

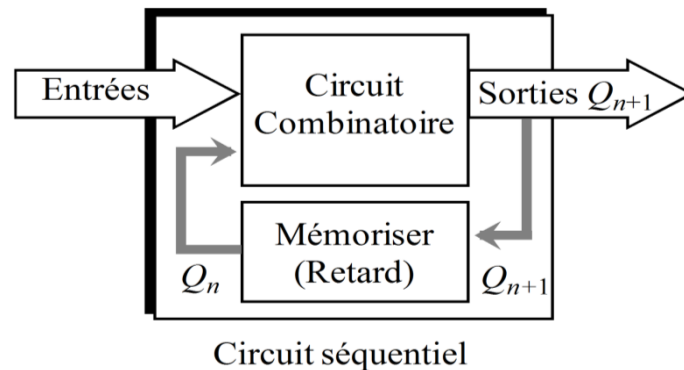
# Structure Machine 2

Logique Séquentielle

# Introduction

## Définition :

Un circuit séquentiel est un circuit combinatoire où des sorties sont utilisées comme des entrées, Il y a rebouclage (rétroaction) des sorties sur les entrées. Cela signifie qu'un circuit séquentiel garde la mémoire des états passés,



Dans la table de vérité on trouve, en plus des entrées, les sorties à l'état précédent :  $Q_{n+1} = f(\text{Entrées}, Q_n)$

# Introduction

On a deux grandes familles des circuits logiques séquentiels :

## Les circuits Asynchrones

dans lesquels les sorties évoluent dès qu'il y a un changement sur l'une des entrées

## Les circuits Synchrones

dans lesquels les sorties ne peuvent évoluer que si un signal d'horloge est activé

Les bascules sont les circuits logiques de base de la logique séquentielle, elles possèdent deux sorties complémentaires  $Q$  et  $\bar{Q}$ , On note  $Q_{n+1}$  la sortie à l'état actuel et  $Q_n$  la sortie à l'état précédent (mémorisée). Il existe des bascules asynchrones (sans horloge) et des bascules synchrones (avec horloge)



# Introduction

## Horloge

À cause de tous les délais (montée, descente, propagation) un signal n'est pas dans un état valide en permanence,

L'idée est de ne pas lire ses valeurs qu'à des instants précis et à des intervalles réguliers : Instants donnés par une horloge

l'horloge est un système logique qui émet régulièrement une suite d'impulsions calibrées,

L'intervalle de temps entre 2 impulsions représente le temps de cycle ou la période de l'horloge

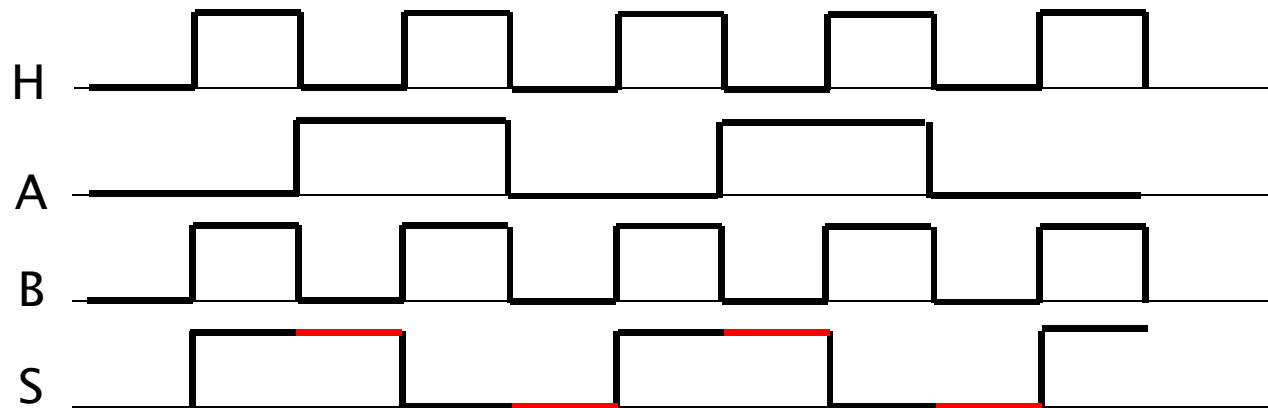


# Introduction

## Horloge : Exemple

Soit la table de vérité suivante : la représentation du changement des états par chronogramme :

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0



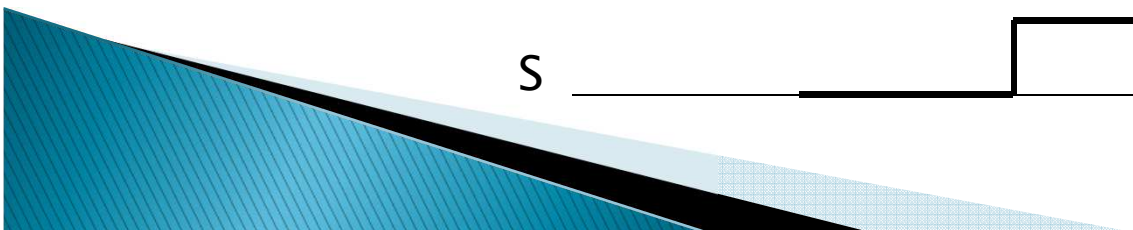
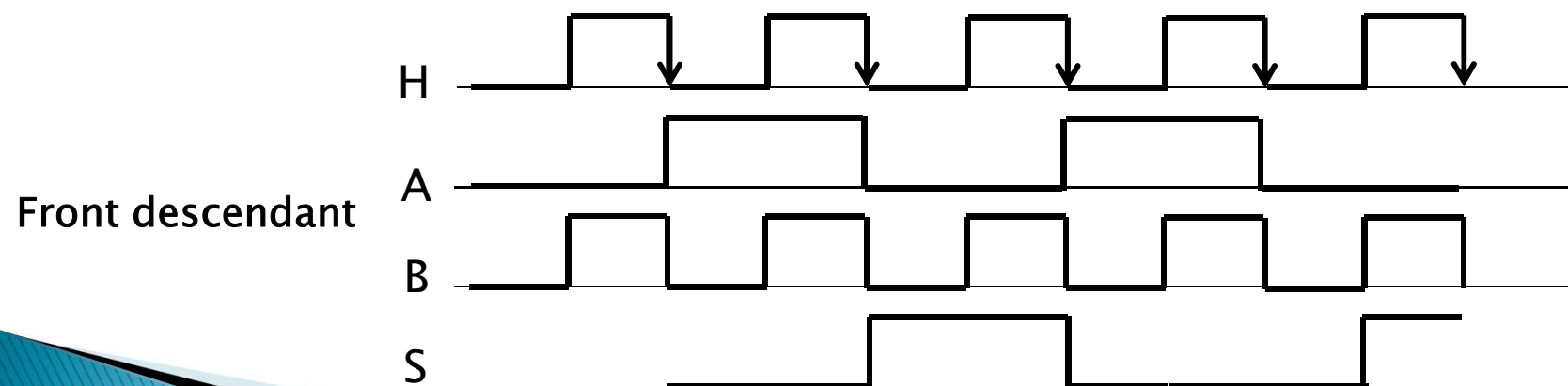
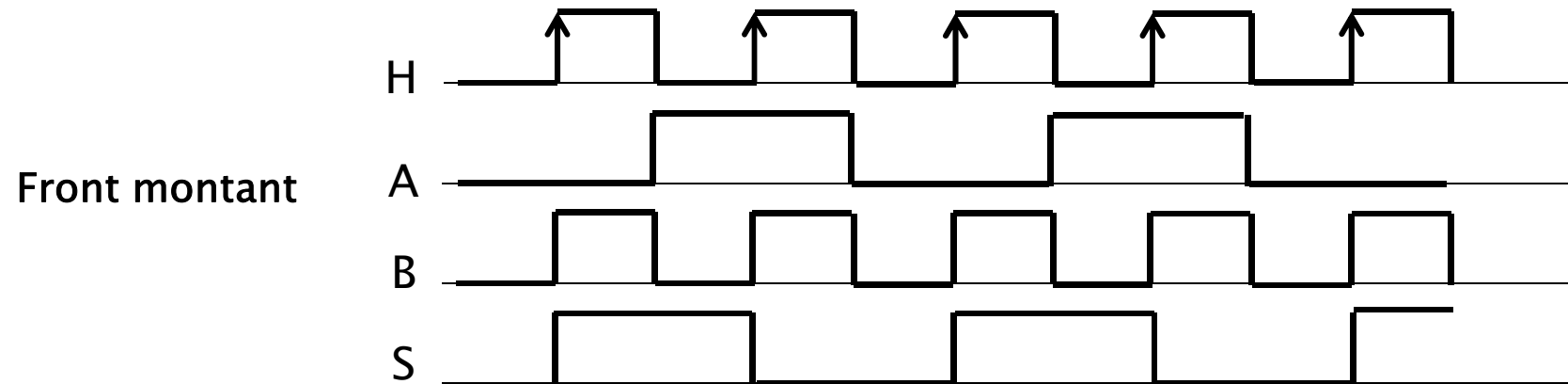
L'horloge est noté : H ou CLK, un circuit basé sur une entrée de l'horloge est dite **synchrone**, et **asynchrone** dans le cas contraire

La synchronisation se fait soit sur front montant (H=1) ou sur front descendant (H=0)

# Introduction

Horloge : Front montant ou descendant

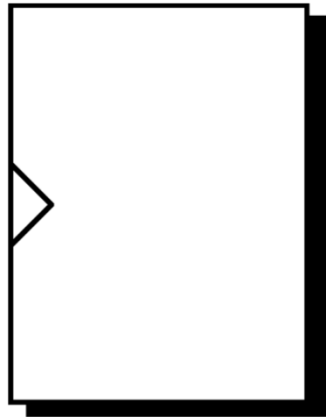
Reprenant l'exemple précédent :



