

Cours : Circuits numériques

Chapitre2

Les compteurs

Objectifs :

- ✓ **Connaitre les différents types de compteurs.**
- ✓ **Comprendre la méthode de réalisation d'un compteur ou décompteur asynchrone.**
- ✓ **Comprendre la méthode de synthèse d'un compteur ou décompteur synchrone.**
- ✓ **Apprendre à analyser le fonctionnement d'un circuit compteur/décompteur.**

1. Introduction

Un compteur est un ensemble de n bascules interconnectées par des portes logiques. Il peut donc mémoriser des mots de n bits au rythme d'une horloge. Il ne peut y avoir au maximum que 2^n combinaisons. Le nombre total N des combinaisons successives est appelé le module du compteur ($N \leq 2^n$).

Si $N < 2^n$ certains états ne sont jamais utilisés.

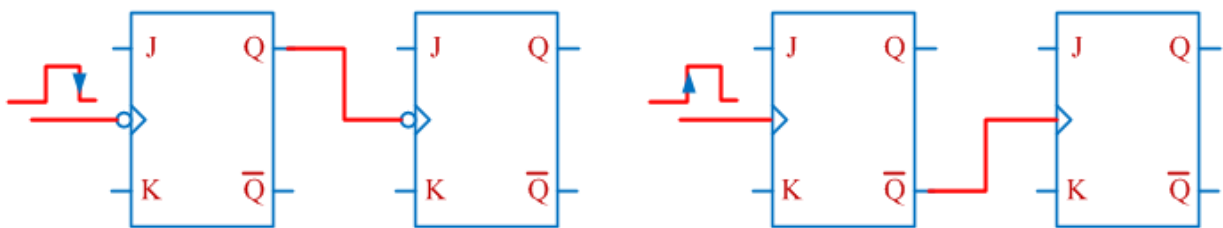
Les compteurs peuvent être classés en deux catégories :

- Les compteurs asynchrones
- Les compteurs synchrones

De plus on peut distinguer les compteurs réversibles ou compteurs – décompteurs.

2. Les compteurs asynchrones

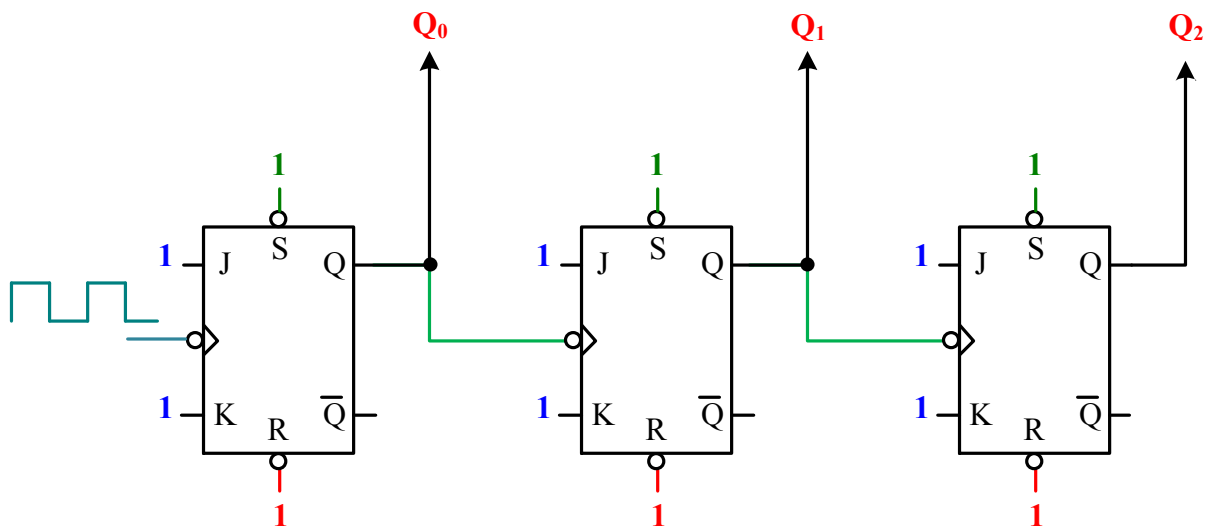
Un compteur asynchrone est constitué de n bascules T (ou équivalentes). Le signal d'horloge n'est reçu que par la première bascule (bascule du plus faible poids LSB), pour chacune des autres bascules le signal d'horloge est fourni par une sortie de la bascule immédiatement inférieure. Si les bascules sont à front descendant l'entrée H_i est reliée à la sortie Q_{i-1} et si elles sont à front montant H_i est reliée à la sortie \bar{Q}_{i-1} .



