



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

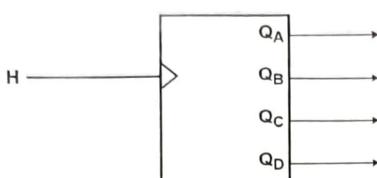


## **Chapitre 7**

### **Les compteurs**

## Introduction

- ❖ Dans des nombreuses applications on est amené à faire de comptage : Comptage d'impulsions dans un temps donné pour la mesure de fréquence par exemple.
- ❖ Dans un cas il est nécessaire de compter dans d'autre, il faut décompter à partir de zéro ou d'un autre nombre donné.
- ❖ Un compteur, au sens large de terme, sera susceptible de fonctionner en compteur proprement dit (up counter) ou encore en décompteur (down counter) et dans lequel on pourra introduire un nombre de départ quelconque c'est-à-dire que l'on peut initialiser ou charger (load).
- ❖ Un compteur est un circuit qui compte des impulsions et qui affiche sur ses sorties le nombre d'impulsions qu'il a reçues depuis le début du comptage (en binaire évidemment).
- ❖ On le représente par le schéma suivant (exemple d'un compteur sur 4 bits synchronisé sur front montant)



- ❖  $Q_A$  est bien sur la sortie de poids faible et  $Q_D$  celle de poids fort.

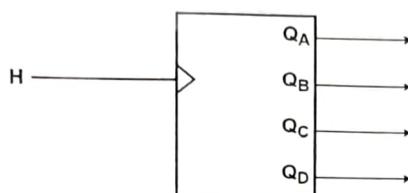
1

- ❖ Il existe 2 types de compteurs:
  - Les compteurs asynchrones.
  - Les compteurs synchrones.
- ❖ Les termes « synchrones » et « asynchrones » n'ont pas la même signification que pour les bascules et les 2 types de compteurs sont réalisés avec des bascules synchrones.
- ❖ La capacité d'un compteur encore appelée MODULO est le nombre maximum d'états différents que peuvent prendre l'ensemble de ses sorties.

2

## Introduction

- ❖ Dans des nombreuses applications on est amené à faire de comptage : Comptage d'impulsions dans un temps donné pour la mesure de fréquence par exemple.
- ❖ Dans un cas il est nécessaire de compter dans d'autre, il faut décompter à partir de zéro ou d'un autre nombre donné.
- ❖ Un compteur, au sens large de terme, sera susceptible de fonctionner en compteur proprement dit (up counter) ou encore en décompteur (down counter) et dans lequel on pourra introduire un nombre de départ quelconque c'est à dire que l'on peut initialiser ou charger (load).
- ❖ Un compteur est un circuit qui compte des impulsions et qui affiche sur ses sorties le nombre d'impulsions qu'il a reçues depuis le début du comptage (en binaire évidemment).
- ❖ On le représente par le schéma suivant (exemple d'un compteur sur 4 bits synchronisé sur front montant)



- ❖ Q<sub>A</sub> est bien sur la sortie de poids faible et Q<sub>D</sub> celle de poids fort.

1

- ❖ Il existe 2 types de compteurs:

- Les compteurs asynchrones.
- Les compteurs synchrones.

- ❖ Les termes « synchrones » et « asynchrones » n'ont pas la même signification que pour les bascules et les 2 types de compteurs sont réalisés avec des bascules synchrones.
- ❖ La capacité d'un compteur encore appelée MODULO est le nombre maximum d'états différents que peuvent prendre l'ensemble de ses sorties.

2

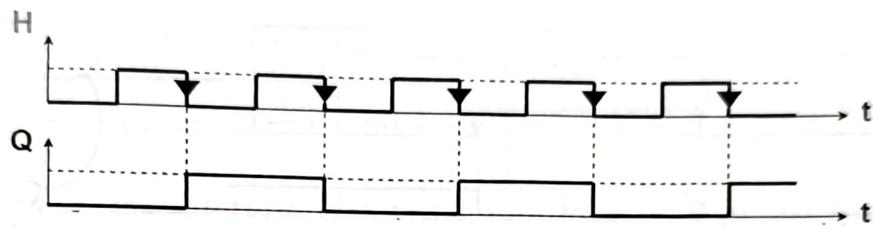
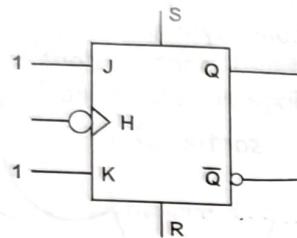
## Les compteurs asynchrones

### Rappel sur les entrées de forçage des bascules

En plus des entrées 'normales', RS, D ou JK et de l'entrée d'horloge H, les bascules possèdent des entrées de mise à 0 (Reset) ou de mise à 1 (Set ou Preset) en général actives à l'état bas et qui sont prioritaires par rapport à toutes les autres entrées.

