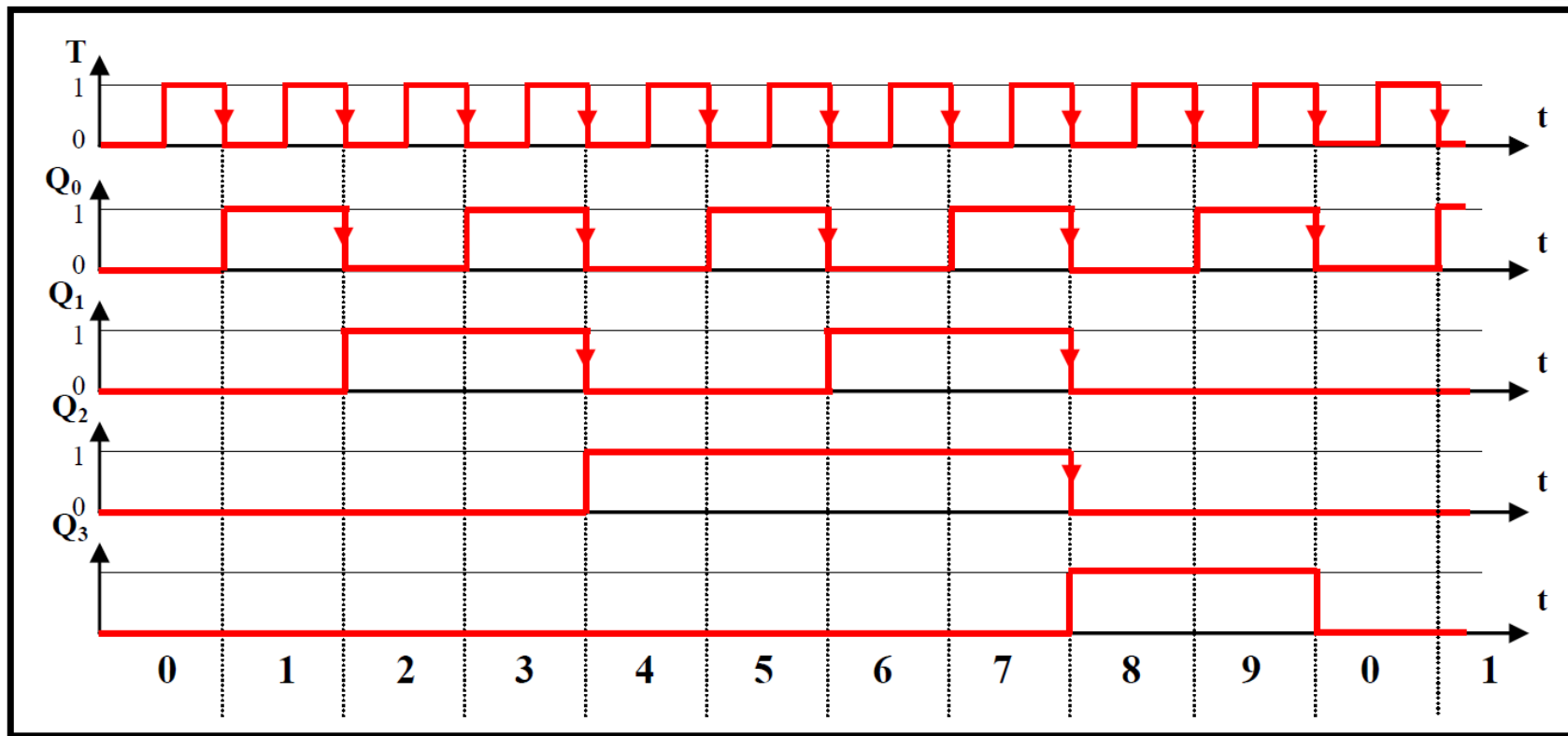


*Diagramme des états*

# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo X

*Exemple : Compteur modulo 10*

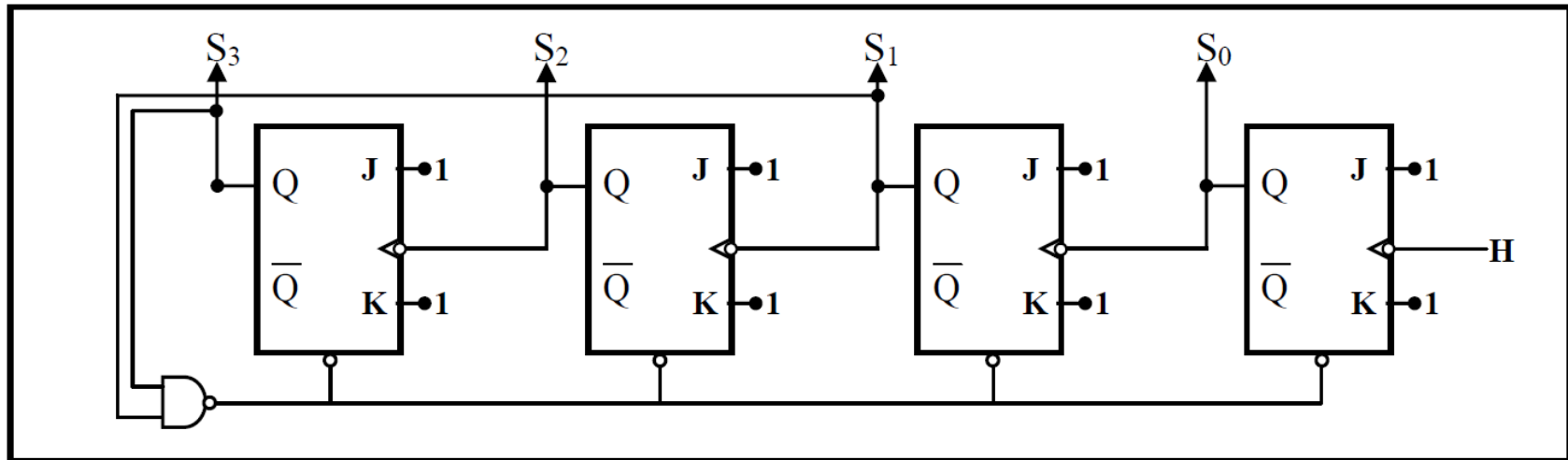


*Représentation en chronogrammes*

# LES COMPTEURS ASYNCHRONES

## Principe d'un compteur modulo X

*Exemple : Compteur modulo 10*



*Représentation du circuit*

# LES COMPTEURS SYNCHRONES

## *Rappel sur la bascule JK*


J	K	$Q_{t+1}$
0	0	$Q_t$ : Fonction mémoire
0	1	0 : Mise à 0
1	0	1 : Mise à 1
1	1	$\overline{Q_t}$ : Fonction de type T

## *Matrice d'excitation d'une bascule JK*

	K	J	KJ	Fonction
$0 \rightarrow 0$	0 1	0 0	$\Phi$ 0	$\mu_0$ : Maintient à zéro
$0 \rightarrow 1$	1 0	1 1	$\Phi$ 1	$\varepsilon$ : Enclenchement
$1 \rightarrow 0$	1 1	1 0	1 $\Phi$	$\delta$ : Déclenchement
$1 \rightarrow 1$	0 0	0 1	0 $\Phi$	$\mu_1$ : Maintient à un

# LES COMPTEURS SYNCHRONES

*Exemple : Compteur synchrone modulo 6*

Séquence à suivre	Instant t				Instant t+1		
	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$		$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
0	0	0	0		$\mu_0$	$\mu_0$	$\epsilon$
1	0	0	1		$\mu_0$	$\epsilon$	$\delta$
2	0	1	0		$\mu_0$	$\mu_1$	$\epsilon$
3	0	1	1		$\epsilon$	$\delta$	$\delta$
4	1	0	0		$\mu_1$	$\mu_0$	$\epsilon$
5	1	0	1		$\delta$	$\mu_0$	$\delta$
