

## TP N° 3 D'ELECTRONIQUE NUMERIQUE

### Les compteurs et les machines à état

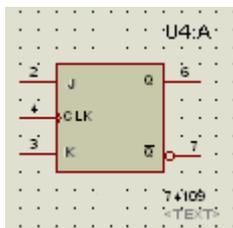
Le but de ce TP est de se familiariser avec la conception des compteurs synchrones, asynchrones et les machines à état. Dans la première partie, nous mettrons en œuvre des compteurs et nous verrons leurs avantages et leurs inconvénients. Dans la seconde, nous développerons une méthode de conception de machines à états.

#### I) Etudes des compteurs.

**Définition :** les compteurs sont réalisés à l'aide de bascules et de portes combinatoires.

##### 1) Compteur asynchrone :

##### La bascule JK active sur front



J	K	CLK	Q	Q/
0	0		$Q_{n-1}$	$Q_{n-1}$
0	1		0	1
1	0		1	0
1	1		$Q_{n-1}$	$Q_{n-1}$

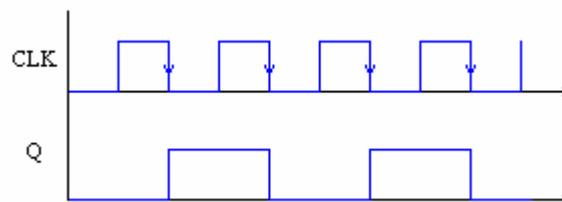
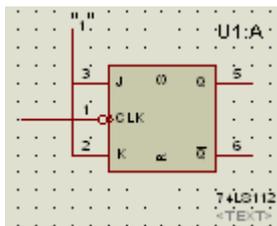
En **bleu**, étape de mémorisation.

En **rose**, étape de mise à 0.

En **orange**, étape de mise à 1.

En **vert**, condition à éviter.

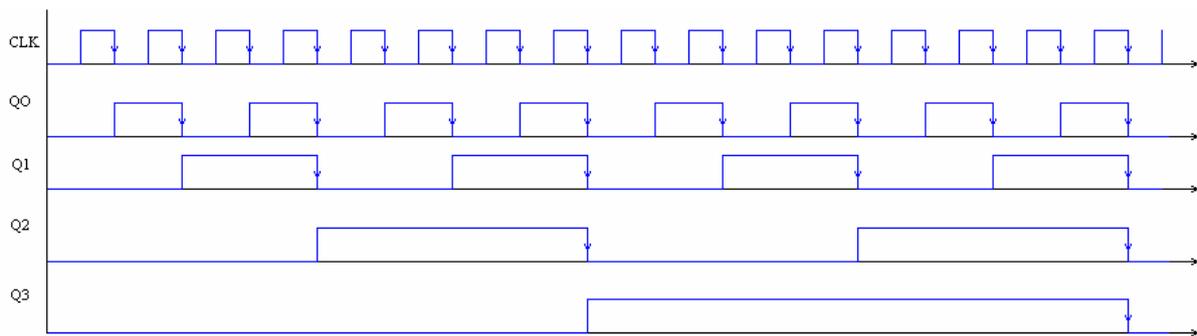
Schéma d'un diviseur de fréquence par 2 à l'aide d'une bascule JK sur front descendant:



Si on divise la fréquence par 2, on multiplie la période par 2.

*Pour un diviseur de fréquence par  $2^n$  on utilisera  $n$  bascules.*

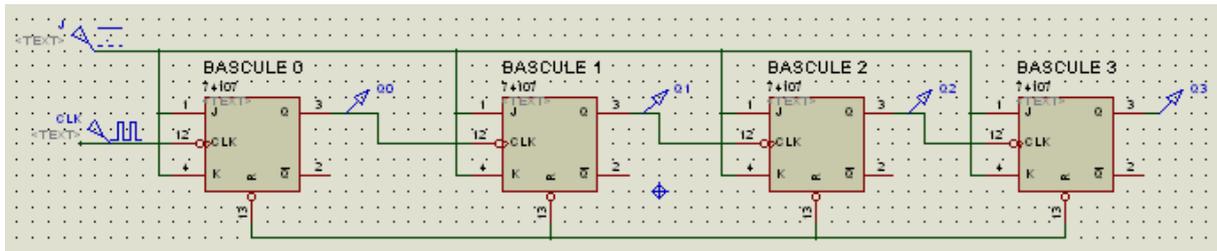
## Chronogramme de sortie d'un compteur asynchrone modulo 16 :



## Conception d'un compteur asynchrone modulo 16, sous ISIS PROTEUS :

On utilise 4 bascules JK (car  $2^4=16$ ) dont les entrées J et K sont reliées à 1 pour tous les étages. Les impulsions d'horloge sont appliquées à la borne CLK de la bascule  $J_0K_0$ . Celle-ci commute sur les fronts descendants du signal d'horloge. La sortie de la bascule  $J_0K_0$  fait office de signal d'horloge pour la bascule  $J_1K_1$  qui commute dans les mêmes conditions que précédemment et de même pour les bascules  $J_2K_2$  et  $J_3K_3$ . On constate que chaque étage divise par 2 la fréquence du signal d'horloge.