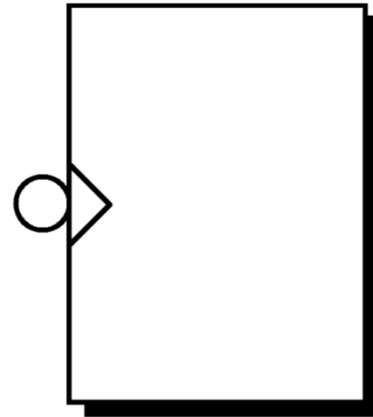
# Introduction

Horloge : Front montant ou descendant

Représentation schématique :



Front montant

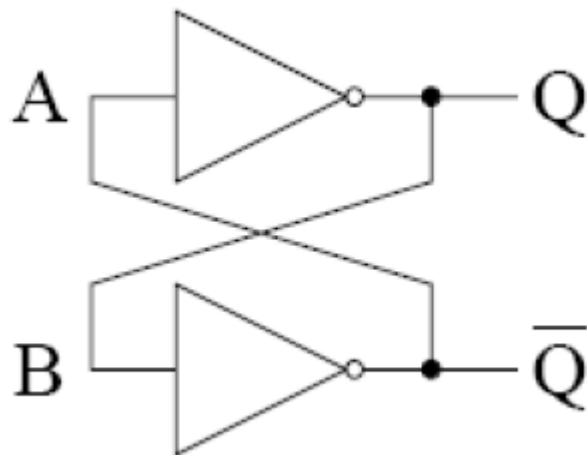


Front descendant

# Les Bascules asynchrones

## Notion de latch (Verrou)

Une bascule (flip-flop) a pour rôle de mémoriser une information élémentaire. C'est une mémoire à 1 bit. Une bascule possède deux sorties complémentaires  $Q$  et  $\bar{Q}$ . La mémorisation fait appel à un verrou (latch) ou système de blocage, dont le principe de rétro-action peut être représenté de la façon suivante :



# Les Bascules asynchrones

## Bascule SR

Une bascule SR comporte deux entrées : Une entrée R (Reset) de mise à zéro et une entrée S (Set) de mise à un.

S	R	Q+	
0	0	Q	Mémoire
1	0	1	Set à 1
0	1	0	Reset 0
1	1	X	interdit

		S	
		0	1
R	0	Q	1
	1	0	X

### Portes NOR

$$Q = \overline{\overline{R}(S+Q)} = \overline{\overline{R}(S+Q)} = R + \overline{(S+Q)}$$

$$\overline{Q} = \overline{S + \overline{R}Q} = S + (R + \overline{Q})$$

### Portes NAND

$$Q = S + \overline{R}Q = \overline{\overline{S} \cdot \overline{R}Q}$$

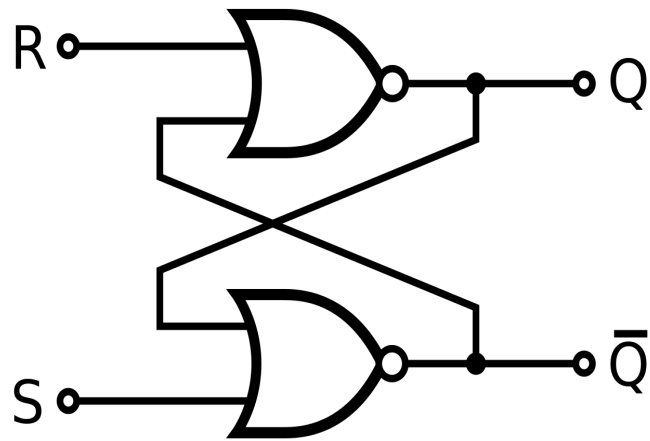
$$Q = \overline{\overline{R}(S+Q)} = \overline{R} \cdot \overline{(\overline{S}Q)} \quad \text{Donc}$$

$$\overline{Q} = \overline{R} \cdot \overline{(\overline{S}Q)}$$

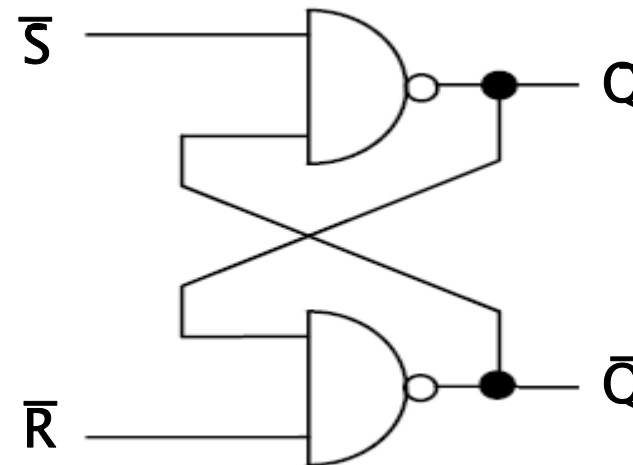
# Les Bascules asynchrones

## Bascule SR

Portes NOR



Portes NAND



# Les Bascules asynchrones

## Bascule JK

Une bascule JK comporte deux entrées : Une entrée K (Reset) de mise à zéro et une entrée J (Set) de mise à un. Le principe est que lorsqu'on a  $J=1$  et  $K=1$  (état interdit dans RS) on fait la basculement : Q devient  $\bar{Q}$

J	K	$Q_+$	
0	0	Q	Mémoire
1	0	1	Mise à 1
0	1	0	Mise à 0
1	1	$\bar{Q}$	Basculement

		K	
		0	1
J	0	Q	0
	1	1	$\bar{Q}$

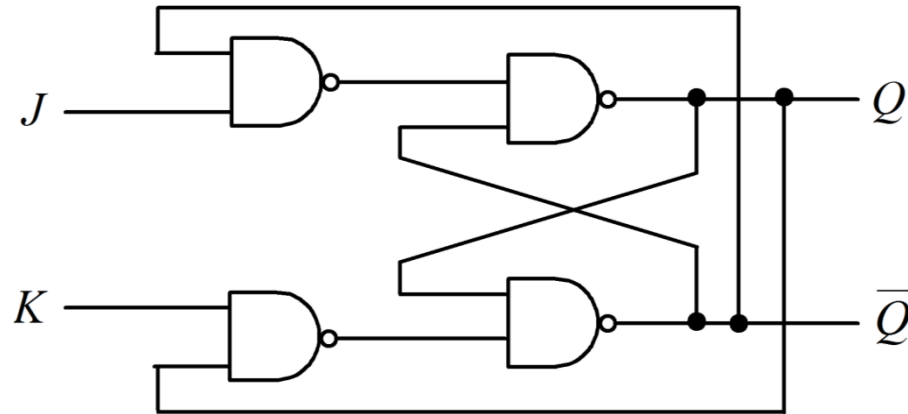
$$Q = J\bar{Q} + \bar{K}Q + Q\bar{Q} = J\bar{Q} + Q(\bar{K} + \bar{Q}) = J\bar{Q} + Q(\bar{K}\bar{Q}) = J\bar{Q} \cdot Q \cdot (\bar{K}\bar{Q})$$

$$Q = (J + Q)(\bar{K} + \bar{Q})(Q + \bar{Q}) = (\bar{K} + \bar{Q}) \cdot (Q + (J\bar{Q})) = \bar{K}\bar{Q} \cdot \bar{Q}(J\bar{Q})$$

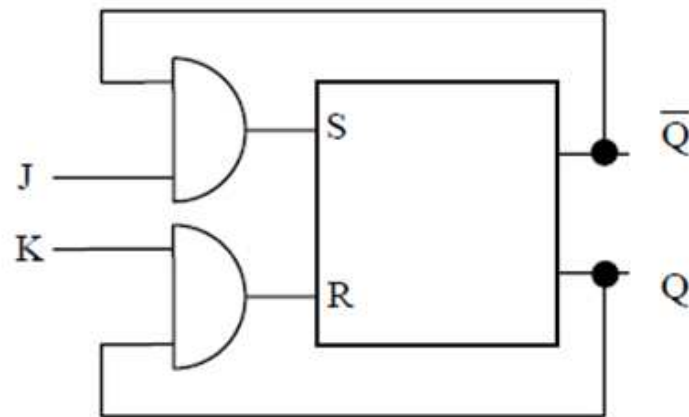
$$\bar{Q} = \bar{K}Q \cdot \bar{Q}(JQ)$$

# Les Bascules asynchrones

## Bascule JK simple

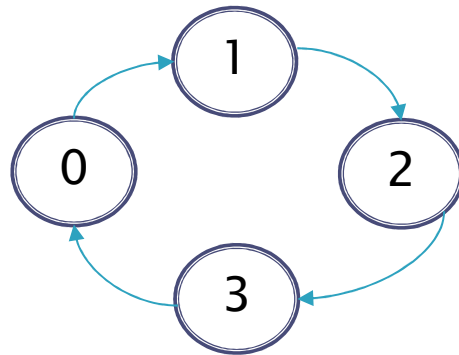


Basculer JK avec une bascule RS : si on pose :  $R = KQ$  et  $S = J\bar{Q}$



# Les Bascules asynchrones

Exemple : réaliser un circuit qui permet de faire le cycle suivant à l'aide des bascules JK :



Solution :

1- Table d'excitation de la bascule JK :

Q	Q+	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

# Les Bascules asynchrones

Solution (suite) :

2- Table d'implication du circuit :

