

UNIVERSITÉ CHOUAIB DOUKKALI
Ecole Supérieure de Technologie
Sidi Bennour

Cours: Physique pour l'Informatique
« Logique séquentielle » 'suite'

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Initialisation des bascules

Les bascules sont initialisées par deux entrées prioritaires :
CLEAR : pour remise à zéro ; **PRESET** : pour remise à un, donc
une telle bascule fonctionne en niveau haut selon la table de
vérité suivante :

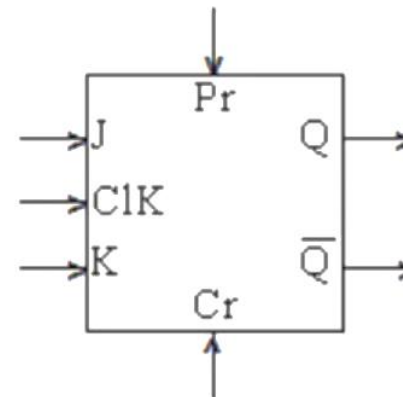
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Initialisation des bascules

CLEAR	PRESET	Q^+	\overline{Q}^+	Observation
0	0	La bascule fonctionne normalement, en fonction de l'horloge et ses entrées		
0	1	1	0	Remise à 1 prioritaire
1	0	0	1	Remise à 0 prioritaire
1	1	Q	\overline{Q}	Mémorisation

Exemple : schéma d'une bascule JK avec fonction d'initialisation



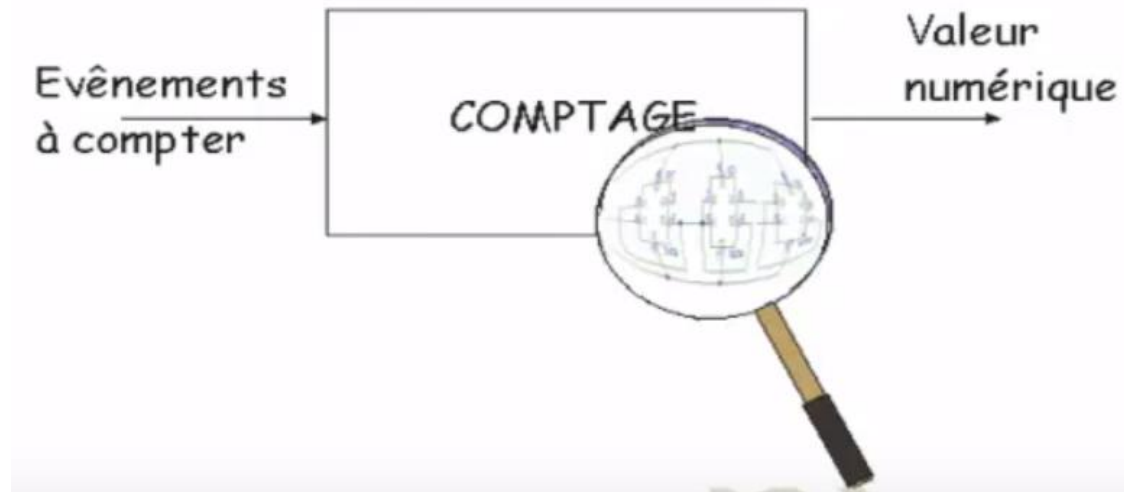
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Introduction

La fonction de comptage est utilisée à chaque fois qu'on veut dénombrer des évènements



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Définition

Un compteur est un système séquentiel qui possède N états différents (appelé compteur modulo N).

A chaque top d'horloge le compteur passe de l'état E_i à l'état E_{i+1} d'une manière cyclique jusqu'à revenir à l'état initial E_0 .

Un compteur est constitué de n Bascules (avec $2^n \geq N$).