*Pour un compteur asynchrone, la sortie  $Q_n$  de la bascule  $J_nK_n$  est reliée à l'entrée CLK de la bascule  $J_{n+1}K_{n+1}$*



## Simulation sur ISIS PROTEUS :



*La fréquence de l'horloge est de 10 MHz pour pouvoir observer le temps de propagation dû aux bascules asynchrones.*

Le retard cumulatif de chaque bascule limite la fréquence maximale de synchronisation. Si on augmente trop la fréquence, on va trouver des erreurs de codage. Ce retard cumulatif devra être inférieur à la période de l'horloge.

Pour un compteur asynchrone, l'information se transmet de proche en proche. Le temps de propagation d'une bascule est noté  $\tau_p$ . Du fait du mode de connections, le temps de propagation s'additionne de bascule en bascule, si bien qu'à la sortie de la 4<sup>ème</sup> bascule, le temps de propagation est de  $4\tau_p$ . Lorsqu'on augmente la fréquence  $f$  de l'horloge, on augmente aussi le fréquence du signal de sortie. Pour avoir un bon fonctionnement du système, il faut que la période de l'horloge soit supérieur à  $4\tau_p$

donc  $f < 1/(4\tau_p)$

Dans le TP précédent, on a vu que  $\tau_p$  avait un ordre de grandeur de 10 ns, donc  $f < 25$  MHz.

Avantages d'un compteur asynchrone comparé à un compteur synchrone :

- Moins de composants en interne
- Moins de matière grise
- Moins de réflexion

→ coût plus faible donc meilleur marché

Dans le cas idéal, il n'y a pas de différence entre un compteur synchrone et asynchrone.

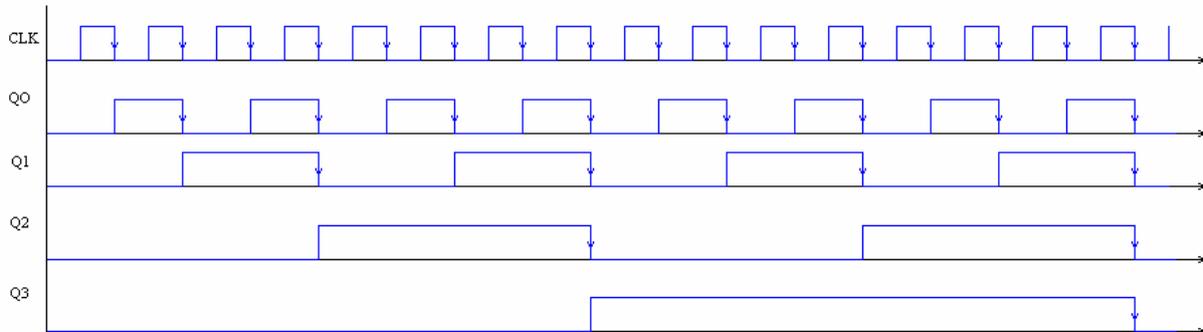
Temps de propagation pour la mise à 1 de la bascule :

Temps de propagation pour la mise à 0 de la bascule :

## 2) Compteur synchrone :

### Chronogramme de sortie d'un compteur synchrone modulo 16 :

Le compteur synchrone permet de remédier au problème du cumul des temps de propagation. Pour cela, toutes les bascules sont reliées au même signal d'horloge.



— basculement                      — état mémoire

A chaque basculement, la bascule passe de 0 à 1 ou de 1 à 0. A chaque état mémoire, la bascule reste à 0 ou à 1.