Q2	Q1	Q2+	Q1+	J2	K2	J1	K1
0	0	0	1	0	X	1	X
0	1	1	0	1	X	X	1
1	0	1	1	X	0	1	X
1	1	0	0	X	1	X	1

Donc on a :

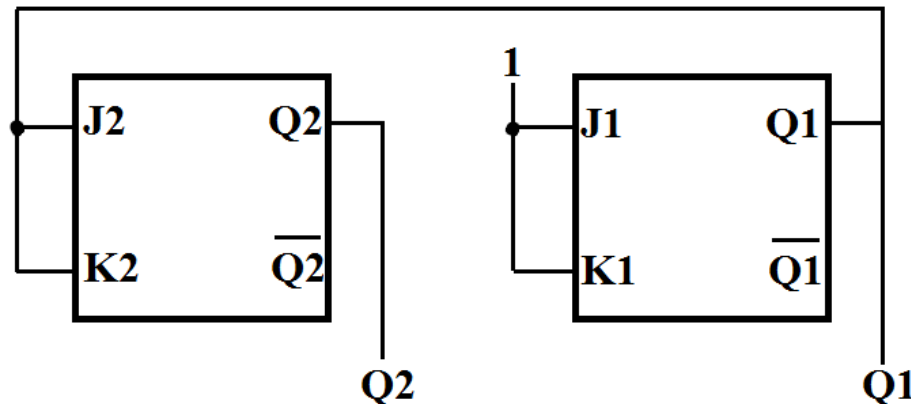
$$J2 = Q1$$

$$K2 = Q1$$

$$J1 = 1$$

$$K1 = 1$$

3-Schéma :



# Les Bascules asynchrones

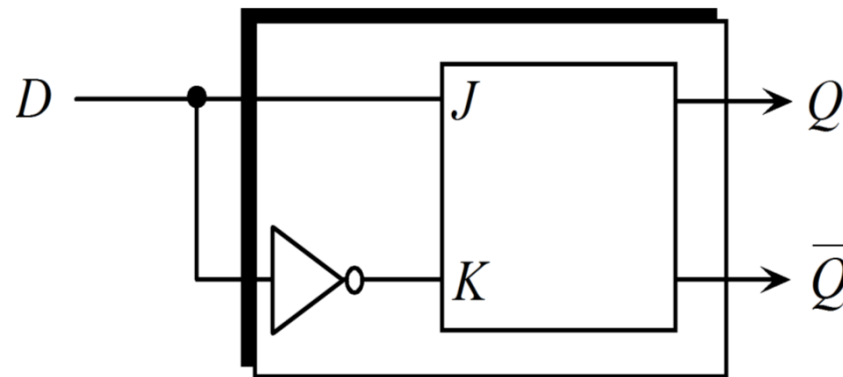
## Bascule D

La bascule D possède une seule entrée D. Son principe de fonctionnement est donné par la table suivante :

D	Q+	
0	0	Mise à 0
1	1	Mise à 1

Quelque soit l'état actuel (Q), l'état future (Q+) dépend toujours de l'entrée D,

En se basant sur une bascule JK on peut représenter la bascule D comme suit : (si on note  $J=D$  et  $K=\bar{D}$ )



# Les Bascules asynchrones

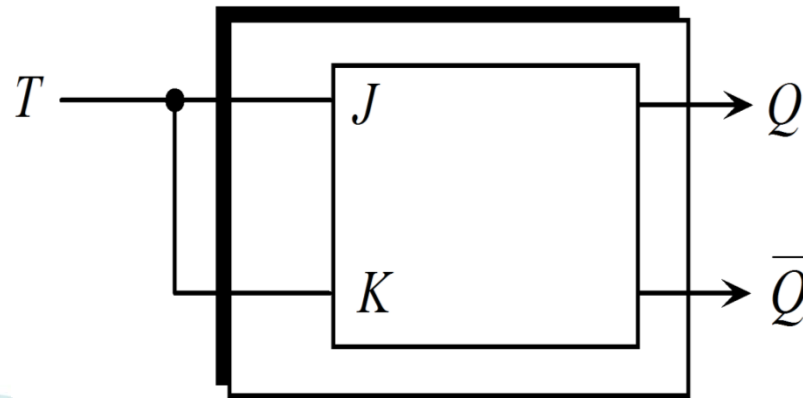
## Bascule T

La bascule T possède une seule entrée T. Son principe de fonctionnement est donné par la table suivante :

T	$Q+$	
0	$Q$	Mémoire
1	$\bar{Q}$	Basculement

La bascule garde l'état précédent lorsque  $T=0$ , et elle effectue le basculement (inversement) lorsque  $T=1$ ,

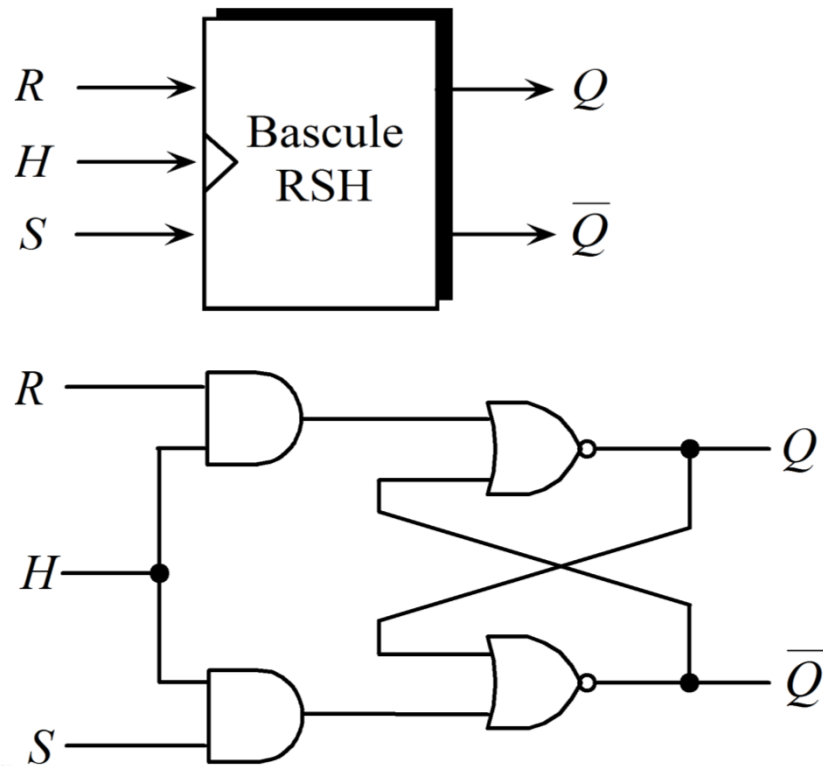
En se basant sur une bascule JK on peut représenter la bascule T comme suit : (si on note  $J=T$  et  $K=T$ )



# Les Bascules synchrones

## Bascule RS Synchrone (RST ou RSH)

On rajoute une entrée d'horloge H (validation) à la bascule RS. Schématisé pour le cas front montant sous la forme suivante ::

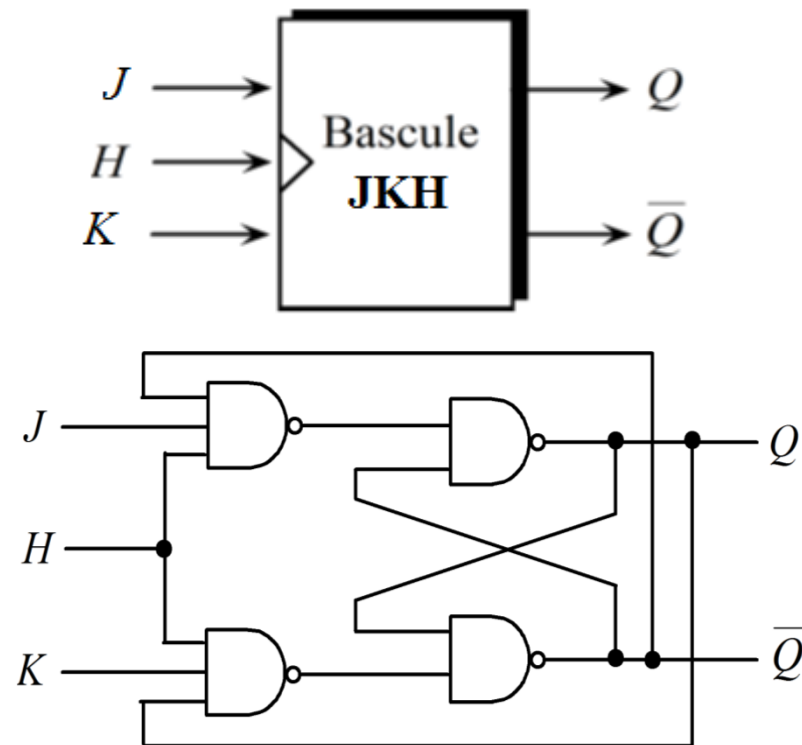


H	S	R	Q+	
0	X	X	Q	Mémoire
1	0	0	Q	Mémoire
1	1	0	1	Set à 1
1	0	1	0	Reset 0
1	1	1	X	interdit

# Les Bascules synchrones

## Bascule JK Synchrone (JKT ou JKH)

De même on peut faire avec la bascule JK, on obtient une bascule JK synchrone avec le principe suivant :