2.1 Compteur asynchrone modulo 8 :

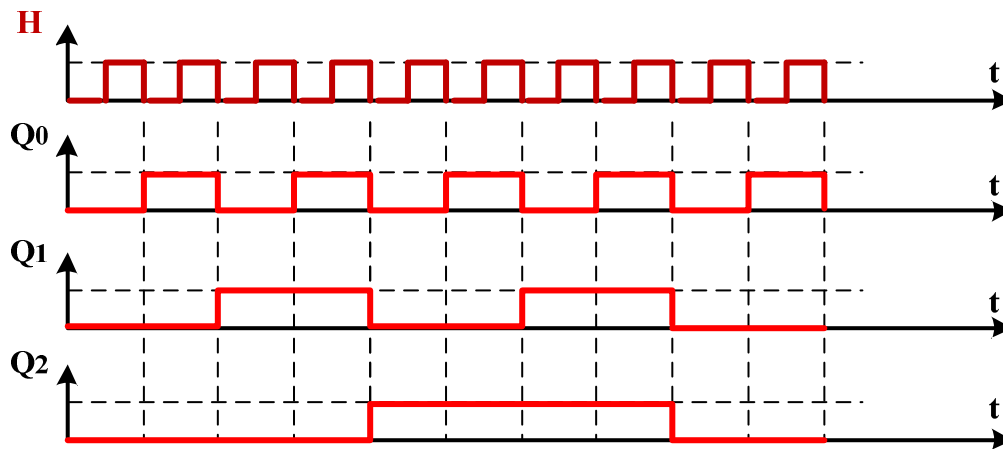
On utilise 3 bascules car $N = 8 = 2^3$

La réalisation avec les bascules JK est la suivante :



- **Chronogrammes**

L'évolution temporelle des 3 sorties Q_0 , Q_1 , et Q_2 par rapport aux impulsions d'horloge est représentée par les chronogrammes suivants :



A partir de ces chronogrammes nous pouvons écrire les états successifs des 3 sorties.

Impulsions	Q_2	Q_1	Q_0
Etat initial	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

Nous avons réalisé un compteur s'incrémentant d'une unité à chaque top d'horloge avec un cycle de huit valeurs de 0 à 7 (modulo 8).

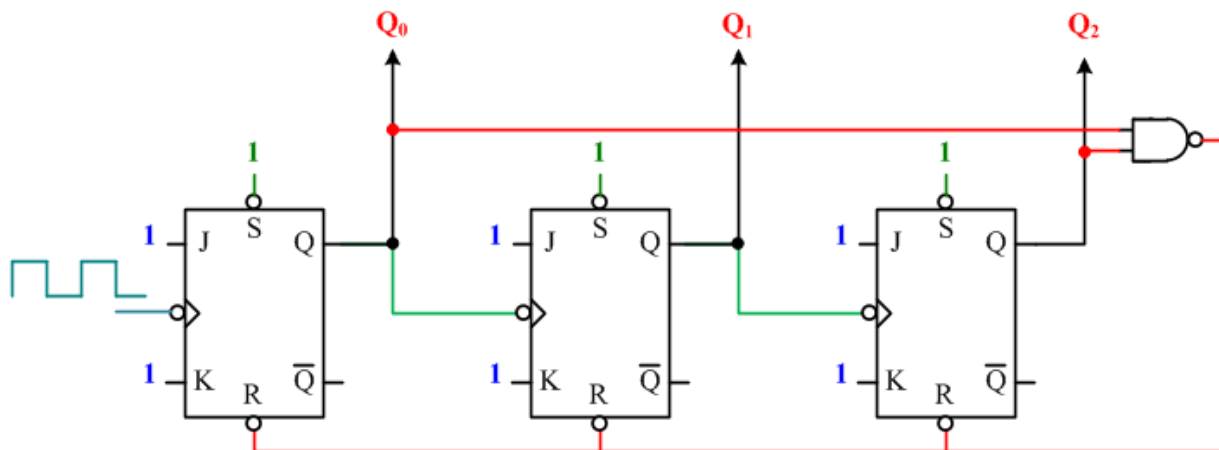
Nous constatons que les sorties Q_0 , Q_1 , et Q_2 fournissent des signaux périodiques de fréquence respectivement 2, 4 et 8 plus faibles. La division de fréquence est une des applications des compteurs.