Etats des entrées J et K en fonction des changements d'état (table d'excitation de la bascule JK):

	J	K
0 → 0	0	φ
0 → 1	1	φ
1 → 0	φ	1
1 → 1	φ	0

### Etat des entrées de chaque bascule avant le front d'horloge :

	Etats présents				Etats suivants				Bascule 3		Bascule 2		Bascule 1		Bascule 0	
	Q3	Q2	Q1	Q0	Q3	Q2	Q1	Q0	J <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>	J <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	J <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	J <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	φ	0	φ	0	φ	1	φ
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	φ	0	φ	1	φ	φ	1
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	φ	0	φ	φ	0	1	φ
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	φ	1	φ	φ	1	φ	1
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	φ	φ	0	0	φ	1	φ
5	0	1	0	1	0	1	1	0	0	φ	φ	0	1	φ	φ	1
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	φ	φ	0	φ	0	1	φ
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	φ	φ	1	φ	1	φ	1
8	1	0	0	0	1	0	0	1	φ	0	0	φ	0	φ	1	φ
9	1	0	0	1	1	0	1	0	φ	0	0	φ	1	φ	φ	1
10	1	0	1	0	1	0	1	1	φ	0	0	φ	φ	0	1	φ
11	1	0	1	1	1	1	0	0	φ	0	1	φ	φ	1	φ	1
12	1	1	0	0	1	1	0	1	φ	0	φ	0	0	φ	1	φ
13	1	1	0	1	1	1	1	0	φ	0	φ	0	1	φ	φ	1
14	1	1	1	0	1	1	1	1	φ	0	φ	0	φ	0	1	φ
15	1	1	1	1	0	0	0	0	φ	1	φ	1	φ	1	φ	1

$\emptyset$  est l'état intermédiaire.

Q0 bascule lorsque  $J_0$  et  $K_0$  sont à 1.

Q1 bascule au front descendant de CLK et lorsque  $Q_0$  est à 1.

Q2 bascule au front descendant de CLK, lorsque  $Q_0$  est à 1 et lorsque  $Q_1$  est à 1.

Q2 bascule au front descendant de CLK, lorsque  $Q_0$ ,  $Q_1$  et  $Q_2$  sont à 1.