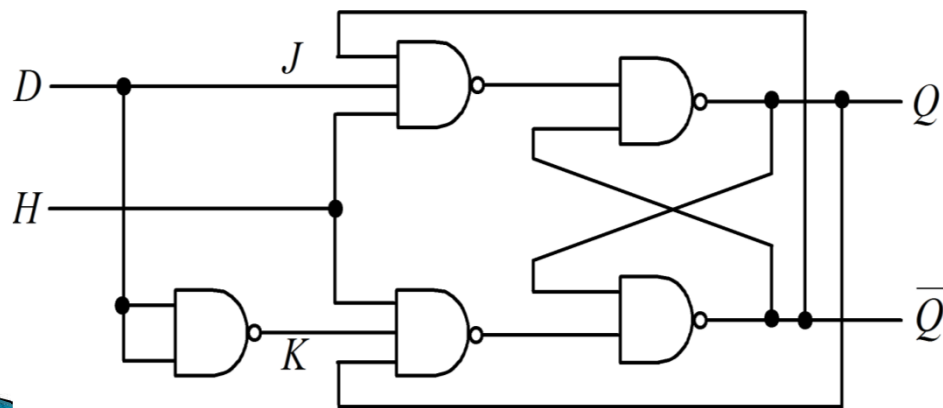
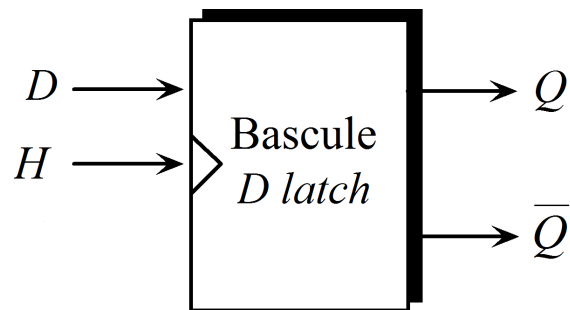


H	J	K	$Q+$	
0	X	X	$Q$	Mémoire
1	0	0	$Q$	Mémoire
1	1	0	1	Set à 1
1	0	1	0	Reset 0
1	1	1	$\bar{Q}$	Basculement

# Les Bascules synchrones

## Bascule D à verrou (D latch)

Le principe de la bascule D est qu'elle recopie la donnée D dans la sortie, ceci n'a aucun intérêt dans l'absence d'un signal d'horloge (pas de mémorisation ou basculement). Voici le principe avec l'horloge :



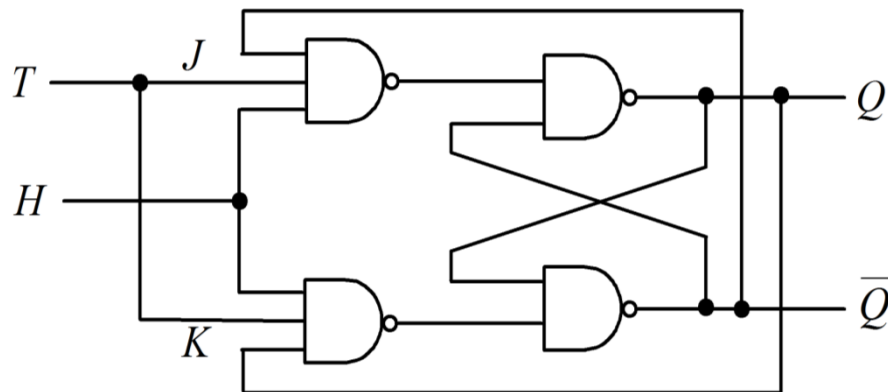
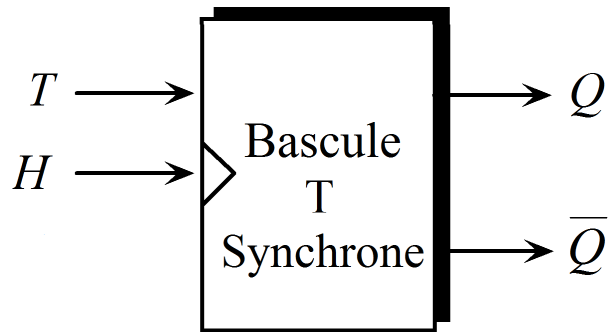
H	Q+	
0	Q	Mémoire
1	D	Data

Avec ce principe la bascule D latch est très utile pour la conception des mémoires

# Les Bascules synchrones

## Bascule T synchrone

Avec un signal d'horloge dans la bascule T, si on fixe  $T=1$  (par exemple), la bascule effectue le basculement à chaque top d'horloge.



H	T	$Q+$	
0	X	$Q$	Mémoire
1	0	$Q$	Mémoire
1	1	$\bar{Q}$	Basculement

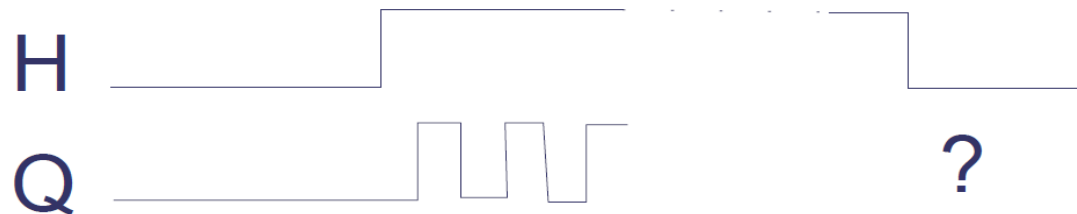
Avec ce principe la bascule T synchrone est très utile pour la conception des compteurs

# Les Bascules Maître-Esclave

Prenant l'exemple la bascule JK:

supposons  $J=K=1$  et  $Q=0$

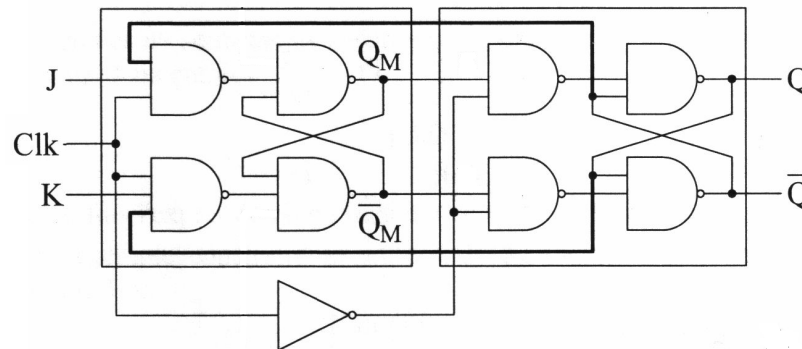
- Quand le signal d'horloge passe à 1, Q va passer à 1,
- Le changement se produit après un intervalle de temps  $\Delta t$
- On a alors  $J=K=Q=1$  et le signal d'horloge est toujours 1 Q doit revenir à 0 ! d'où des oscillations pendant la durée du signal d'horloge



# Les Bascules Maître-Esclave

**Solution au problème** : au lieu d'un simple asservissement (bascule J-K) on monte en cascade deux bascules JK en asservissant les entrées de la première (Maître) aux sorties de la seconde (Esclave)

Pendant la  $n$ ème impulsion, le signal d'horloge est haut pour le maître, bas pour l'esclave. Par conséquent  $Q_n$  est invariante pendant la durée de temps de propagation et le problème précédent est résolu,



Quand le signal d'horloge revient à 0 pour le maître qui devient bloqué, l'esclave est libéré et on a alors :

$$(Q_M=1, Q_M=0) \Rightarrow (J=1, K=0) \Rightarrow (Q_{n+1}=1, Q_{n+1}=0)$$

$$(Q_M=0, Q_M=1) \Rightarrow (J=0, K=1) \Rightarrow (Q_{n+1}=0, Q_{n+1}=1)$$

On a transféré l'état de la bascule maître à la bascule esclave

# Synchronisation des bascules

La synchronisation des bascules est effectuée par l'horloge, on a donc plusieurs types de synchronisations :

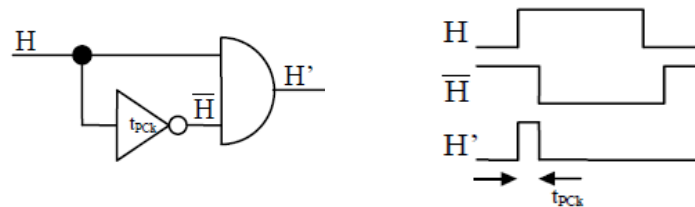
➤ Sur niveau d'horloge :

➤ Niveau haut ( $H=1$ )

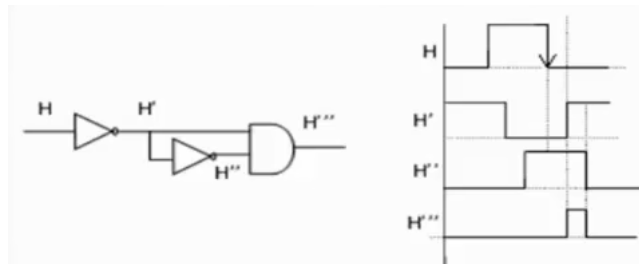
➤ Niveau bas ( $H=0$ ) en utilisant un inverseur

➤ Sur front d'horloge ( temps entre le passage d'un niveau à l'autre)

➤ Front montant



➤ Front descendant

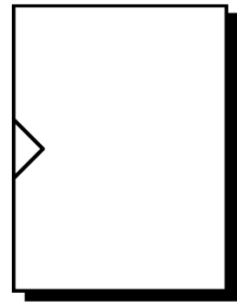


➤ Par impulsions

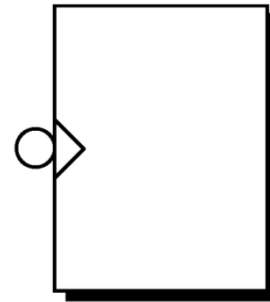
# Introduction

Horloge : Front montant ou descendant

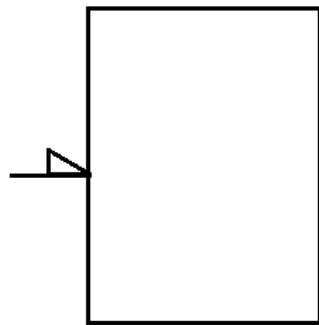
Représentation schématique :