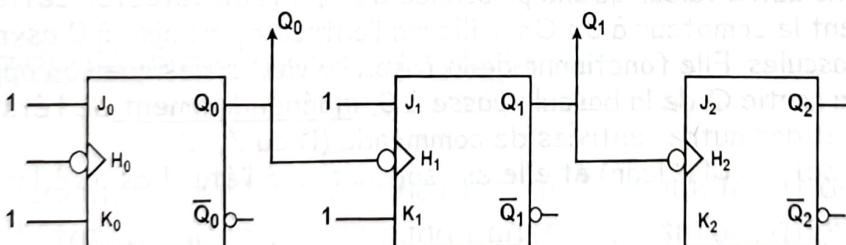
Dès que l'entrée Reset = 0,  $Q = 0$ ; dès que l'entrée Preset = 0,  $Q = 1$ .  
Evidemment, il faut éviter de les mettre toutes les 2 ensemble à 0.

- ❖ Les compteurs asynchrones sont réalisés avec des bascules montées en diviseurs de fréquence par 2 (avec des bascules JK, il suffit de mettre J et K à 1).
- ❖ Lorsque les entrées J et K de la bascule J-K sont à 1, la sortie Q au front d'horloge suivant est complémentée.
- ❖ La sortie change d'état sur un front descendant d'horloge.



3

### Compteur modulo $2^n$ (Exemple de 3 bits)

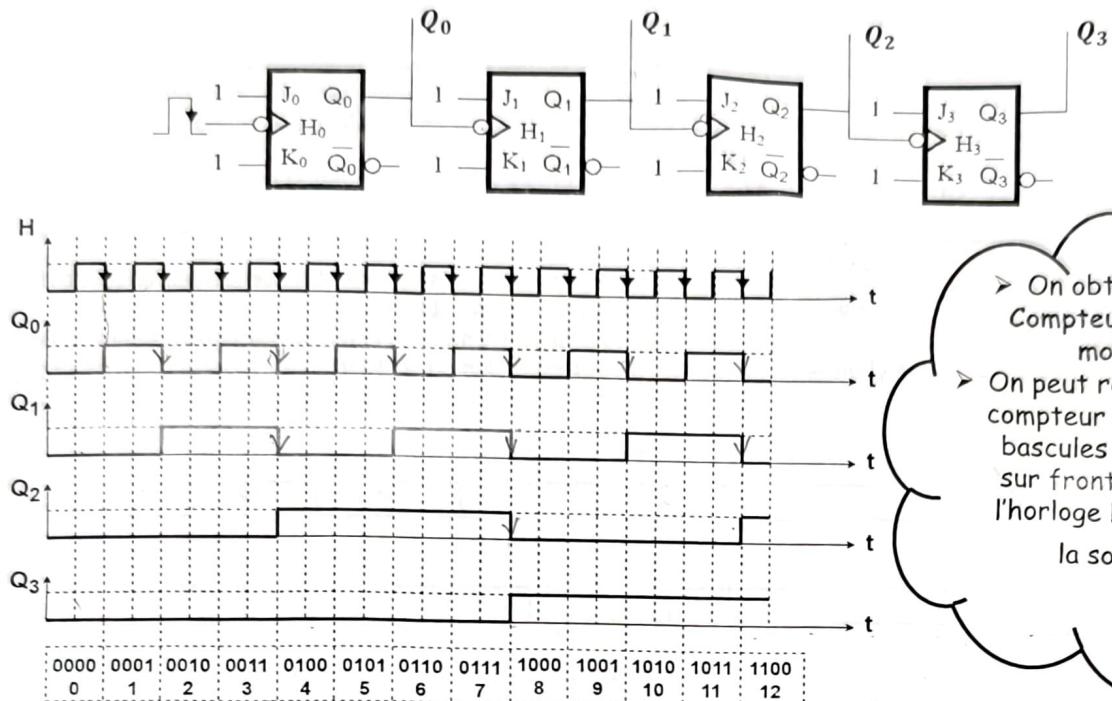


- ❖ Pour compter en binaire naturel, il faut que le bit de rang ( $i+1$ ) change d'état quand le bit de rang  $i$  repasse à 0: Si l'on utilise des bascules synchronisées sur front descendant, il suffit de relier les sorties  $Q_i$  aux entrées d'horloge des bascules de rang ( $i+1$ ), ce qui est réalisé sur le schéma ci-dessus.
- ❖ Le compteur représenté ici comptera donc de 0 (000) à 7 (111), le retour à 0 se faisant automatiquement à la 8ème impulsion d'horloge.
- ❖ En généralisant, on voit qu'avec  $n$  bascules, on obtient des compteurs modulo  $2^n$ .