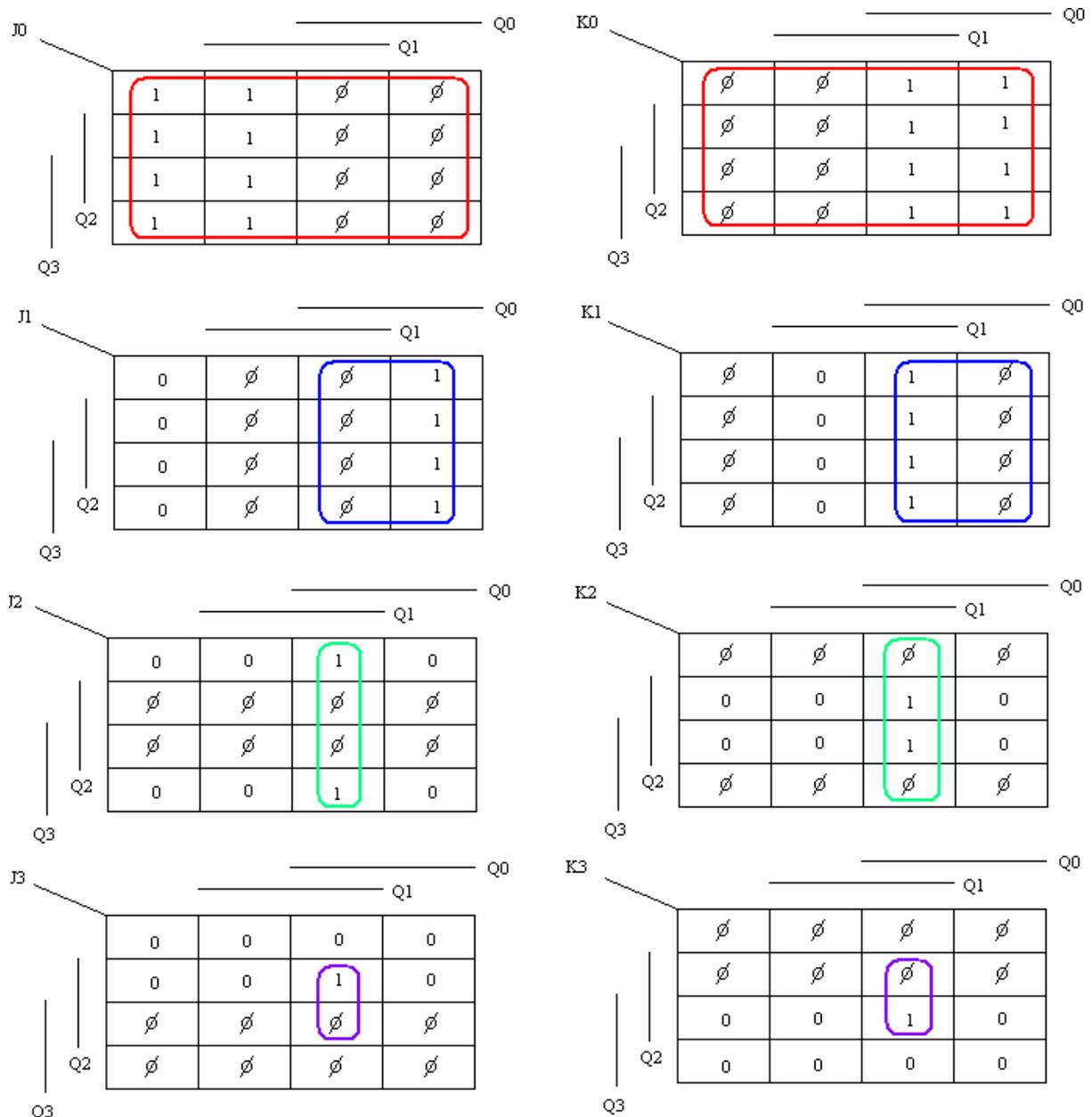
**Equations à partir des sorties :**

$J_0 = K_0 = 1$

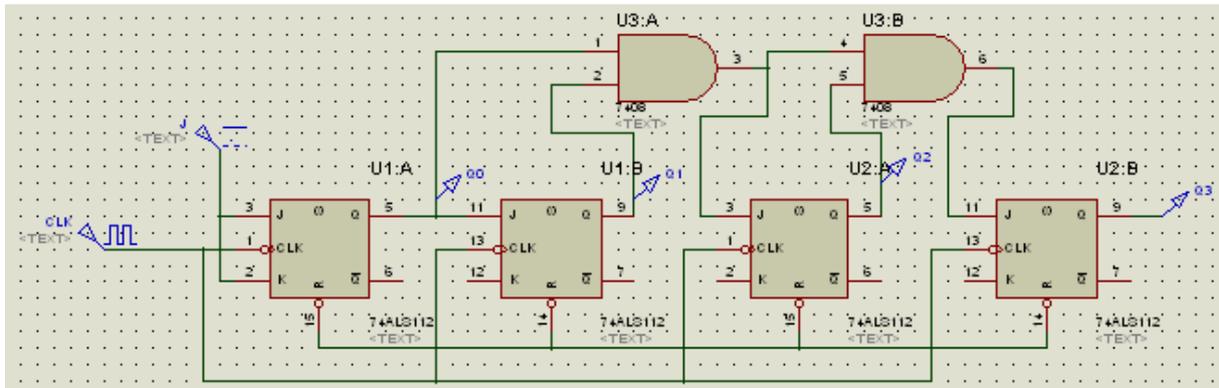
$J_1 = K_1 = Q_0$

$J_2 = K_2 = Q_0 \cdot Q_1$

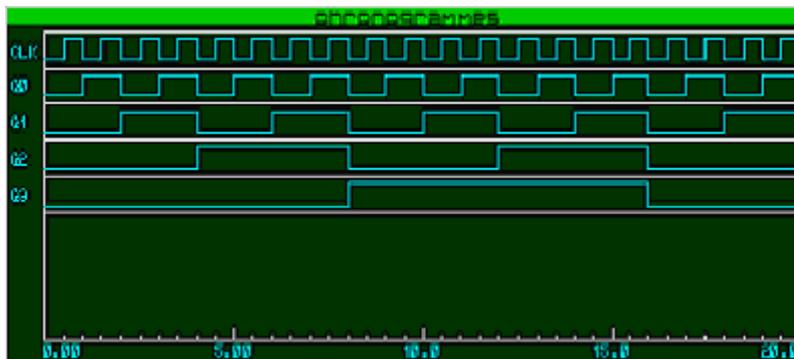
$J_3 = K_3 = Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2$