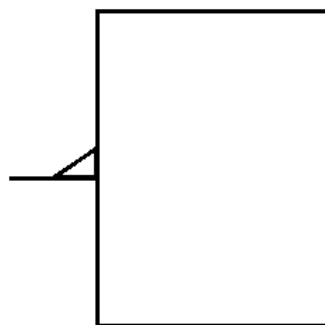
Front montant



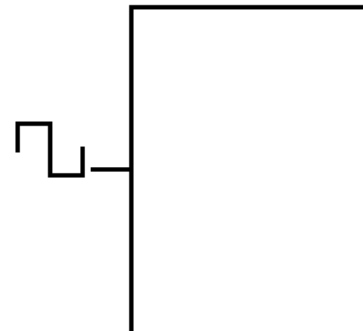
Front descendant



Niveau bas



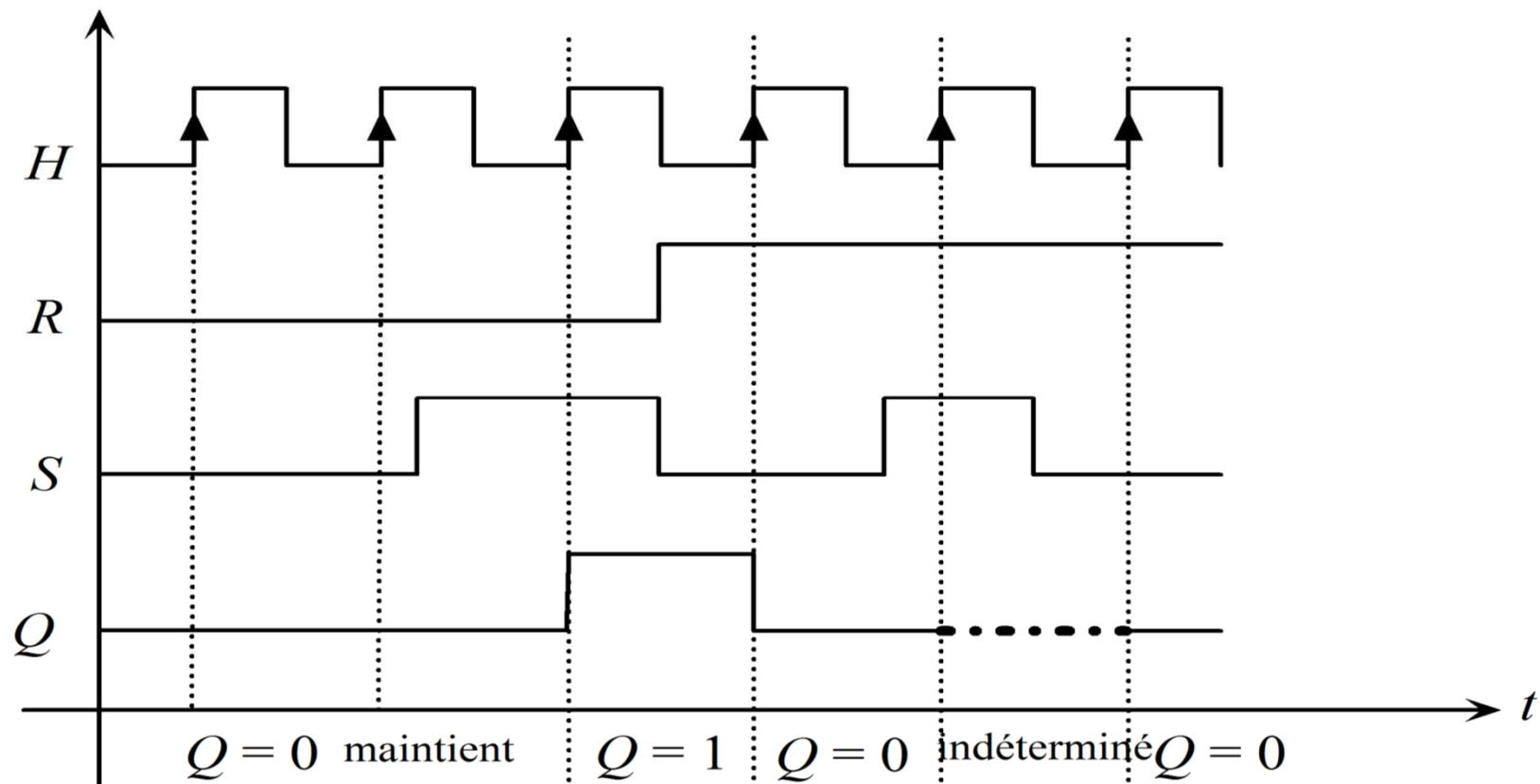
Niveau haut



Impulsions

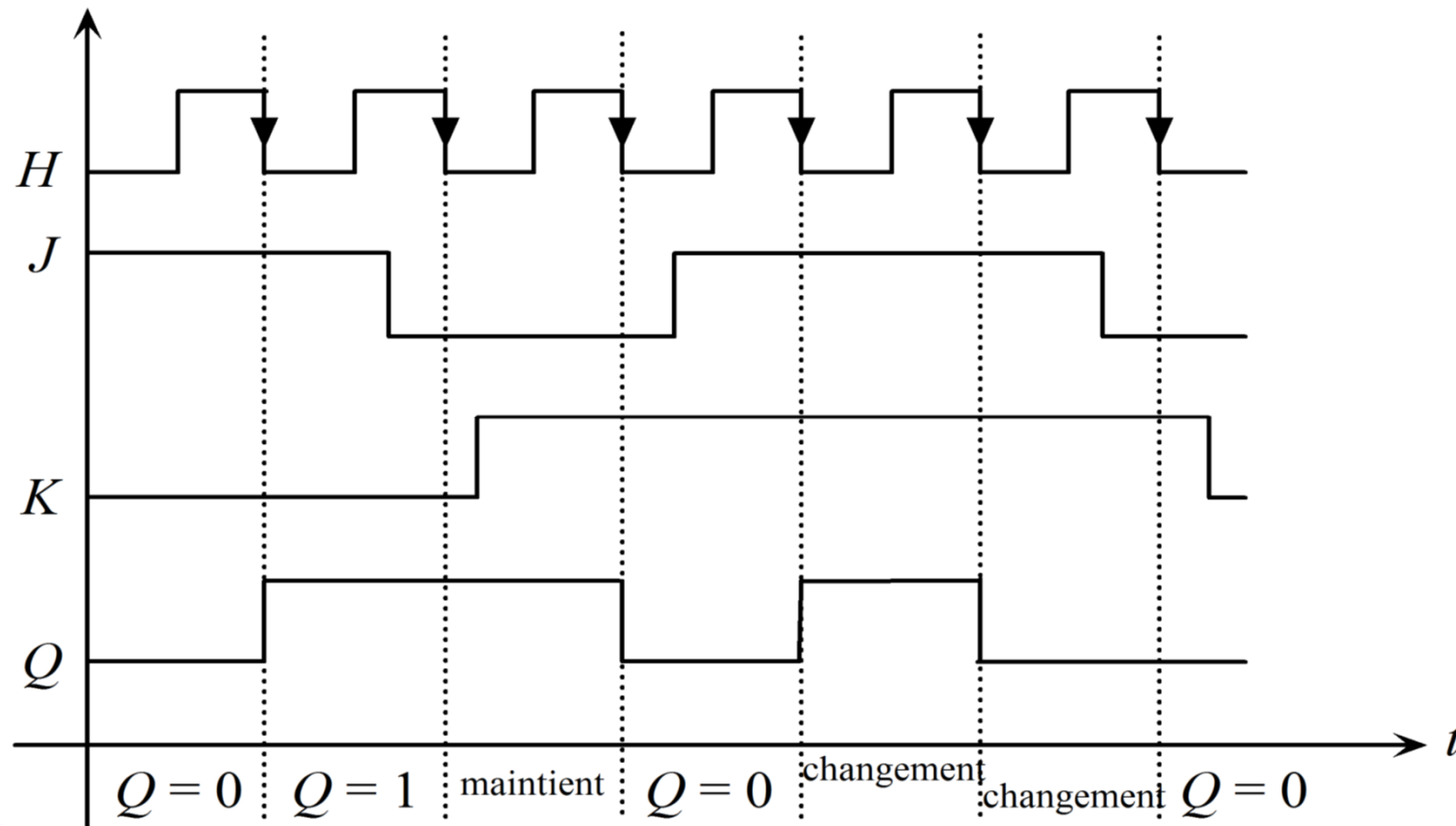
# Chronogramme

Exemple 1 : Le chronogramme de fonctionnement d'une bascule RSH sur front montant, avec l'état initial  $Q = 0$