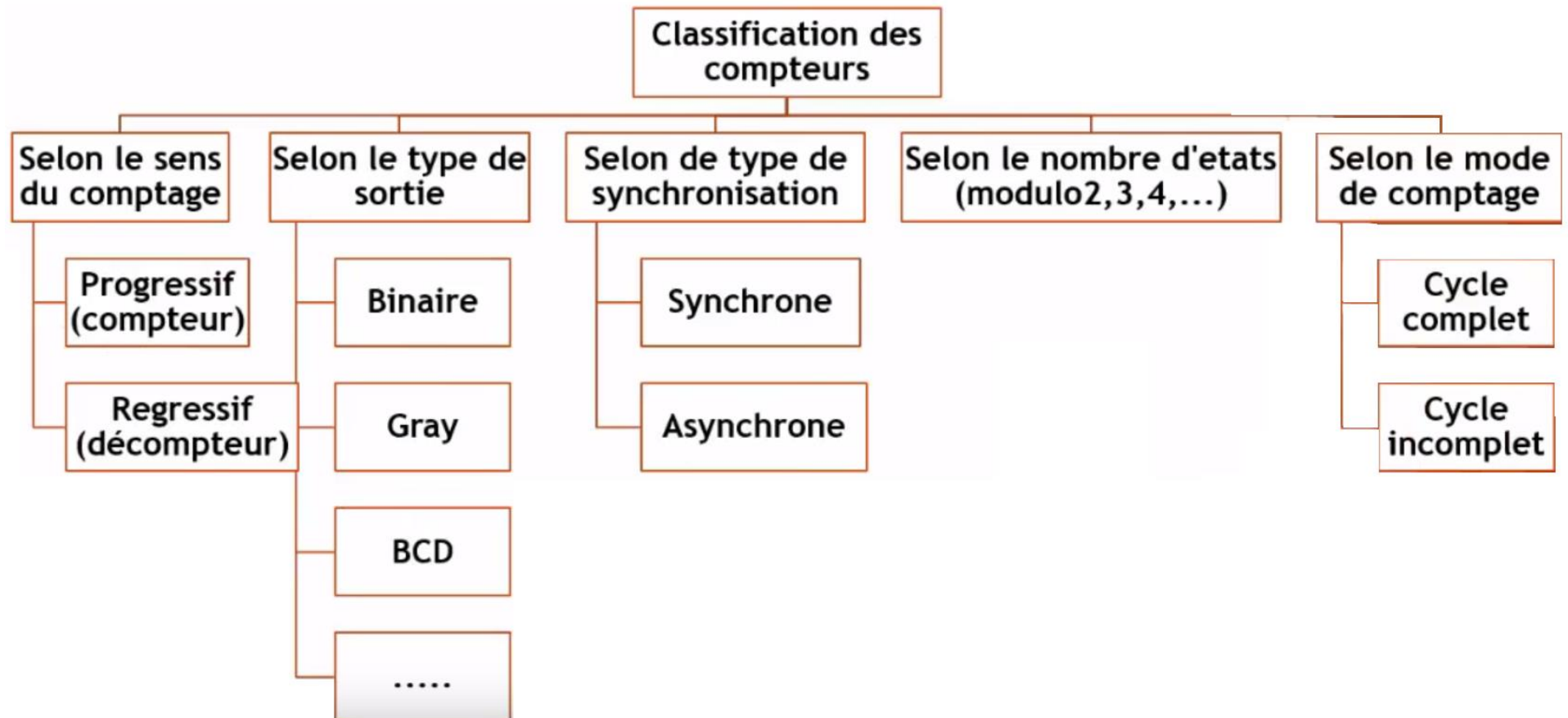
Il reste à trouver comment doivent être connectées les n bascules entre elles pour réaliser un compteur, sachant qu'il existe plusieurs types de compteurs, et donc plusieurs techniques de réalisation.