**Réalisation du compteur synchrone modulo 16 :**



**Simulation sur ISIS PROTEUS :**



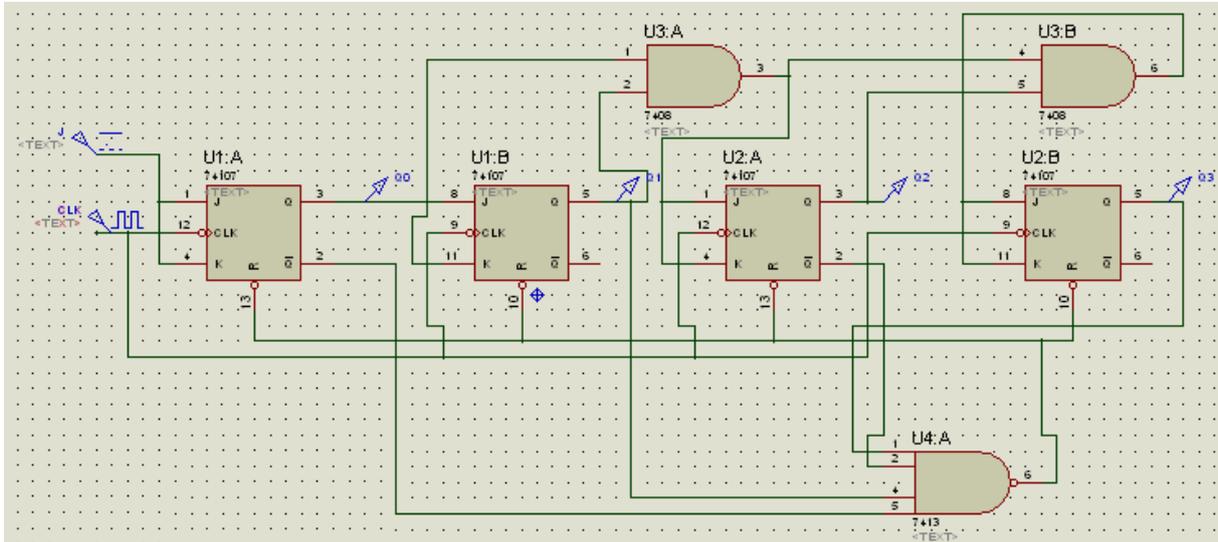
**Résumé des avantages et inconvénients de chaque compteur :**

	Compteur synchrone	Compteur asynchrone
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avoir une fréquence d'horloge plus grande</li> <li>Plus précis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plus faciles à analyser</li> <li>Moins de composants internes → moins cher</li> </ul>
Inconvénients	Plus cher	Moins précis

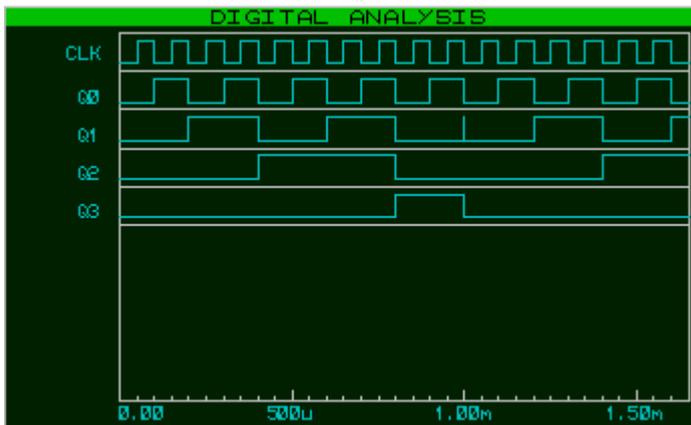
### 3) Compteurs particuliers :

#### Conception d'un compteur synchrone modulo 10 :

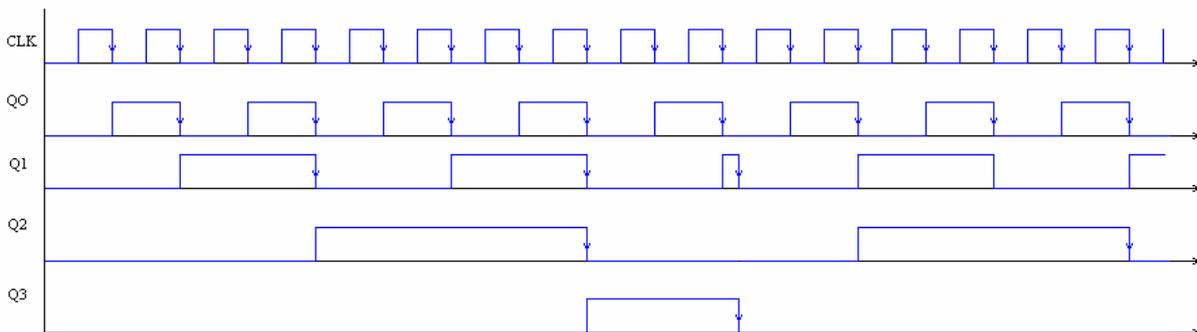
Pour un compteur modulo 10, on utilise un compteur 4 bits, soit 4 bascules. On aura pour but d'écrire les codes de 0000 à 1001.