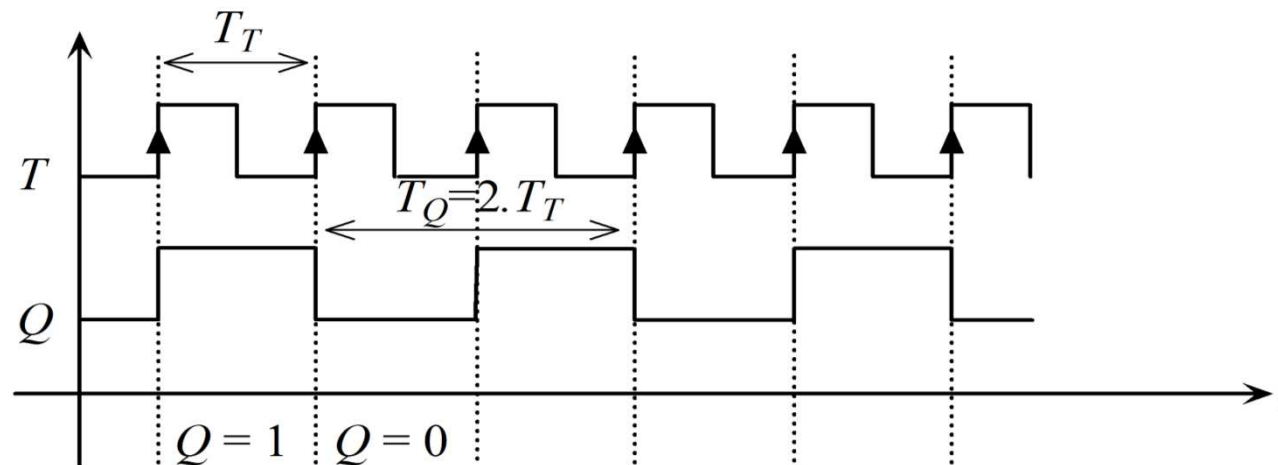
# Chronogramme

Exemple 2 : Le chronogramme de fonctionnement d'une bascule JKH sur front descendant, avec au départ  $Q = 0$



# Chronogramme

Exemple 3 : Le chronogramme de fonctionnement d'une bascule T sur front montant, avec initialement  $Q = 0$  (on implante H directement à l'entrée T)



On remarque ici que  $Q$  représente des impulsions 2 fois plus long que les impulsions de  $T$ , on appelle ça **division de fréquence**,

# Compteurs synchrones

Dans un compteur synchrone tous les bascules sont soumis au même signal d'horloge,

**Exemple1** : réaliser un compteur synchrone modulo 8 (0,1,2,...,7,0,1,...) en utilisant les bascules T synchrones sur front montant

## Solution 1

$8=2^3$  Donc on a besoin de 3 bascules

Table d'excitation de T :

Q	Q+	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Table d'états des transitions

Q2	Q1	Q0	Q2 <sup>+</sup>	Q1 <sup>+</sup>	Q0 <sup>+</sup>	T2	T1	T0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1	1	1

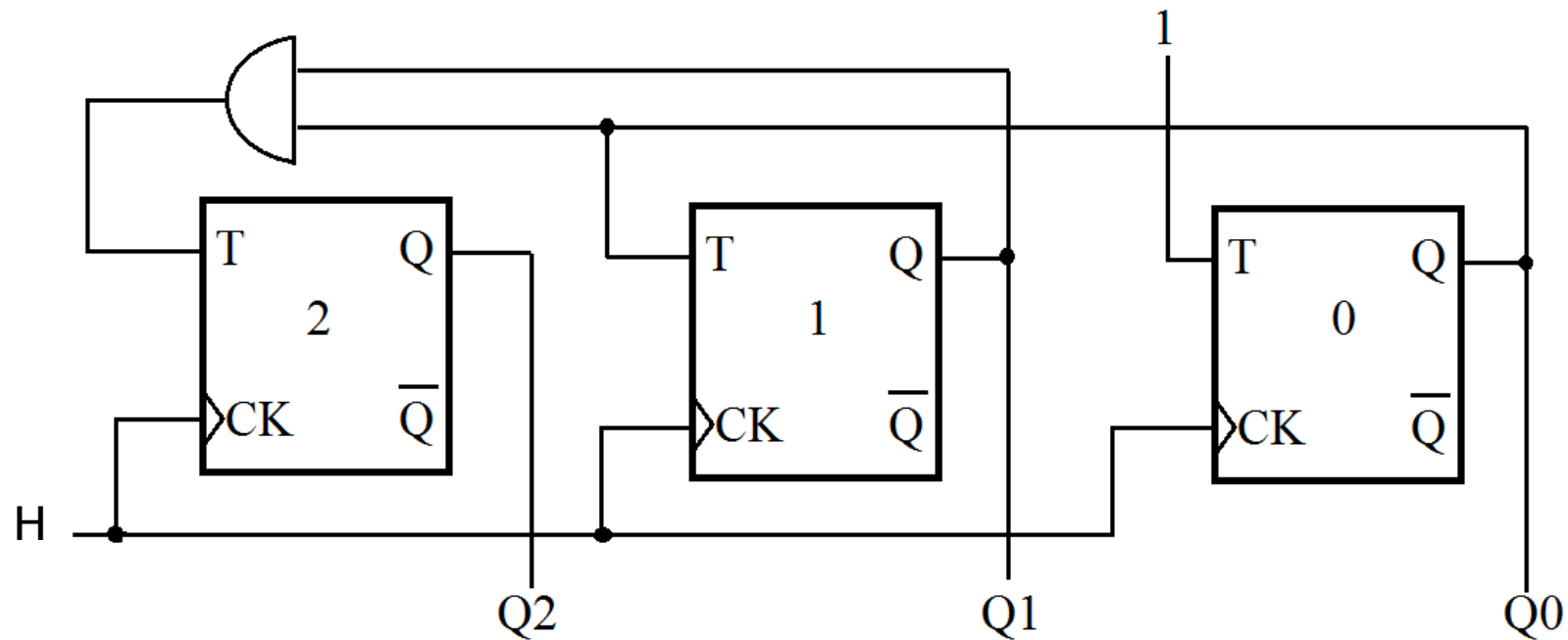
# Compteurs synchrones

Solution 1 (suite)

Les équations :

$$T_0 = 1, T_1 = Q_0, T_2 = Q_1 Q_0$$

Le schéma logique :



# Compteurs synchrones

Exemple 2 : réaliser un compteur synchrone modulo 5 (0,1,2,...,4,0,1,...) en utilisant les bascules D synchrones sur front montant

Solution 2

$4 < 5 < 8$  on prend le plus grand : Donc  $8 = 2^3$  on a besoin de 3 bascules

Table d'excitation de D :

Q	Q+	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Table d'états des transitions

Q2	Q1	Q0	Q2 <sup>+</sup>	Q1 <sup>+</sup>	Q0 <sup>+</sup>	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	X	X	X	X	X	X
1	1	0	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X

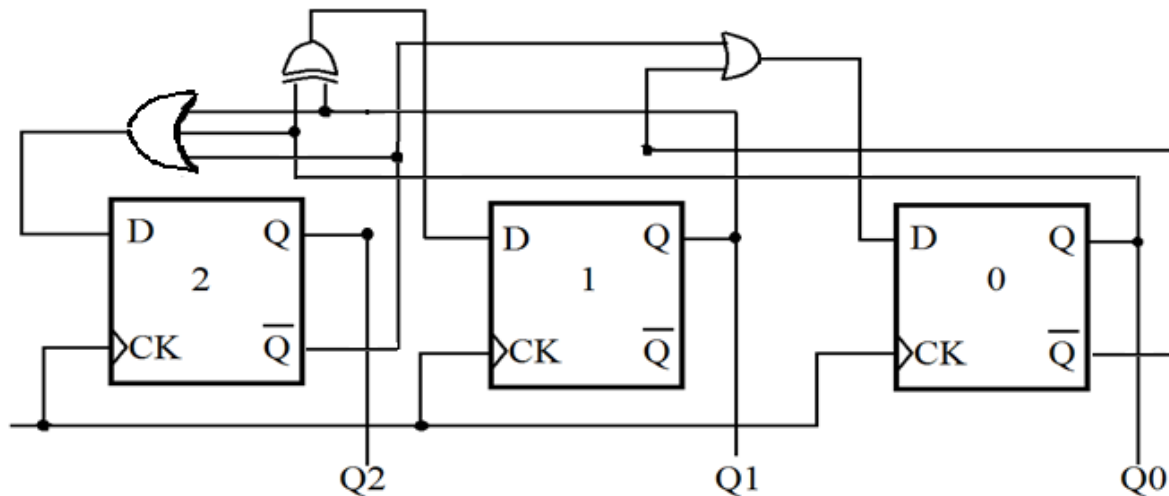
# Compteurs synchrones

Solution 2 (suite)

Les équations :

$$D0 = \overline{Q0} + \overline{Q2}, \quad D1 = Q0 \oplus Q1, \quad D2 = Q0 + Q1 + \overline{Q2}$$

Le schéma logique :



# Compteurs synchrones

Exemple 3 : réaliser un décompteur synchrone modulo 8 (7,6,5,...,1,0,7,...) en utilisant les bascules T synchrones sur front montant

Solution 3

$8 = 2^3$  on a besoin de 3 bascules

Table d'excitation de T :

Q	Q+	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Table d'états des transitions

Q2	Q1	Q0	$Q_2^+$	$Q_1^+$	$Q_0^+$	T2	T1	T0
1	1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1