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Classification des compteurs



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Exemple des compteurs synchrone

1.Compteur synchrone a cycle complet à 3 bits

**C'est un compteur modulo 8 constitué de trois bascules synchronisées par le même signale d'horloge, il peut être réalisé par n'importe quel type de bascules :
Réalisation avec la bascule D :**

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur			D_2	D_1	D_0
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+			
0	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						5

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur			D ₂	D ₁	D ₀
	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₂ ⁺	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺			
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1	1	0	1
5	1	0	1	1	1	0	1	1	0
6	1	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Calcul des équations de D_2 , D_1 et D_0 :

$$D_2 = \overline{Q_2}Q_1Q_0 + Q_2\overline{Q_0} + Q_2\overline{Q_1} \quad ;$$

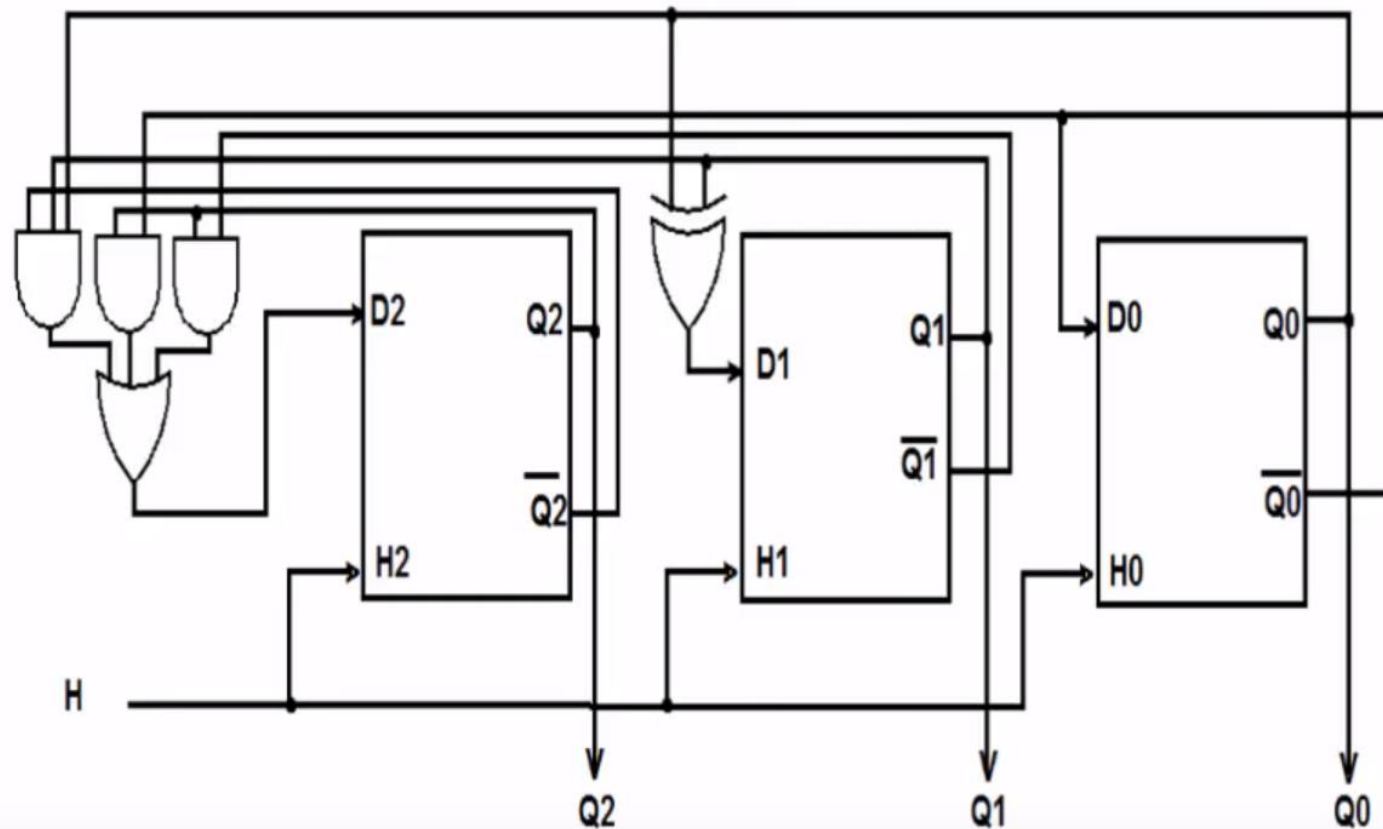
$$D_1 = Q_1\overline{Q_0} + \overline{Q_1}Q_0 = Q_1 \oplus Q_0 \quad ;$$

$$D_0 = \overline{Q_0}$$

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Logigramme



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Exemple: 2

2. Compteur synchrone a cycle incomplet à 3 bits Modulo 5

C'est un compteur composé de trois bascules synchronisées par le même signale d'horloge et qui compte à partir du zéro jusqu'à quatre.