2.2 Compteur asynchrone modulo 5 :

On souhaite compter jusqu'à un nombre N qui ne soit pas une puissance de 2 par exemple 5 pour cela on utilise un compteur de n bascules tel que $2^n > N$ on lui ajoute une combinaison de l'entrée de façon à remettre le compteur à zéro tous les N coups.

Pour le compteur modulo 5 on utilise 3 bascules ($2^3 > 5$), le comptage se fait de 0 à 4.

La combinaison $(5)_{10} = (101)_2$ est celle qui correspond à $Q_2 \bar{Q}_1 Q_0$ pour forcer à zéro les 3 bascules du compteur.



Exemple de compteurs en circuits intégrés : SN 7490A, SN74LS90, SN 7492A, SN 74LS92 et SN 7493A.

3. Les décompteurs asynchrones

Pour réaliser un décompteur il faut que le changement d'état d'une bascule intervienne lorsque la bascule de rang $(i-1)$ passe de l'état 0 à 1.

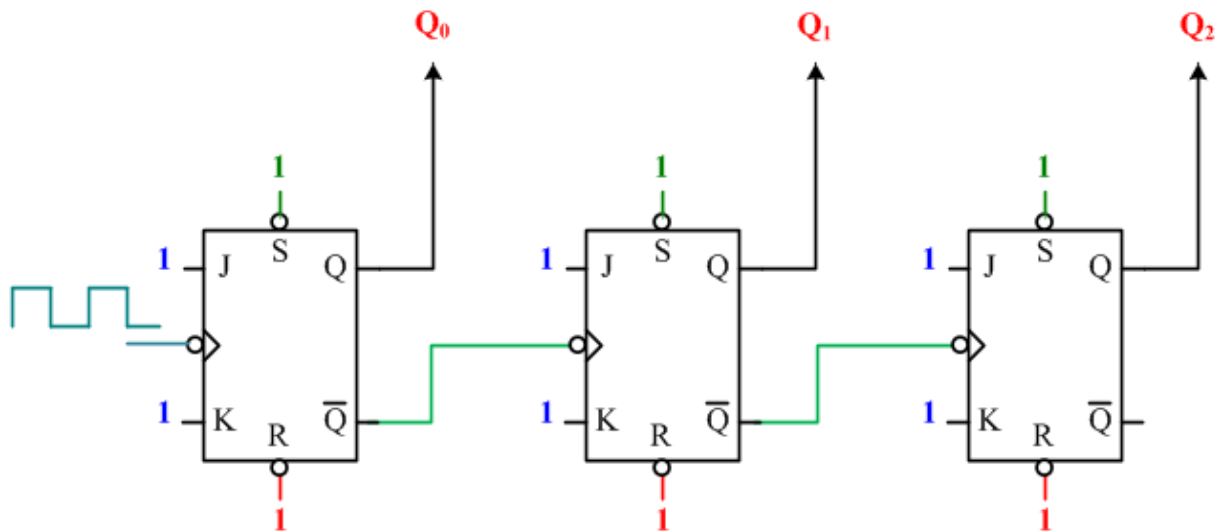
Pour un signal d'horloge à front descendant, il suffit d'utiliser la sortie \bar{Q} de chaque bascule pour déclencher la suivante.