4

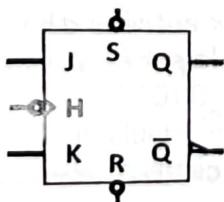
Exemple:

### Compteur asynchrone modulo 16 :

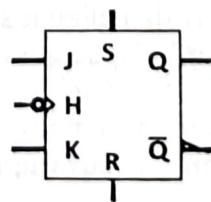


### Compteur modulo $\neq 2^n$ (Séquence Tronquée)

- Pour revenir à 0 sur une autre valeur qu'une puissance de 2, il faut détecter cette valeur et remettre immédiatement le compteur à 0 : On utilisera l'entrée de remise à 0 asynchrone que possèdent toutes les bascules. Elle fonctionne de la façon suivante: dès que l'on applique l'état actif sur cette entrée, la sortie  $Q$  de la bascule passe à 0, indépendamment de l'état de l'horloge et des autres entrées de commande (D ou J, K).
  - Elle est notée R (Reset) ou Cl (Clear) et elle est soit active à l'état bas ou à l'état haut.
- Ci-après les schémas de deux bascules JK, synchronisées sur front descendant. La première est munie d'une entrée de remise à 0 active à l'état bas alors que la deuxième est munie d'une entrée de remise à 0 active à l'état haut.



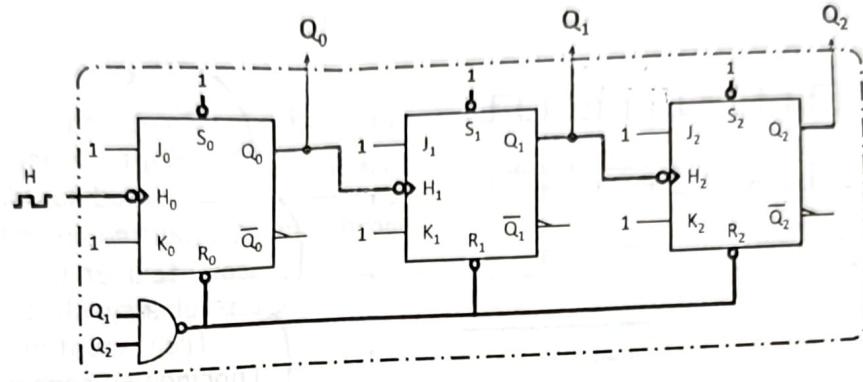
Reset active à l'état bas



Reset active à l'état haut

6

Par exemple pour réaliser un compteur asynchrone qui compte de 0 à 5 et qui revient à 0 à la 6<sup>ème</sup> impulsion, il faut détecter la valeur  $(6)_{10}$  soit  $(110)_2$  et activer les entrées Clear (R) des bascules. La remise à 0 doit être donc activée dès que  $Q_1 = Q_2 = 1$  et  $Q_0 = 0$  mais comme on compte par ordre croissant, c'est la 1<sup>ère</sup> fois que  $Q_1$  et  $Q_2$  sont tous les deux à 1 en même temps : il suffit donc de détecter le passage à 1 de ces 2 sorties et d'envoyer un 0 sur les entrées Clear (R) des 3 bascules actives à l'état bas, ce qui se fait avec une simple porte NAND selon le schéma suivant:



Par mesure de précaution, on remet à 0 toutes les bascules, même la bascule 0 qui est déjà.