Réalisation avec des bascules JK

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Tables d'états

valeur	Etat présent			Etat futur			J ₂	K ₂	J ₁	K ₁	J ₀	K ₀
	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₂ ⁺	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺						
0	0	0	0									
1	0	0	1									
2	0	1	0									
3	0	1	1									
4	1	0	0									

0 0
1 0

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

0 0
0 1
1 1
1 0

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Tables d'états

valeur	Etat présent			Etat futur			J ₂	K ₂	J ₁	K ₁	J ₀	K ₀
	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₂ ⁺	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺						
0	0	0	0	0	0	1	0	x	0	x	1	x
1	0	0	1	0	1	0	0	x	1	x	x	1
2	0	1	0	0	1	1	0	x	x	0	1	x
3	0	1	1	1	0	0	1	x	x	1	x	1
4	1	0	0	0	0	0	x	1	0	x	0	x

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Calcul des équations des entrées JK pour chaque bascule :

$$\begin{aligned} J_2 &= Q_1 \cdot Q_0; & K_2 &= 1; & J_1 &= K_1 = Q_0 \\ J_0 &= \overline{Q_2}; & K_0 &= 1 \end{aligned}$$

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur synchrone

3. Décompteur synchrone a cycle incomplet à 3 bits Modulo 5

C'est un décompteur composé de trois bascules synchronisées par le même signal d'horloge et qui décompte à partir du quatre jusqu'à zéro.

Réalisation avec des bascules T

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur			T_2	T_1	T_0
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+			
4	1	0	0						
3	0	1	1						
2	0	1	0						
1	0	0	1						
0	0	0	0						

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Table d'états



Handwritten Karnaugh map for Q_2^+ and Q_1^+ above the state table. The map for Q_2^+ has a 1 in the cell for $Q_2=1, Q_1=0, Q_0=0$. The map for Q_1^+ has 1s in the cells for $(Q_2, Q_1, Q_0) = (1,0,0), (0,1,1), (0,1,0), (0,0,1)$.

valeur	État présent			État futur			T_2	T_1	T_0
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+			
4	1	0	0	0	1	1	1	1	1
3	0	1	1	0	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur synchrone

Calcul des équations des entrées T pour chaque bascule :

$$\begin{aligned}T_2 &= \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} \\T_1 &= Q_1 \cdot \overline{Q_0} + Q_2 \\T_0 &= Q_2 + Q_1 + Q_0\end{aligned}$$