3.1 Décompteur modulo 8 à base de bascules JK

- Table de décomptage

	Q_2	Q_1	Q_0
7	1	1	1
6	1	1	0
5	1	0	1
4	1	0	0
3	0	1	1
2	0	1	0
1	0	0	1
0	0	0	0

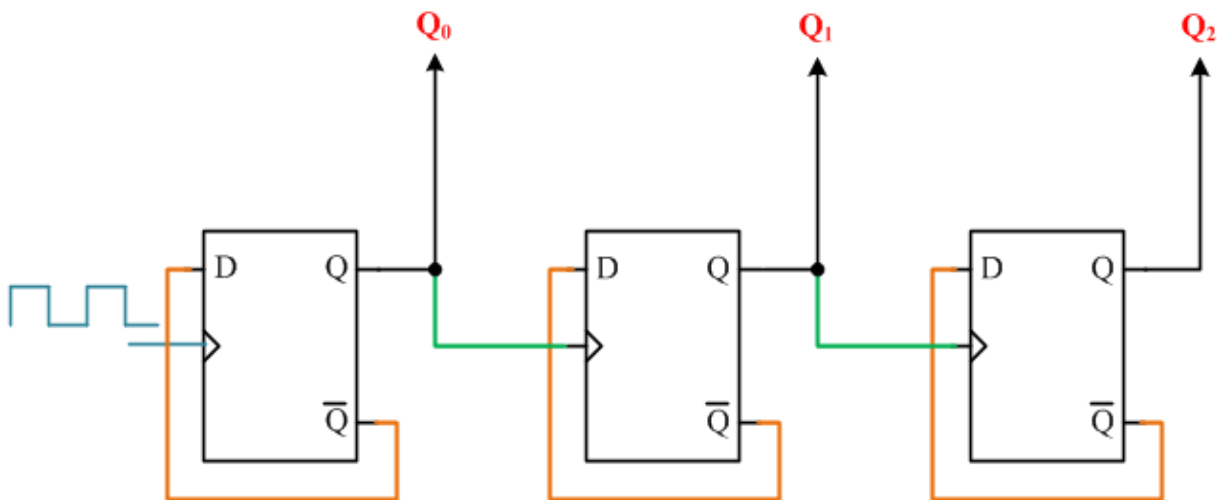
• **Logigramme**



3.2 Décompteur modulo 8 à base de bascules D

• **Logigramme**

On utilise 3 bascules D montées en bascules T.



4. Les compteurs synchrones

Dans un compteur synchrone toutes les bascules reçoivent en parallèle le même signal d'horloge. Pour imposer au compteur une séquence déterminée, il faut à chaque impulsion d'horloge définir les entrées synchrones convenables des bascules. Ceci supprime les problèmes dus aux temps de propagation des étages d'un compteur asynchrone.

La méthode de résolution d'un tel problème de comptage synchrone consiste à :

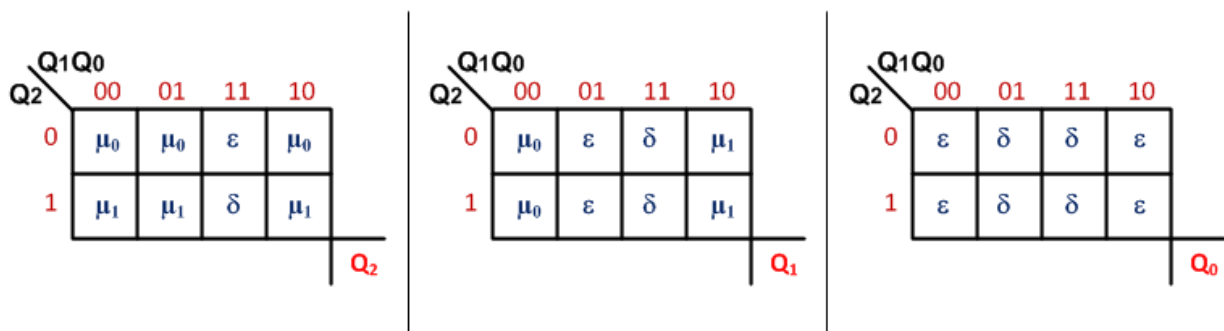
- Etablir la table de comptage.
- Etablir la table de fonctionnement des différentes bascules.
- Mettre en équation les entrées de commandes des différentes bascules.
- Tracer le logigramme.