7

## Les décompteurs asynchrones

### Décompteur modulo $2^n$ (Exemple de 3 bits)

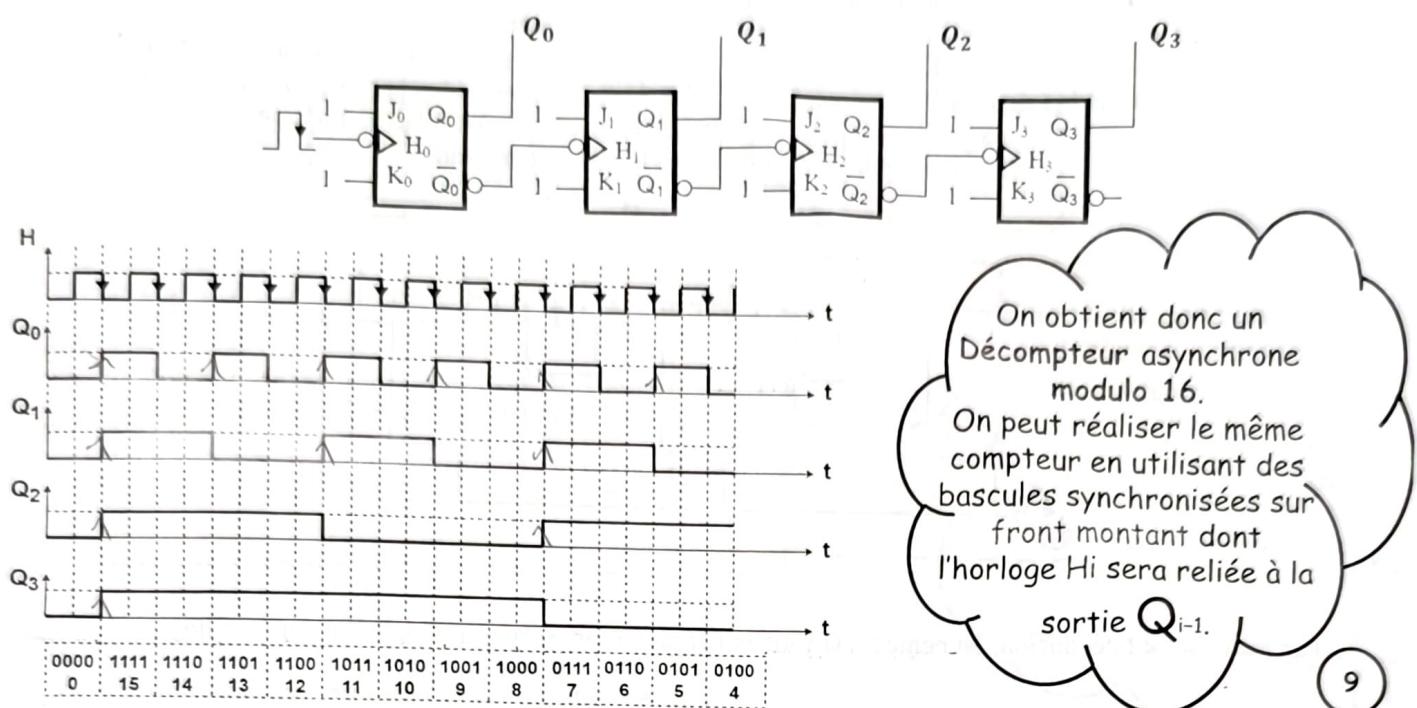
❖ Pour décompter en binaire naturel, il faut que le bit du rang  $(i+1)$  change d'état quand le bit de rang  $i$  passe à 1: si l'on utilise des bascules synchronisées sur front descendant, il suffit de relier les sorties  $\bar{Q}_i$  aux entrées d'horloge des bascules de rang  $(i+1)$ .

Le schéma est donc analogue à celui des compteurs modulo  $2^n$  en tenant compte de la remarque ci-dessus.

8

Exemple:

Décompteur asynchrone modulo 16 :



On obtient donc un Décompteur asynchrone modulo 16.

On peut réaliser le même compteur en utilisant des bascules synchronisées sur front montant dont l'horloge  $H_i$  sera reliée à la sortie  $Q_{i-1}$ .

9

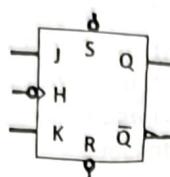
Décompteur modulo  $\neq 2^n$  (Séquence Tronquée)

- ❖ Le principe est analogue à celui des compteurs à quelques détails près: Pour réaliser un décompteur modulo  $n$ , on doit obtenir la séquence suivante:  $n-1, n-2, \dots, 3, 2, 1, 0, n-1, \dots$
- ❖ La valeur 0 doit bien exister et rester stable tant que la nième impulsion n'est pas arrivée: Si le modulo  $n$  était une puissance de 2, la valeur suivant 0 serait  $n-1$  c'est-à-dire que toutes les sorties des bascules seraient à 1.
- ❖ Par exemple pour réaliser un décompteur asynchrone qui décompte de 5 à 0 et qui revient à 5 à la 6ème impulsion, il faut détecter la valeur  $(7)_{10}$  soit  $(111)_2$  et la remplacer par  $(5)_{10}$  soit  $(101)_2$ .
- ❖ La méthode la plus simple serait de détecter la valeur  $(7)_{10}$  et de remettre la sortie  $Q_1$  à 0 en utilisant un simple NAND à 3 entrées.

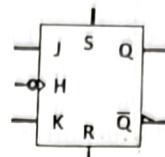
10

Pour plus de sécurité, on préfère repositionner toutes les sorties dans l'état correct c'est-à-dire 101. On doit donc utiliser des bascules disposant, en plus de l'entrée de remise à 0 (R) d'une entrée de remise à 1 fonctionnant de la même façon que l'entrée Clear: dès que l'on applique l'état actif sur cette entrée, la sortie Q de la bascule passe à 1, indépendamment de l'état de l'horloge et des entrées de commande (D ou J, K).