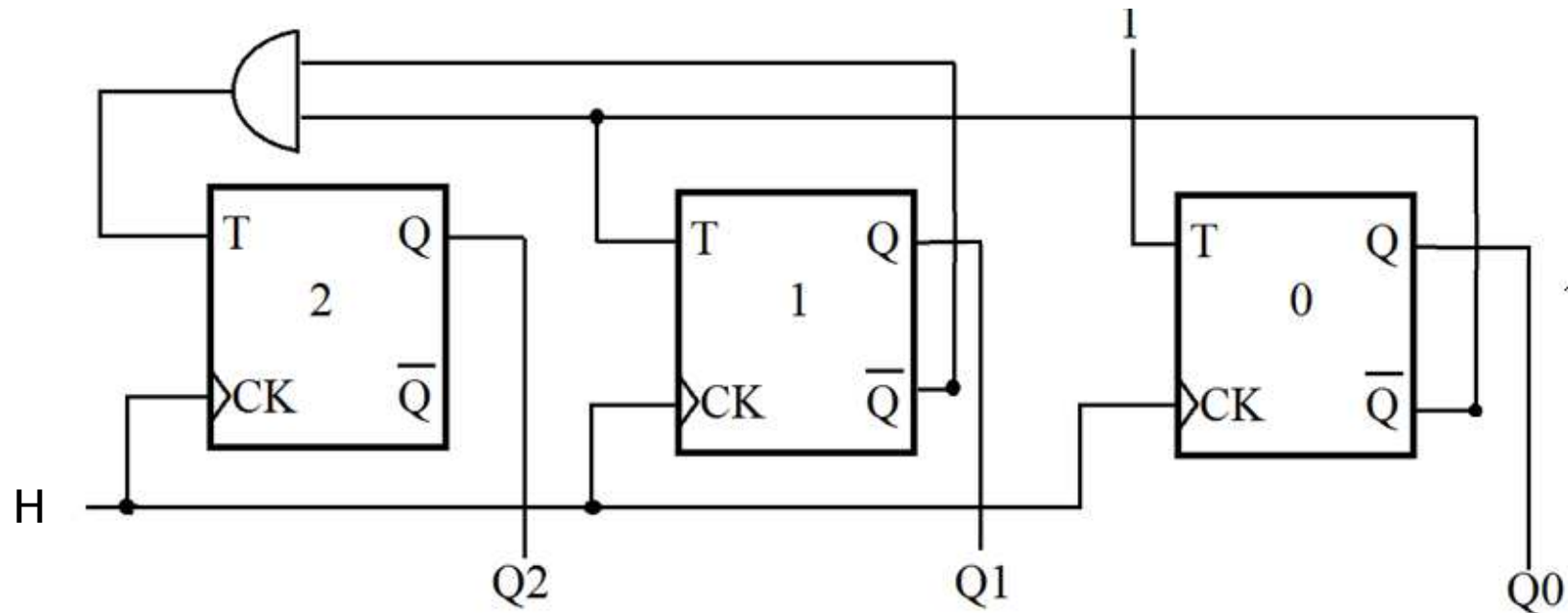
# Compteurs synchrones

Solution 1 (suite)

Les équations :

$$T_0 = 1, T_1 = \overline{Q_0}, T_2 = \overline{Q_1} \overline{Q_0}$$

Le schéma logique :



# Compteurs asynchrones

Initialisation des bascules :

Les bascules peuvent contenir (en plus des entrées) des commandes supplémentaires pour les initialiser, se sont des entrées prioritaires

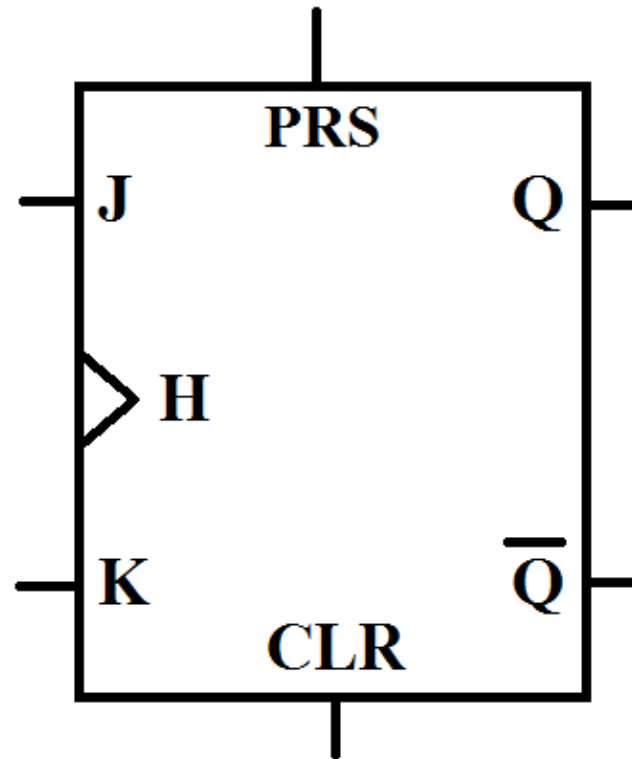
On a l'entrée **CLEAR** qui remise à zéro la bascule et l'entrée **PRESET** qui remise à 1 la bascule.

Exemple : bascule JKH avec les entrées d'initialisation :

CLR	PRS	Q+	T
0	0	JK fonctionne selon l'horloge est les entrées J et K	
0	1	1	Remise à 1 prioritaire
1	0	0	Remise à 0 prioritaire
1	1	Q	Etat Mémoire

# Compteurs asynchrones

Exemple : bascule JKH avec les entrées d'initialisation :



# Compteurs asynchrones

Dans un compteur asynchrone seule la première bascule est synchronisée avec le signal d'horloge et pour les autres chacune est synchronisée à part (pas avec le même signal d'horloge),

**Exemple1** : réaliser un compteur asynchrone modulo 8 (0,1,2,...,7,0,1,...) en utilisant les bascules T synchrones

## Solution 1

$8=2^3$  Donc on a besoin de 3 bascules

Table d'excitation de T :

Q	Q+	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

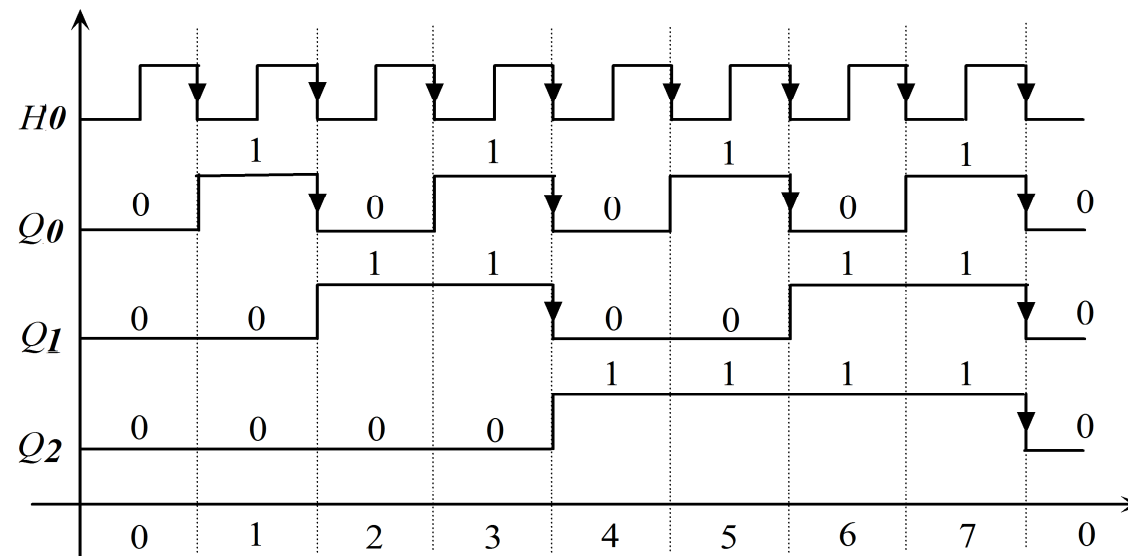
Table d'états des transitions

Val	Q2	Q1	Q0	Q2 <sup>+</sup>	Q1 <sup>+</sup>	Q0 <sup>+</sup>
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1
5	1	0	1	1	1	0
6	1	1	0	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0

# Compteurs asynchrones

## Solution 1 (Suite)

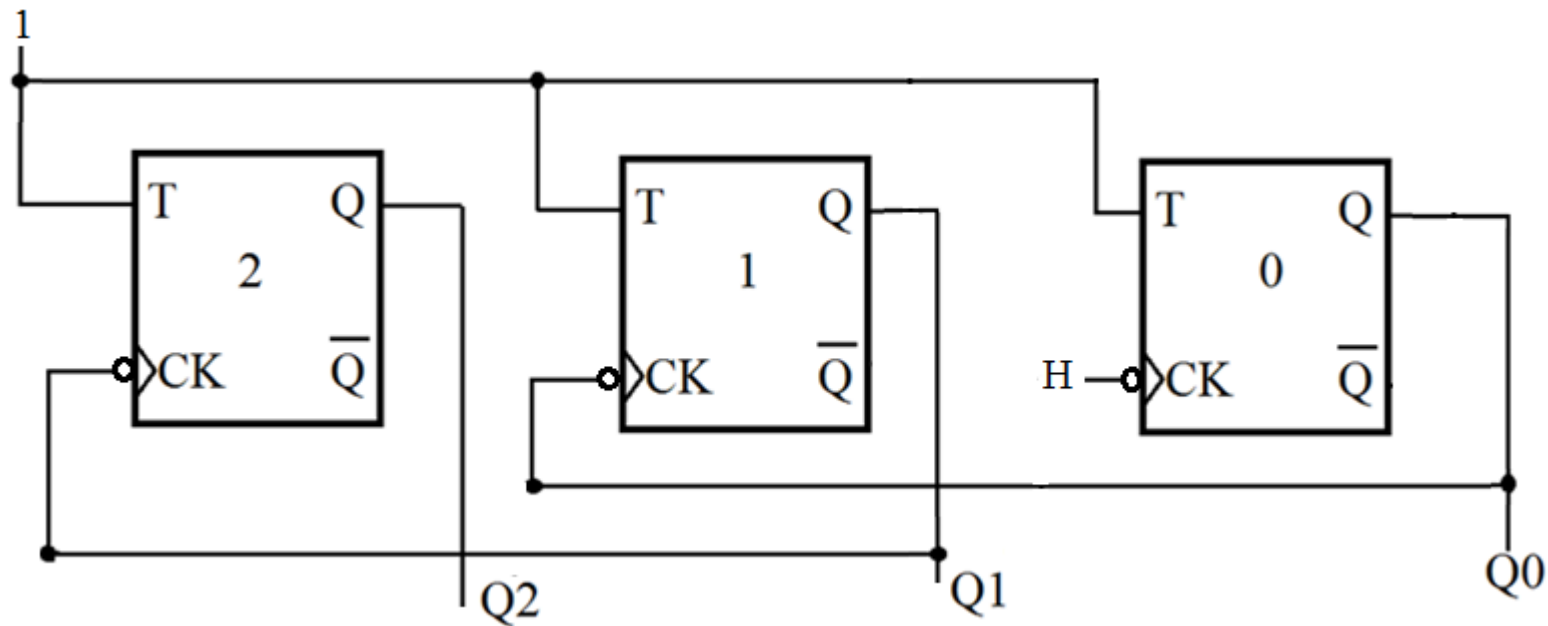
D'après la table on constate que Q1 change d'état lorsque Q0 passe de 1 vers 0, la même chose pour Q2, elle change d'état lorsque Q1 passe de 1 vers 0, c'est pourquoi on a choisi des bascules synchronisées sur front descendant. D'après le chronogramme on peut déterminer les expressions des entrées des bascules : Q0 fait le basculement à chaque front descendant de l'horloge H0,  $T_0=1$ , Q1 suit les fronts déterminés par Q0. Donc  $T_1=1$  et  $H_1=Q_0$ , de même pour Q2 on a  $T_2=1$  et  $H_2=Q_1$