4.1 Compteur synchrone modulo 8

- Table de comptage

	Avant l'impulsion d'horloge			Après l'impulsion d'horloge			Transitions		
	$Q_{2(n)}$	$Q_{1(n)}$	$Q_{0(n)}$	$Q_{2(n+1)}$	$Q_{1(n+1)}$	$Q_{0(n+1)}$	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	0	1	μ_0	μ_0	ϵ
1	0	0	1	0	1	0	μ_0	ϵ	δ
2	0	1	0	0	1	1	μ_0	μ_1	ϵ
3	0	1	1	1	0	0	ϵ	δ	δ
4	1	0	0	1	0	1	μ_1	μ_0	ϵ
5	1	0	1	1	1	0	μ_1	ϵ	δ
6	1	1	0	1	1	1	μ_1	μ_1	ϵ
7	1	1	1	0	0	0	δ	δ	δ

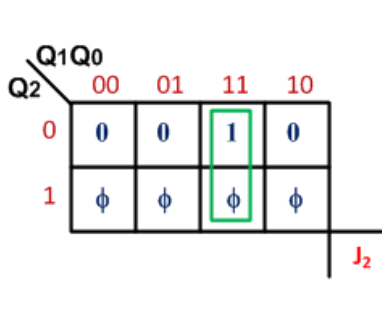
- Tableaux des transitions des sorties



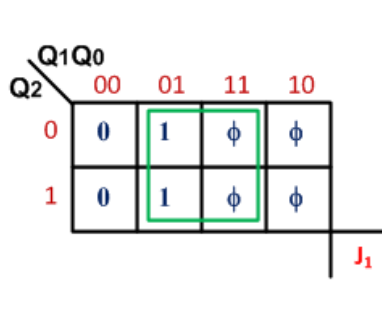
a / Equations logiques des entrées en utilisant des bascules JK

	J	K
ϵ	1	ϕ
δ	ϕ	1
μ_0	0	ϕ
μ_1	ϕ	0

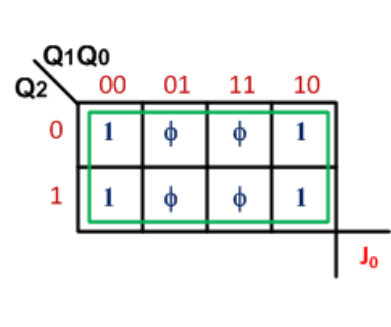
En se référant aux tableaux des transitions des sorties et à la table simplifiée de la bascule JK, on remplace dans les tableaux de Karnaugh chaque transition (ϵ , δ , μ_0 ou μ_1) par la valeur correspondante de J et K (0, 1 ou ϕ).