Elle est notée Pr (Preset) ou S (Set) et elle est soit active à l'état bas ou à l'état haut.

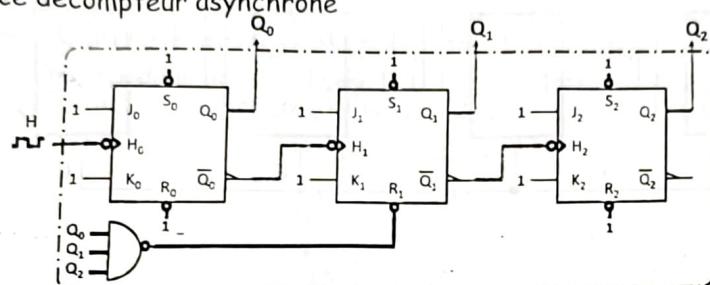


Set active à l'état bas



Set active à l'état haut

Le schéma de ce décompteur asynchrone



11

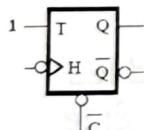
$$6 \rightarrow 0 - 1 = 111 = 6$$

6

## Utilisation des autres bascules

On peut utiliser d'autres types de bascules pour réaliser les compteurs/décompteurs asynchrones :

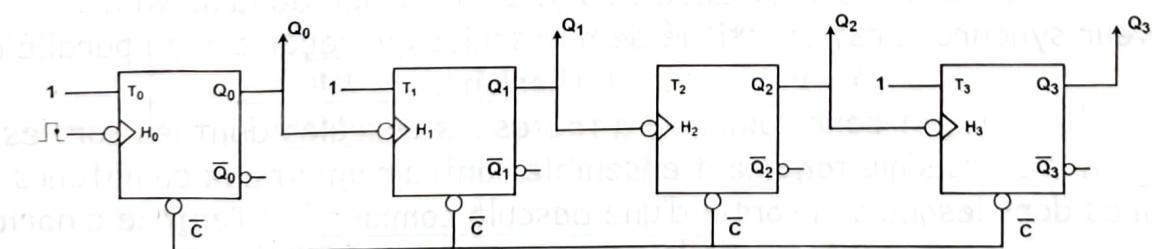
### Bascule T



Ce type de bascules changent d'états à chaque impulsion d'horloge, si l'entrée T=1 donc on peut construire des compteurs/décompteurs asynchrones à base des bascules T en utilisant le montage ci-dessous.

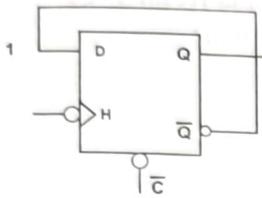
$Q_{n+1}$

$Q_n$	T	0	1
0		0	1
1		1	0



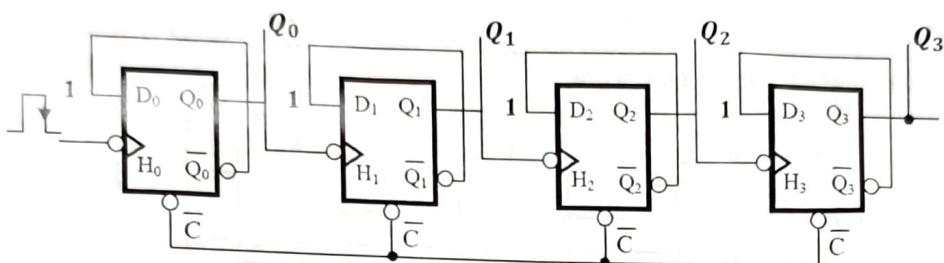
12

## Bascule D



Ce type de bascules changent d'états à chaque impulsion d'horloge. L'enclenchement est réalisé si  $D=1$  et le déclenchement est réalisé si l'entrée  $D=0$  donc si on relie  $D$  à  $Q$ , on obtient un changement d'état à chaque impulsion d'horloge. On peut construire des compteurs/décompteurs asynchrones à base des bascules D en utilisant le montage ci-dessous :

	$Q_{n+1}$	$0$	$1$
$Q_n$	$D$	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1