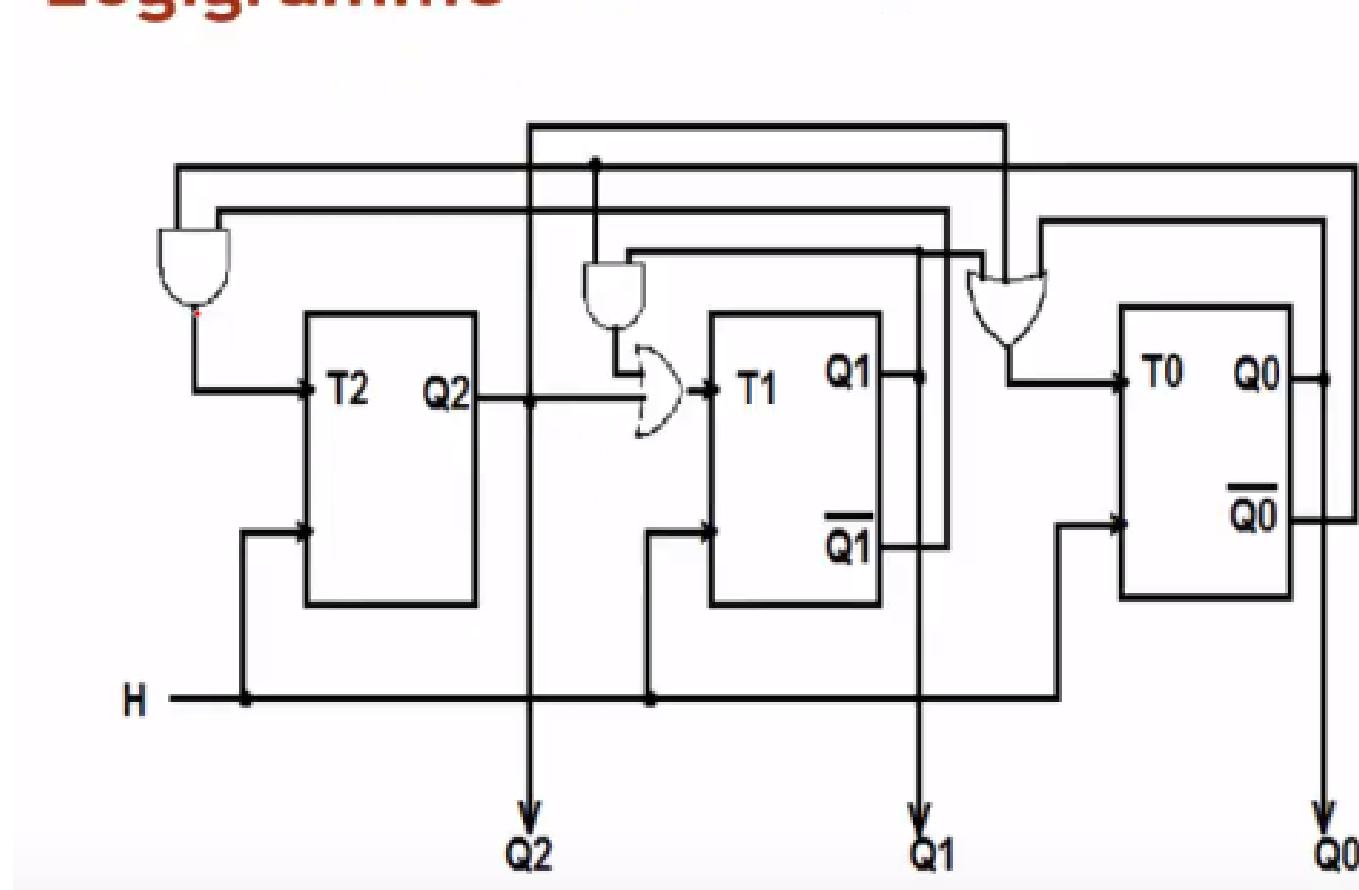
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur synchrone

Logigramme



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle complet

4. Compteur asynchrone a cycle complet à 3 bits
C'est un compteur modulo 2^3 (de 0 à 7), les bascules sont connectées en cascade, la première bascule (poids faible) reçoit le signal d'horloge pour la synchronisation, la deuxième reçoit comme signal de synchronisation la sortie de la première bascule et ainsi de suite (en générale la bascule i est synchronisée par la sortie de la bascule $i-1$).

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle complet

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur		
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+
0	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			

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle complet

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur		
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+
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

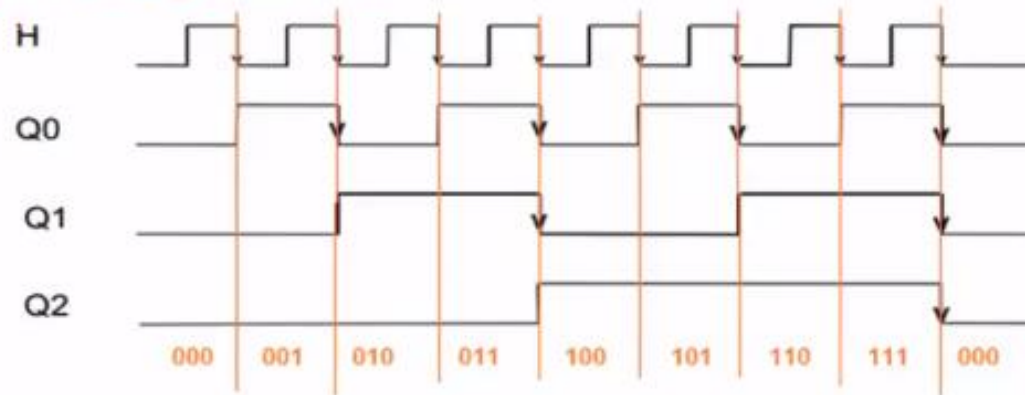
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle complet