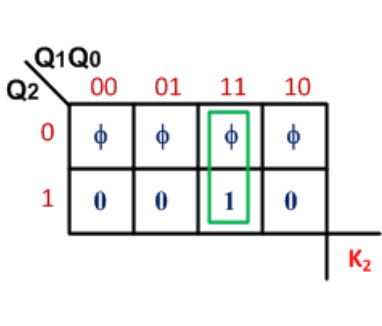
$J_2 = Q_1 Q_0$



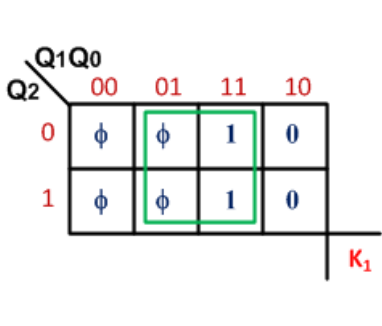
$J_1 = Q_0$



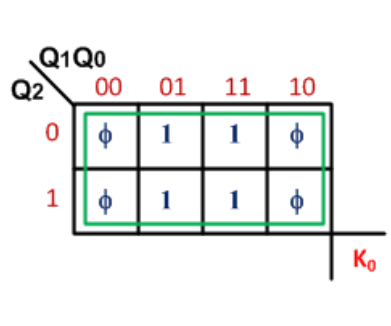
$J_0 = 1$



$K_2 = Q_1 Q_0$

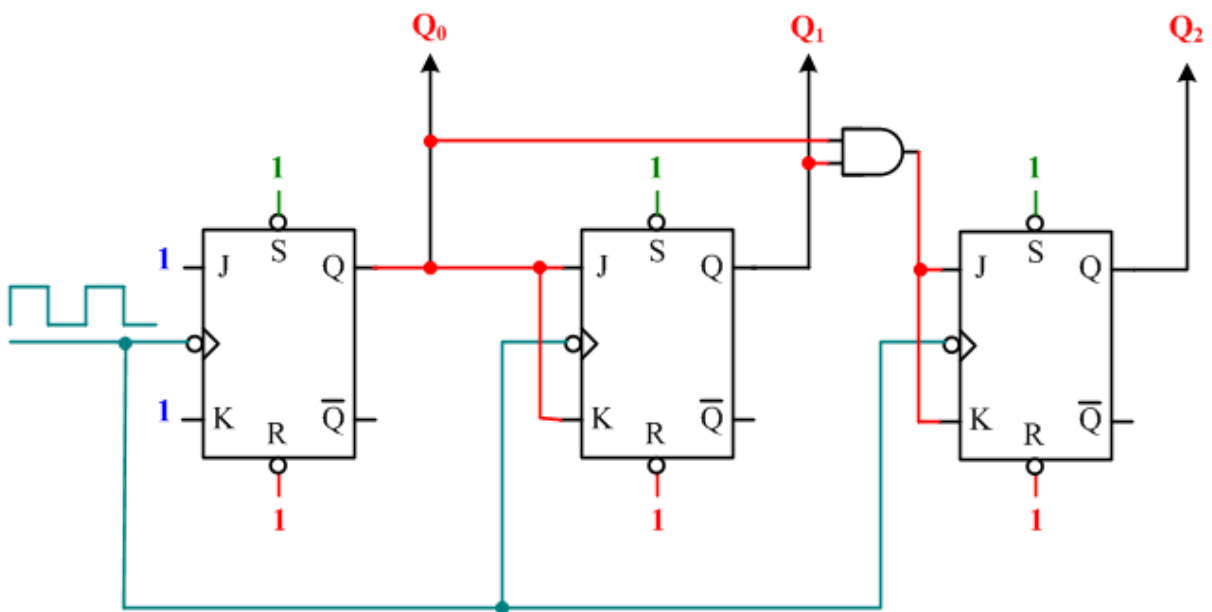


$K_1 = Q_0$



$K_0 = 1$

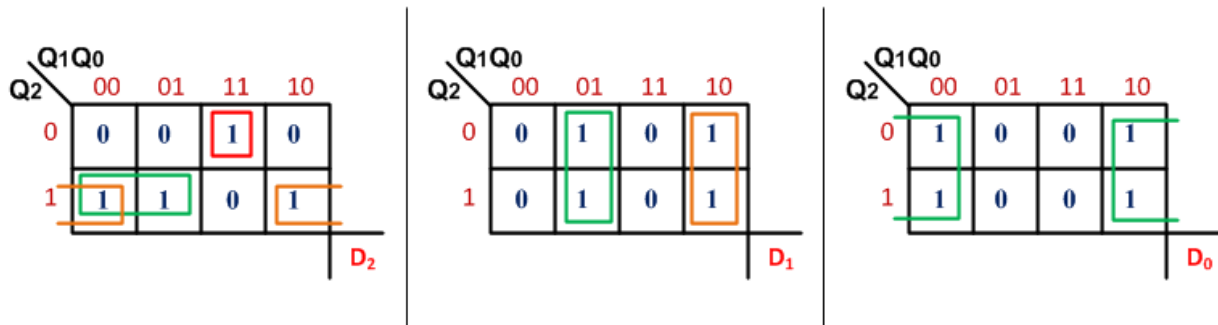
• Logigramme



b / Equations logiques des entrées en utilisant des bascules D

	D
ϵ	1
δ	0
μ_0	0
μ_1	1

On remplace dans ce cas chaque transition par la valeur correspondante de **D** de la table ci-dessus.