13

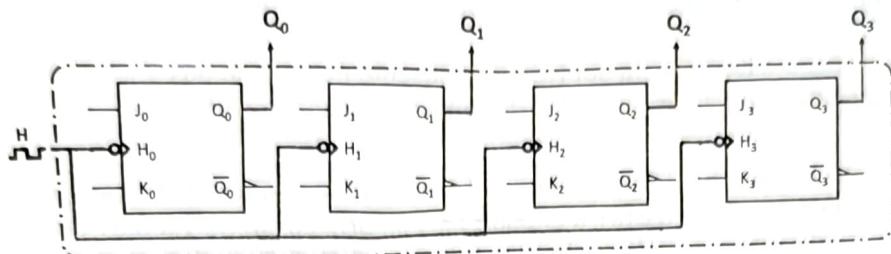
## Les compteurs Synchrones

### Définition

- ❖ Les compteurs asynchrones ont un certain nombre d'inconvénients, comme : On ne peut pas compter ou décompter que dans l'ordre binaire pur, c'est-à-dire, impossible par exemple de construire un compteur en code Gray.
- ❖ On préfère donc utiliser des compteurs dits **synchrones** : c'est quand les entrées d'horloge de toutes les bascules du compteur sont reliées au même signal d'horloge, contrairement aux compteurs asynchrones dans lesquels la sortie d'une bascule commandait l'entrée d'horloge de la suivante.
- ❖ Un compteur synchrone est constitué de  $n$  bascules qui reçoivent en parallèle le même signal d'horloge.
- ❖ L'entrée horloge est donc commune à toutes les bascules dont les sorties changent d'états simultanément ensemble contrairement aux compteurs asynchrones dans lesquels la sortie d'une bascule commandait l'entrée d'horloge de la suivante.

14

Pour un compteur de modulo  $\leq 16$ , cela donne schéma suivant :



- Le problème va donc consister à relier correctement les entrées  $J$  et  $K$  de chaque bascule aux sorties  $Q$  des autres bascules pour obtenir le cycle voulu.
- On va utiliser l'équation d'une bascule JK qui donne la valeur de la sortie  $Q_{n+1}$  en fonction de son état antérieur noté  $Q_n$  et des états de  $J$  et  $K$  au moment du front d'horloge, soit:
- Le plus simple est de partir d'un exemple concret, celui d'un compteur **modulo 5** qui nécessitera 3 bascules: 2, 1 et 0. On doit donc obtenir le cycle 0, 1, 2, 3, 4, 0, 1 .... Dont le diagramme des états est le suivant :



15

Exemple:

### 1/ Détermination directe des entrées des bascules :

La conception d'un compteur consiste d'abord à établir la table de vérité recherchée. Ensuite, il faut déterminer les combinaisons des entrées des bascules permettant d'obtenir cette table de vérité.

Compteur binaire modulo 8 à l'aide d'une bascule JK:

Front actif de l'horloge	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$	Etat
Etat initial	0	0	0	0
Etat 1	0	0	1	1
Etat 2	0	1	0	2
Etat 3	0	1	1	3
Etat 4	1	0	0	4
Etat 5	1	0	1	5
Etat 6	1	1	0	6
Etat 7	1	1	1	7

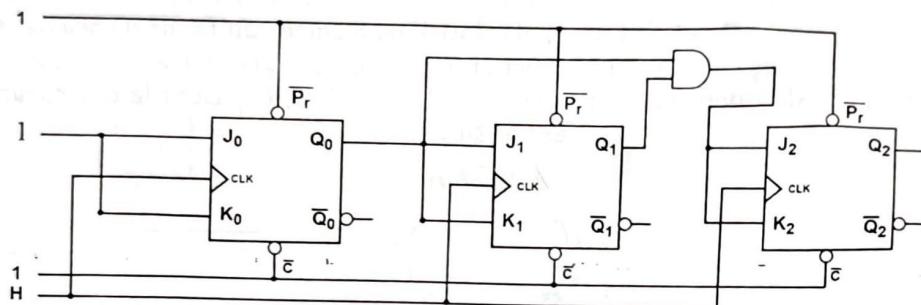
16

❖ On choisit d'utiliser des bascules avec entrée d'horloge active au front montant. On choisit également de relier J et K pour chacune des bascules. On sait que l'on a 2 cas possibles:

- 1<sup>er</sup> cas:  $J = K = 0$ ; au coup d'horloge, la sortie de la bascule ne change pas.
- 2<sup>ème</sup> cas:  $J = K = 1$ ; au coup d'horloge, la sortie de la bascule change d'état.

- On constate que la bascule  $Q_0$  change d'état à chaque front d'horloge. Pour avoir ceci, il faut que  $J_0 = K_0 = 1$ .
- On remarque que la bascule  $Q_1$  change d'état à chaque fois que  $Q_0$  passe de 1 à 0 et ceci indépendamment de  $Q_2$ . Il suffit donc de relier  $Q_0$  à  $J_1$  et  $K_1$ , alors  $J_1 = K_1 = Q_0$ .
- De même la bascule  $Q_2$  change d'état après chaque fois que  $Q_1 = Q_0 = 1$ . Il suffit d'utiliser cette condition pour avoir  $J_2$  et  $K_2$  à 1 au moment du coup d'horloge adéquat. Donc  $J_2 = K_2 = Q_0 \cdot Q_1$ .