Chronogramme



Réalisation avec des bascules T: Nous remarquons que :

- A chaque front descendant de H, Q_0 fait un basculement : $Q_0^+ = \overline{Q_0} \rightarrow T_0=1$; Donc H représente l'horloge de la bascule 0.
- A chaque front descendant de Q_0 , Q_1 fait un basculement : $Q_1^+ = \overline{Q_1} \rightarrow T_1=1$; Donc Q_0 représente l'horloge de la bascule 1.
- A chaque front descendant de Q_1 , Q_2 fait un basculement : $Q_2^+ = \overline{Q_2} \rightarrow T_2=1$; Donc Q_1 représente l'horloge de la bascule 2.

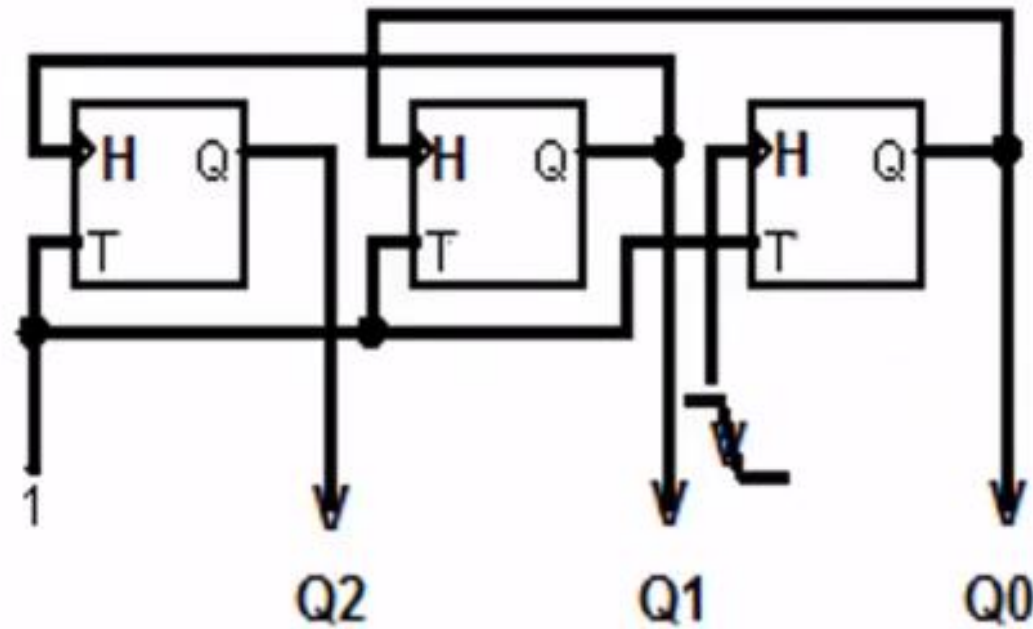
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle complet

Logigramme



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle incomplet

5. Compteur asynchrone a cycle incomplet à 3 bits Modulo 6

Lorsque le modulo est inférieur à 2^n , nous utiliserons des bascules avec fonction d'initialisation

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cvcle incomplet

Table d'états

valeur r	Etat présent			Etat futur			La fonction clear		
	Q2	Q1	Q0	Q2+	Q1+	Q0+	Clear 2	Clear 1	Clear 0
0	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						

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle incomplet

Table d'états

valeur r	Etat présent			Etat futur			La fonction clear		
	Q2	Q1	Q0	Q2+	Q1+	Q0+	Clear 2	Clear 1	Clear 0
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	1	0	1	0	0	0
5	1	0	1	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	x	x	x	1	1	1