#### Simulation sur ISIS PROTEUS :



#### Chronogramme :

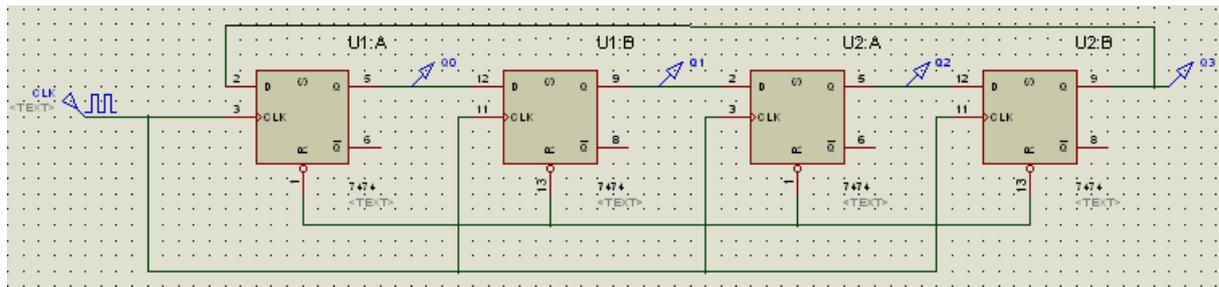


Pour qu'il y ait un reset, l'état 10 doit apparaître.

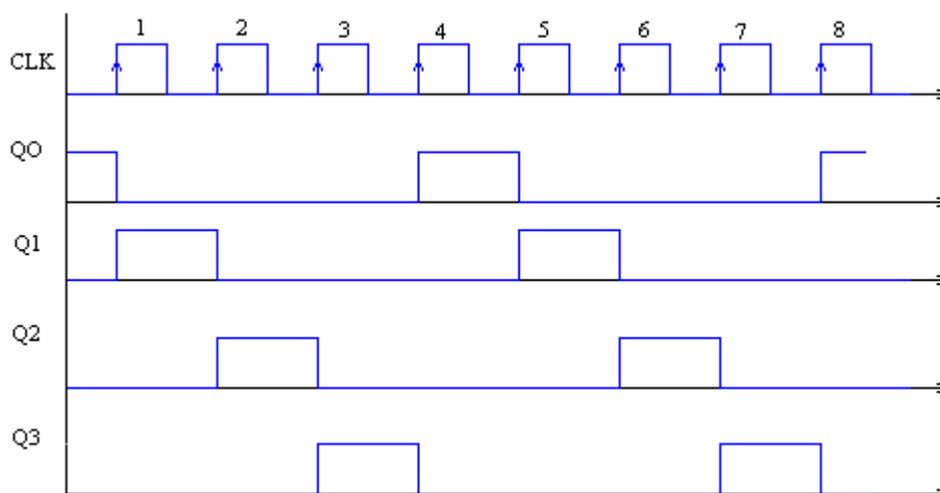
Le principal problème à éviter est dû au temps de propagation de la bascule 3 par rapport aux autres bascules. Il faut augmenter le temps de polarisation de la bascule 3. Sur le chronogramme à l'aide d'ISIS PROTEUS, on observe un pic sur la sortie Q1.

### Compteur en anneau :

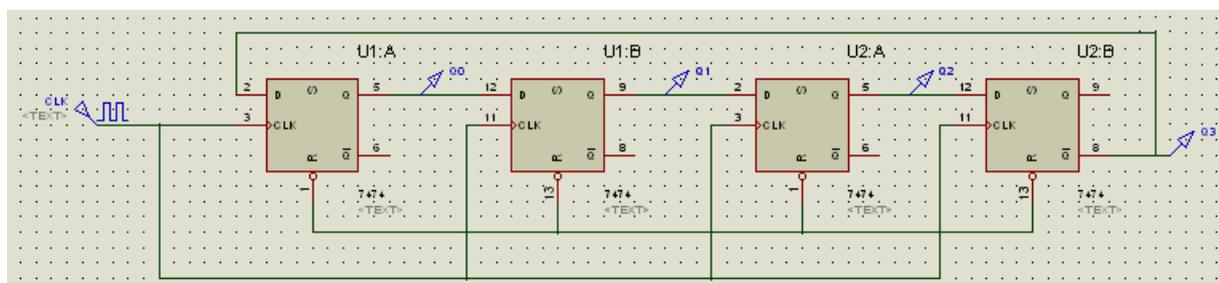
Dispositif à l'aide de 4 bascules D, dont le code de sortie ne possède qu'un seul bit à la fois. Le compteur en anneau permet d'avoir une seule sortie à l'état 1, ce qui présente un certain intérêt pour la commande de systèmes particuliers. L'inconvénient majeur de ce compteur est que le nombre d'états différents correspond au nombre de bascules D utilisées.



Pour que cette structure fonctionne, il faut que l'une des bascules soit à 1 (exemple Q3).