Le schéma du circuit est le suivant :



17

## 2/ Utilisation des tables de transition:

Pour déterminer les combinaisons d'entrée des bascules de manière systématique, on peut utiliser la table de transition de la bascule utilisée.

Contrairement à la table de vérité qui donne les valeurs des sorties en fonction des entrées, la table de transition indique la valeur des entrées pour une transition donnée en sortie.

Compteur binaire modulo 8 à l'aide d'une bascule JK :

$J$	$K$	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$

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

On définit la table des états futurs, qui indique l'état futur pour tous états possibles des sorties du compteur.

3 bascules → 8 lignes → On déduit l'état des entrées J et K à partir de la table de transition.

18

Etat présent			Etat futur			Les entrées des bascules					
$Q_2(n)$	$Q_1(n)$	$Q_0(n)$	$Q_2(n+1)$	$Q_1(n+1)$	$Q_0(n+1)$	$J_2$	$K_2$	$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0	0	0	0	0	1	0	$\emptyset$	0	$\emptyset$	1	$\emptyset$
0	0	1	0	1	0	0	$\emptyset$	1	$\emptyset$	$\emptyset$	1
0	1	0	0	1	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	0	1	$\emptyset$
0	1	1	1	0	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	1	$\emptyset$	1
1	0	0	1	0	1	$\emptyset$	0	0	$\emptyset$	1	$\emptyset$
1	0	1	1	1	0	$\emptyset$	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	1
1	1	0	1	1	1	$\emptyset$	0	$\emptyset$	0	1	$\emptyset$
1	1	1	0	0	0	$\emptyset$	1	$\emptyset$	1	$\emptyset$	1

19

Détermination des entrées à l'aide de table de Karnaugh:

$Q_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_0$	00	01	11	10	
0	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$	
1	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$	

$$K_0 = 1$$

$Q_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_0$	00	01	11	10	
0	$\emptyset$	$\emptyset$	1	0	
1	$\emptyset$	$\emptyset$	1	0	

$$K_1 = Q_0$$

$Q_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_0$	00	01	11	10	
0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	1	
1	1	$\emptyset$	$\emptyset$	1	

$$J_0 = 1$$

$Q_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_0$	00	01	11	10	
0	$\emptyset$	$\emptyset$	1	$\emptyset$	
1	$\emptyset$	$\emptyset$	1	$\emptyset$	

$Q_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_0$	00	01	11	10	
0	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	
1	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	

$$J_1 = Q_0$$

20

$K_2$ 

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

$$K_2 = Q_1 Q_0$$

 $J_2$ 

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

$$J_2 = Q_1 Q_0$$

On retrouve donc les résultats précédemment.

De la même façon, on peut réaliser n'importe quel compteur ou décompteur, et plus généralement obtenir n'importe quelle séquence d'état.

21

Même Compteur avec la bascule D :

D	$Q_n$
0	0
1	1

$Q_n$	$Q_{n+1}$	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

$Q_2(n)$	$Q_1(n)$	$Q_0(n)$	$Q_2(n+1)$	$Q_1(n+1)$	$Q_0(n+1)$	$D_2$	$D_1$	$D_0$
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	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

22

$D_0$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_2$		1	0	0	1
0		1	0	0	1
1		1	0	0	1