$$D_2 = \bar{Q}_2 Q_1 Q_0 + Q_2 \bar{Q}_1 + Q_2 \bar{Q}_0$$

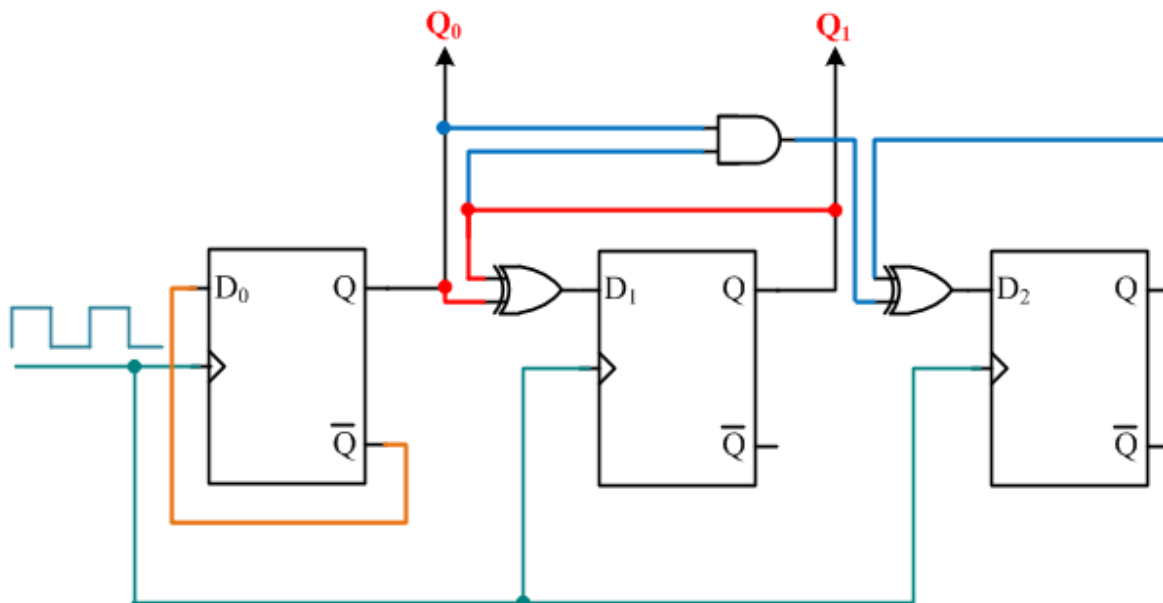
$$\Rightarrow D_2 = Q_2 \oplus Q_1 Q_0$$

$$D_1 = \bar{Q}_1 Q_0 + Q_1 \bar{Q}_0$$

$$\Rightarrow D_1 = Q_1 \oplus Q_0$$

$$D_0 = \bar{Q}_0$$

• Logigramme



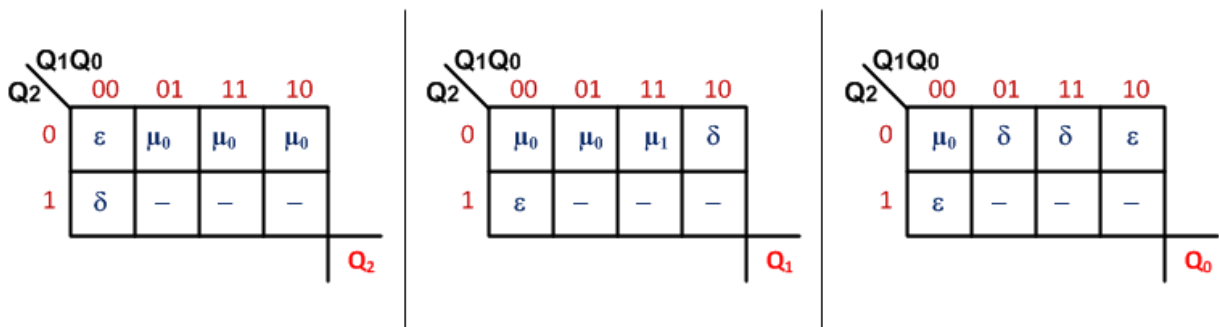
4.2 Décompteur synchrone modulo 5

On désire réaliser le schéma de câblage d'un décompteur synchrone modulo 5 en utilisant des bascules D.