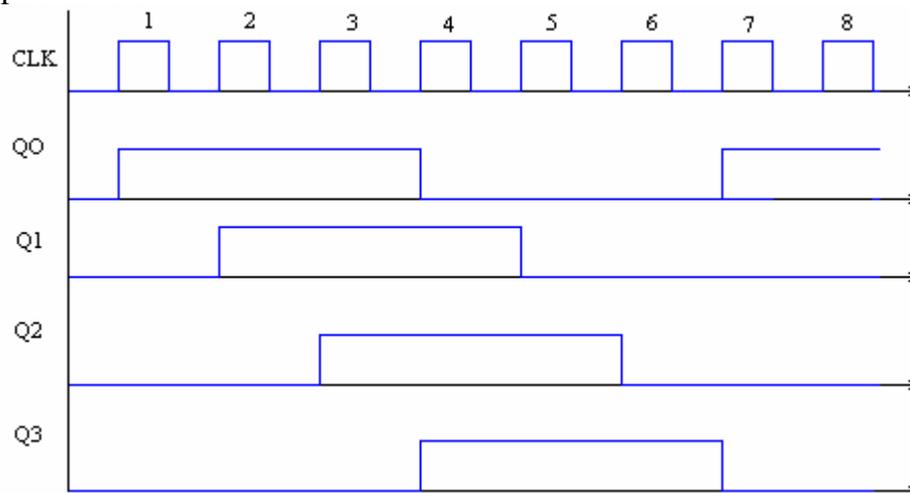


### Compteur de Johnson :



Contrairement au schéma précédent, on ne relie pas Q3 à l'entrée D de la bascule, mais on relie Q/3.

Le compteur Johnson permet d'avoir 8 états différents et permet la commande de système particulier.



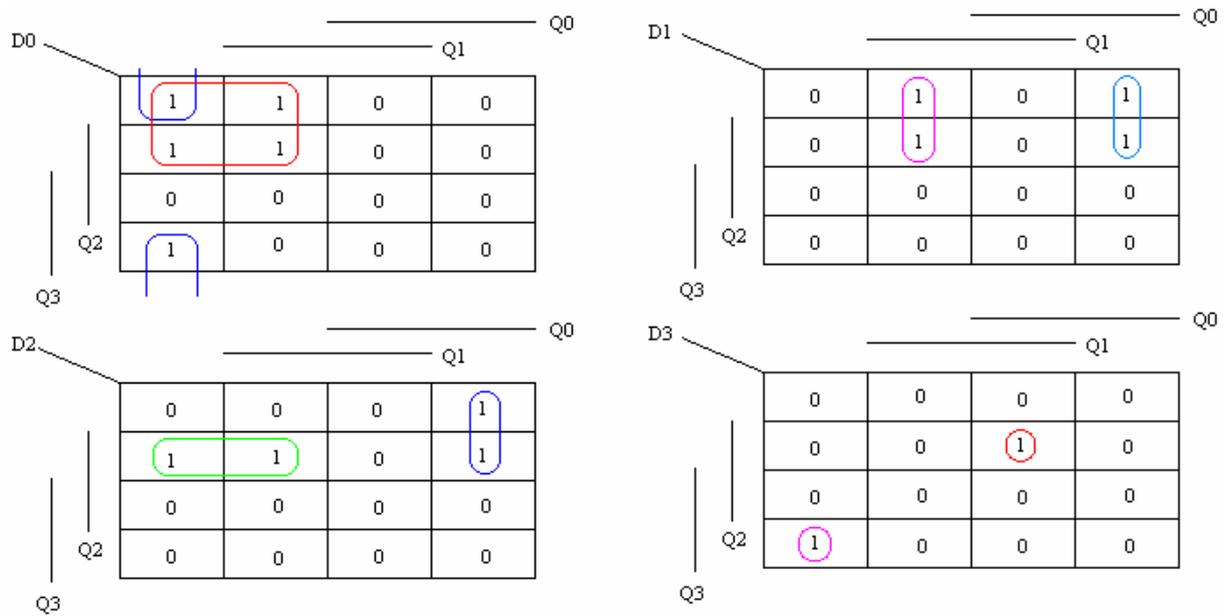
## II) Machines à états.

Le problème du compteur synchrone modulo 10 est d'utiliser une remise à zéro asynchrone des bascules. Cela crée des perturbations sur les sorties au moment du reset. Pour remédier à ceci, nous réalisons une machine à état.