$$D_0 = \overline{Q_0}$$

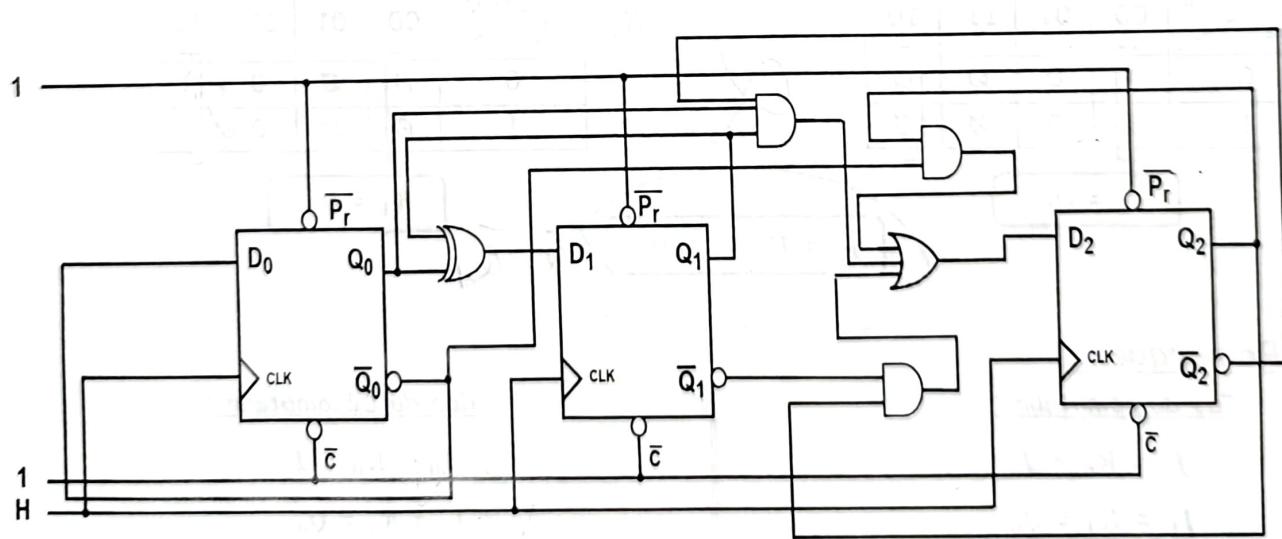
$D_1$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_2$		0	0	1	1
0		0	0	1	1
1		0	1	0	1

$$D_1 = Q_1 \overline{Q_0} + \overline{Q_1} Q_0 = Q_0 \oplus Q_1$$

$D_2$	$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
$Q_2$		0	0	1	0
0		0	0	1	0
1		1	1	0	1

$$D_2 = \overline{Q_2} Q_1 Q_0 + Q_2 \overline{Q_1} + Q_2 \overline{Q_0}$$

23



24

Décompteur modulo 8 à l'aide d'une bascule JK :

Etat présent			Etat futur			Les entrées des bascules					
$Q_2(n)$	$Q_1(n)$	$Q_0(n)$	$Q_2(n+1)$	$Q_1(n+1)$	$Q_0(n+1)$	$J_2$	$K_2$	$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0	0	0	1	1	1	1	$\emptyset$	1	$\emptyset$	1	$\emptyset$
1	1	1	1	1	0	$\emptyset$	0	$\emptyset$	0	$\emptyset$	1
1	1	0	1	0	1	$\emptyset$	0	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$
1	0	1	1	0	0	$\emptyset$	0	0	$\emptyset$	$\emptyset$	1
1	0	0	0	1	1	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$	1	$\emptyset$
0	1	1	0	1	0	0	$\emptyset$	$\emptyset$	0	$\emptyset$	1
0	1	0	0	0	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	1	1	$\emptyset$
0	0	1	0	0	0	0	$\emptyset$	0	$\emptyset$	$\emptyset$	1

25

$J_1$	$J_0 = K_0 = 1$					
	$Q_2 \backslash Q_1 \quad Q_0$	00	01	11	10	
	0	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	
$K_1$	$Q_2 \backslash Q_1 \quad Q_0$	00	01	11	10	
	0	$\emptyset$	$\emptyset$	0	$\emptyset$	
$J_1 = \bar{Q}_0$	1	$\emptyset$	$\emptyset$	0	$\emptyset$	
	$J_2 = K_2 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1$	$\bar{Q}_0 \quad \bar{Q}_1$				
$K_1 = \bar{Q}_0$						

Remarque :

Cas du compteur :

$$J_0 = K_0 = 1$$

$$J_1 = K_1 = Q_0$$

$$J_2 = K_2 = Q_0 Q_1$$

Cas du Décompteur :

$$J_0 = K_0 = 1$$

$$J_0 = K_0 = \bar{Q}_0$$

$$J_2 = K_2 = \bar{Q}_0 \bar{Q}_1$$

26

## Compteurs Spéciaux

### Compteurs réversibles

Ce sont des compteurs/décompteurs qui peuvent compter comme ils peuvent décompter. Le choix de la fonction comptage ou de la fonction décomptage s'effectue à l'aide d'une entrée de sélection.

### Compteurs programmables ou pré-positionnés

Ce sont des compteurs possédant des entrées de pré-chargement qui contiennent la valeur de départ du comptage ou de décomptage.

Le chargement du compteur se fait grâce à une entrée de commande.

### Compteurs synchrones à circuits intégrés

On cite à titre exemple:

- Les compteurs synchrones pré-positionnés modulo 10 : 74LS160 et 74LS162.
- Les compteurs synchrones pré-positionnés modulo 16 : 74LS161 et 74LS163.
- Les compteurs/décompteurs synchrones pré-positionnés modulo 10: 74LS 190 et 74LS192.
- Les compteurs/décompteurs synchrones pré-positionnés modulo 16: 74LS 191 et 74LS193.