0	0	0	0				

# LES COMPTEURS SYNCHRONES

*Exemple : Compteur synchrone modulo 6*

*Pour la première bascule*

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	$\epsilon$	$\delta$	$\delta$	$\epsilon$	
1	$\epsilon$	$\delta$	-	-	

$K_0J_0$

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	-	1	1	-	
1	-	1	-	-	

$K_0 = 1$

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0		1	-	-	1
1		1	-	-	-

$J_0 = 1$

# LES COMPTEURS SYNCHRONES

*Exemple : Compteur synchrone modulo 6*

*Pour la deuxième bascule*

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	$\mu_0$	$\varepsilon$	$\delta$	$\mu_1$	
1	$\mu_0$	$\mu_0$	-	-	

$K_1J_1$

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	-	-	1	0	
1	-	-	-	-	

$K_1 = Q_0$

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	0	0	1	-	-
1	0	0	-	-	-

$J_1 = Q_0 \overline{Q_2}$

# LES COMPTEURS SYNCHRONES

*Exemple : Compteur synchrone modulo 6*

*Pour la troisième bascule*

$Q_2 \backslash Q_1 Q_0$	00	01	11	10
0	$\mu_0$	$\mu_0$	$\varepsilon$	$\mu_0$
1	$\mu_1$	$\delta$	-	-

$K_2J_2$

$Q_2 \backslash Q_1 Q_0$	00	01	11	10
0	-	-	-	-
1	0	1	-	-

$K_2 = Q_0$

$Q_2$	$Q_1Q_0$	00	01	11	10
0		0	0	1	0
1		-	-	-	-

$J_2 = Q_0Q_1$



# LES COMPTEURS SYNCHRONES

*Exemple : Compteur synchrone modulo 6*

*Schéma du circuit*