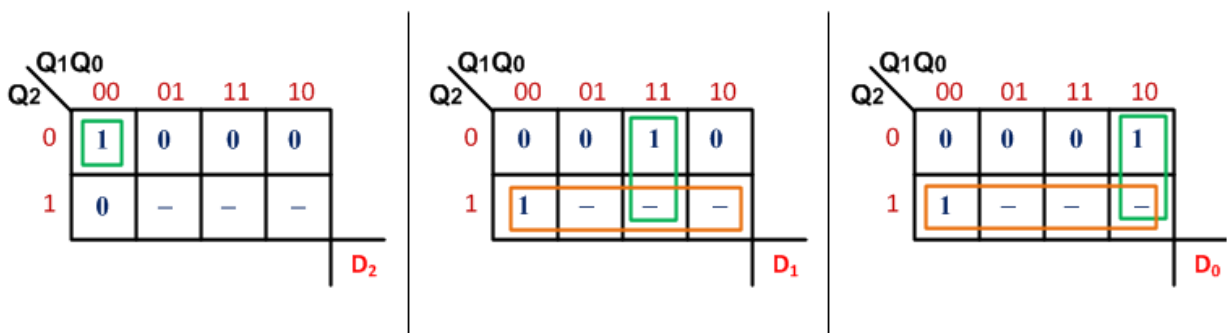
- Table de comptage

	Avant l'impulsion d'horloge			Après l'impulsion d'horloge			Transitions		
	$Q_{2(n)}$	$Q_{1(n)}$	$Q_{0(n)}$	$Q_{2(n+1)}$	$Q_{1(n+1)}$	$Q_{0(n+1)}$	Q_2	Q_1	Q_0
4	1	0	0	0	1	1	δ	ϵ	ϵ
3	0	1	1	0	1	0	μ_0	μ_1	δ
2	0	1	0	0	0	1	μ_0	δ	ϵ
1	0	0	1	0	0	0	μ_0	μ_0	δ
0	0	0	0	1	0	0	ϵ	μ_0	μ_0

- Tableaux des transitions des sorties



- Equations logiques des entrées en utilisant des bascules D

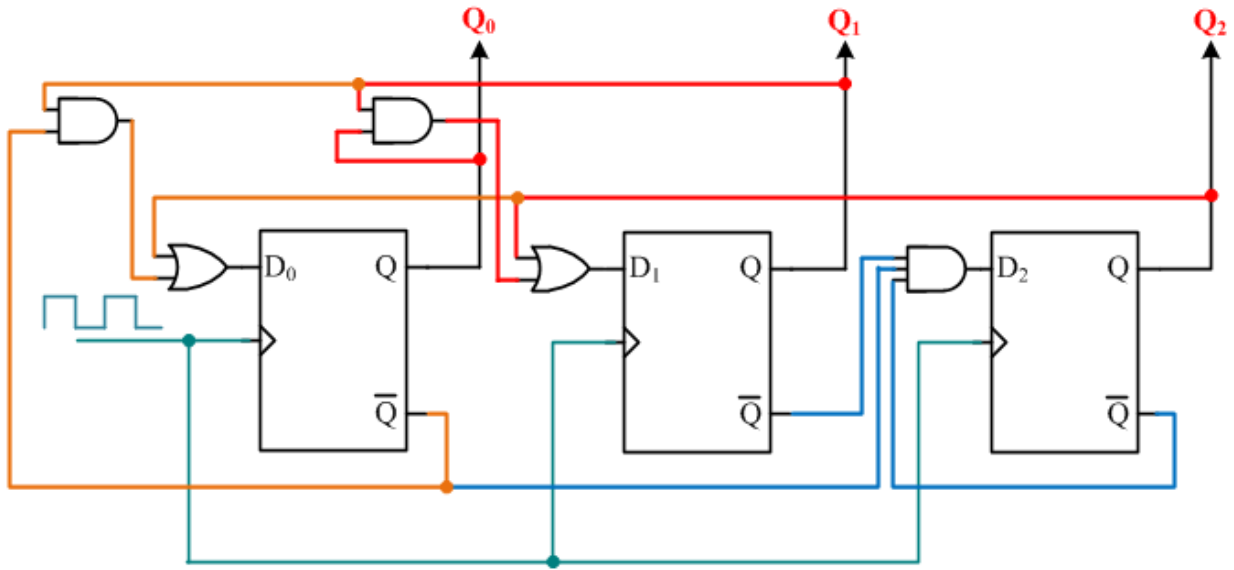


$$D_2 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0$$

$$D_1 = Q_2 + Q_1 Q_0$$

$$D_0 = Q_2 + Q_1 \bar{Q}_0$$

• **Logigramme**



5. Exercices d'application

- a. Etablir le logigramme d'un compteur asynchrone modulo 10 à base de bascules KK à front descendant.
- b. Faire la synthèse d'un compteur synchrone modulo 10 à base de bascules D à front descendant.
- c. Déduire du logigramme suivant le type et le modulo du compteur.