# Compteurs asynchrones

Solution 1 (Suite)

Donc voici le logigramme du compteur asynchrone



# Compteurs asynchrones

Exemple2 : réaliser un compteur asynchrone modulo 5 (0,1,2,...,4,0,1,...) en utilisant les bascules T synchrones sur front descendant

Solution 2 :  $8=2^3$  Donc on a besoin de 3 bascules

Table d'états des transitions

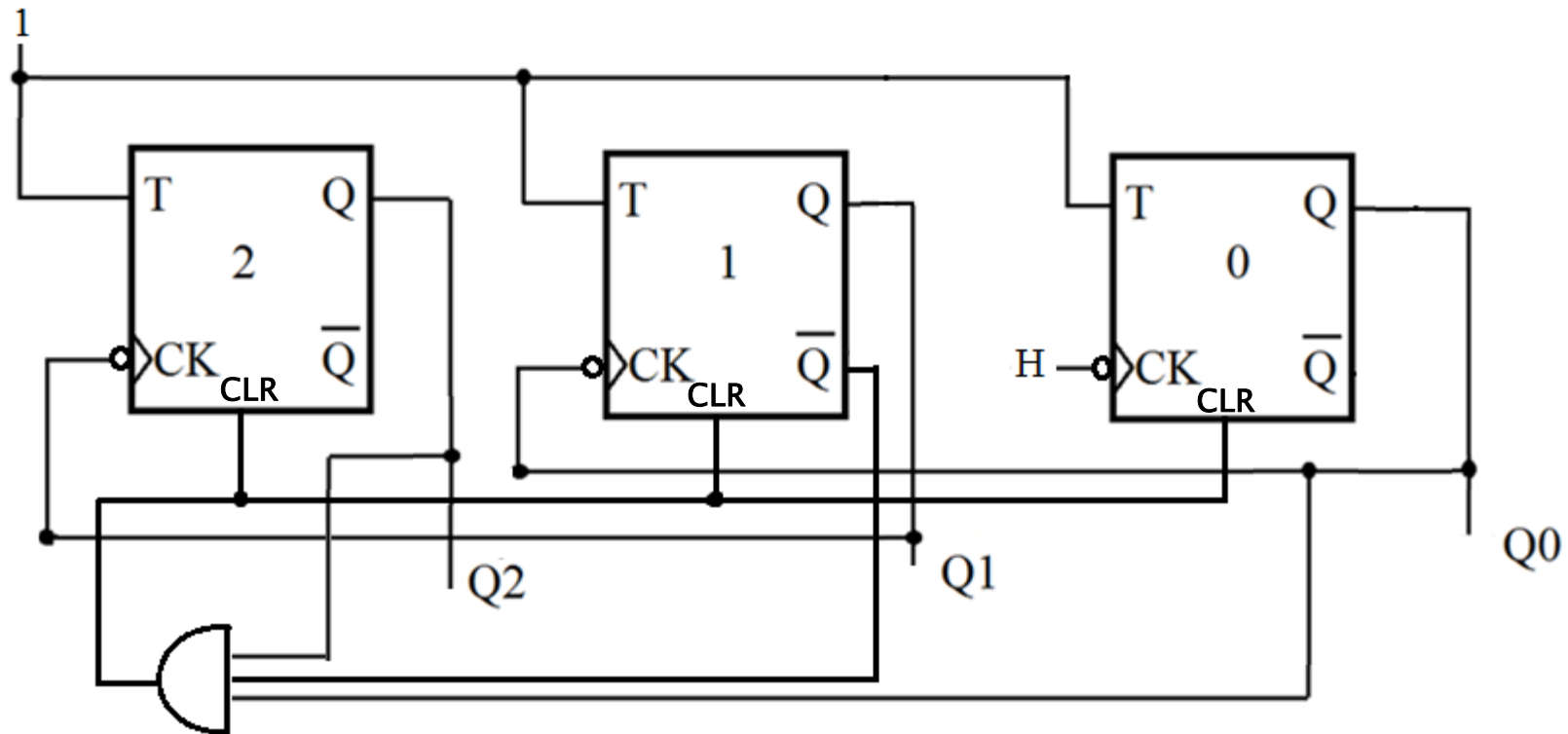
Val	Q2	Q1	Q0	$Q_2^+$	$Q_1^+$	$Q_0^+$	Clr2	Clr1	Clr0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	1	1	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	X	X	X	1	1	1

Pour annuler la valeur 5 et forcer le compteur à revenir à 0 après qu'il la rencontre, on utilise les fonctions clear des bascules

On remarque :  $Clr0 = Clr1 = Clr2 = Q_0\overline{Q_1}Q_2$

# Compteurs asynchrones

Solution 2 (suite) : Logigramme



# Compteurs asynchrones

Exemple3 : réaliser un décompteur asynchrone modulo 8 (0,1,2,...,7,0,1,...) en utilisant les bascules T synchrones

Solution 3

$8=2^3$  Donc on a besoin de 3 bascules

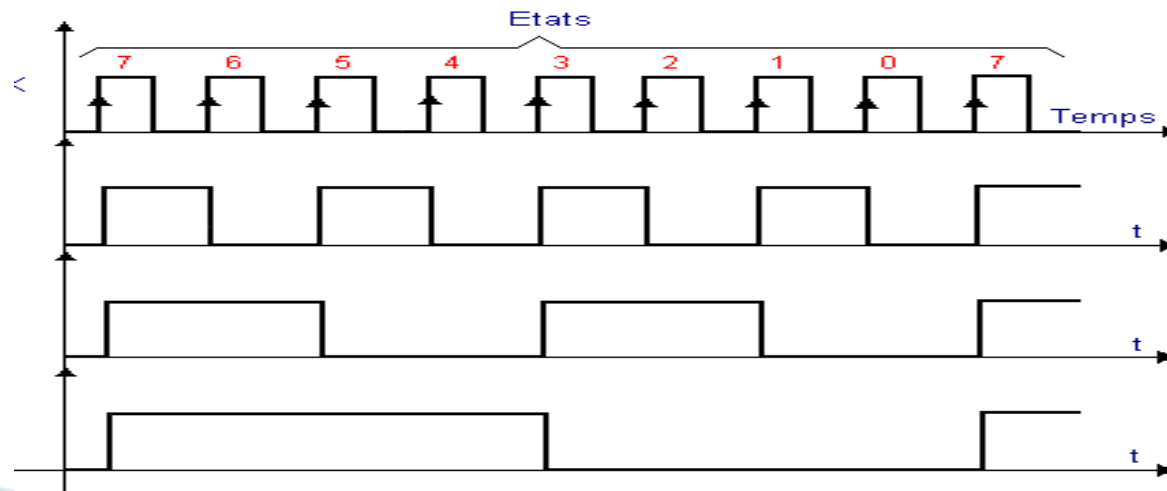
Table d'états des transitions

Val	Q2	Q1	Q0	$Q_2^+$	$Q_1^+$	$Q_0^+$
7	1	1	1	1	1	0
6	1	1	0	1	0	1
5	1	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1	1
3	0	1	1	0	1	0
2	0	1	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1

# Compteurs asynchrones

## Solution 3 (suite)

D'après la table on constate que Q1 change d'état lorsque Q0 passe de 0 vers 1, la même chose pour Q2, elle change d'état lorsque Q1 passe de 0 vers 1, c'est pourquoi on a choisi des bascules synchronisées sur front montant. D'après le chronogramme on peut déterminer les expressions des entrées des bascules : Q0 fait le basculement à chaque front montant de l'horloge H0,  $T0=1$ , Q1 suit les fronts déterminés par Q0. Donc  $T1=1$  et  $H1=Q0$ , de même pour Q2 on a  $T2=1$  et  $H2=Q1$



# Compteurs asynchrones

Solution 3 (Suite)

Donc voici le logigramme du compteur asynchrone