### 1) Réalisation d'un compteur modulo 10 :

#### Diagramme d'état du compteur :

	Q3	Q2	Q1	Q0	D3	D2	D1	D0
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>1</b>	0	0	0	1	0	0	1	0
<b>2</b>	0	0	1	0	0	0	1	1
<b>3</b>	0	0	1	1	0	1	0	0
<b>4</b>	0	1	0	0	0	1	0	1
<b>5</b>	0	1	0	1	0	1	1	0
<b>6</b>	0	1	1	0	0	1	1	1
<b>7</b>	0	1	1	1	1	0	0	0
<b>8</b>	1	0	0	0	1	0	0	1
<b>9</b>	1	0	0	1	0	0	0	0



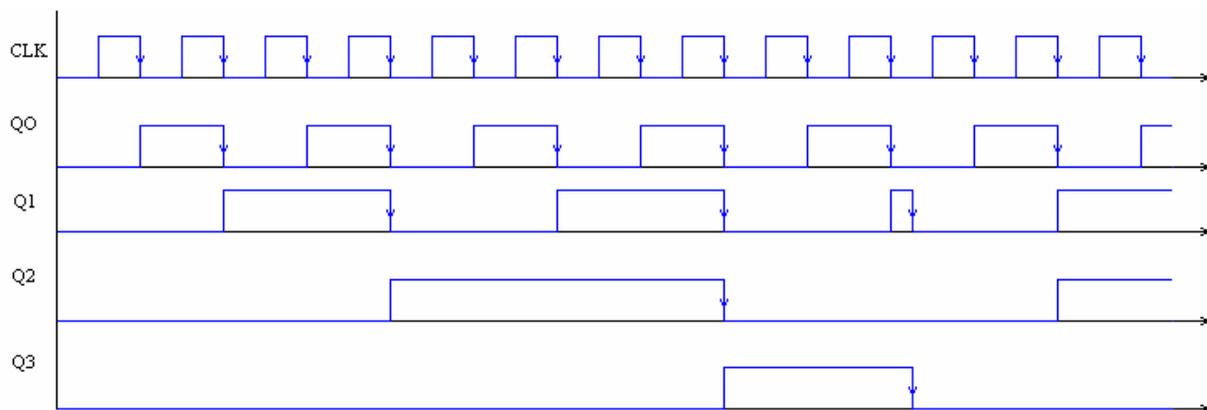
$$D0 = Q0 \cdot Q3 + Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 = Q0 \cdot (Q3 + Q1 \cdot Q2)$$

$$D1 = Q0 \cdot Q1 \cdot Q3 + Q0 \cdot Q1 \cdot Q3 = Q3 \cdot (Q0 \oplus Q1)$$

$$D2 = Q0 \cdot Q2 \cdot Q3 + Q0 \cdot Q1 \cdot Q3 = Q3 \cdot (Q0 \cdot Q2 + Q0 \cdot Q1)$$

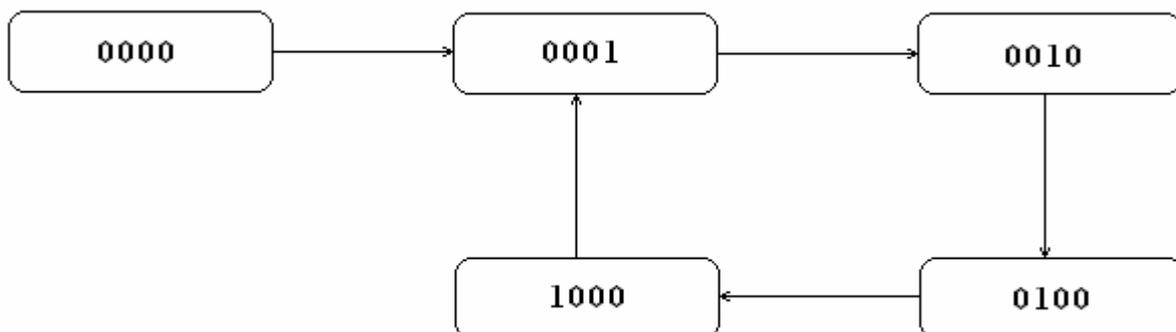
$$D3 = Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 + Q0 \cdot Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 = (Q0 \cdot Q1 \cdot Q2) \oplus Q3$$

**Chronogramme :**



**2) Réalisation d'un compteur en anneau :**

Diagramme d'état :



Q3	Q2	Q1	Q0	J <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>	J <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	J <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	J <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>
0	0	0	0	0	φ	0	φ	0	φ	1	φ
0	0	0	1	0	φ	0	φ	1	φ	φ	1
0	0	1	0	0	φ	1	φ	φ	1	0	φ
0	1	0	0	1	φ	φ	1	0	φ	0	φ
1	0	0	0	φ	1	0	φ	0	φ	0	φ

J<sub>0</sub> =

K<sub>0</sub> =

J<sub>1</sub> =

J<sub>2</sub> =

J<sub>3</sub> =