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle incomplet

Calcul de la fonction Clear dans chaque bascule :

Nous remarquons que:

$$\text{Clear2} = \text{Clear1} = \text{Clear0} = Q_2 Q_1$$

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

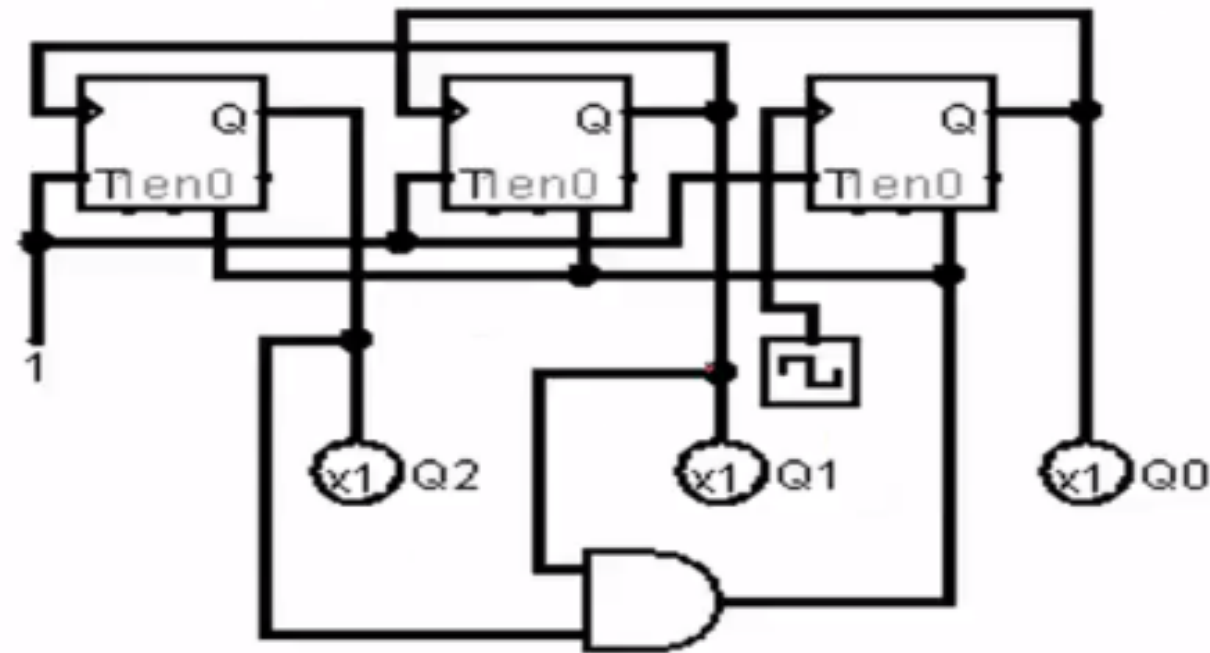
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Compteur asynchrone a cycle incomplet

Logigramme



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur asynchrone a cycle complet

6. Décompteur asynchrone a cycle complet à 3 bits
C'est un décompteur modulo 2^3 (de 7 à 0), les bascules sont connectées en cascade, la première bascule (poids faible) reçoit le signal d'horloge pour la synchronisation, la deuxième reçoit comme signal de synchronisation la négation de la sortie de la première bascule et ainsi de suite (en générale la bascule i est synchronisée par la négation de la sortie de la bascule $i-1$).

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur asynchrone a cycle complet

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur		
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+
0	1	1	1			
1	1	1	0			
2	1	0	1			
3	1	0	0			
4	0	1	1			
5	0	1	0			
6	0	0	1			
7	0	0	0			

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur asynchrone a cycle complet

Table d'états

valeur	Etat présent			Etat futur		
	Q_2	Q_1	Q_0	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+
0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	1	0	1
2	1	0	1	1	0	0
3	1	0	0	0	1	1
4	0	1	1	0	1	0
5	0	1	0	0	0	1
6	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1

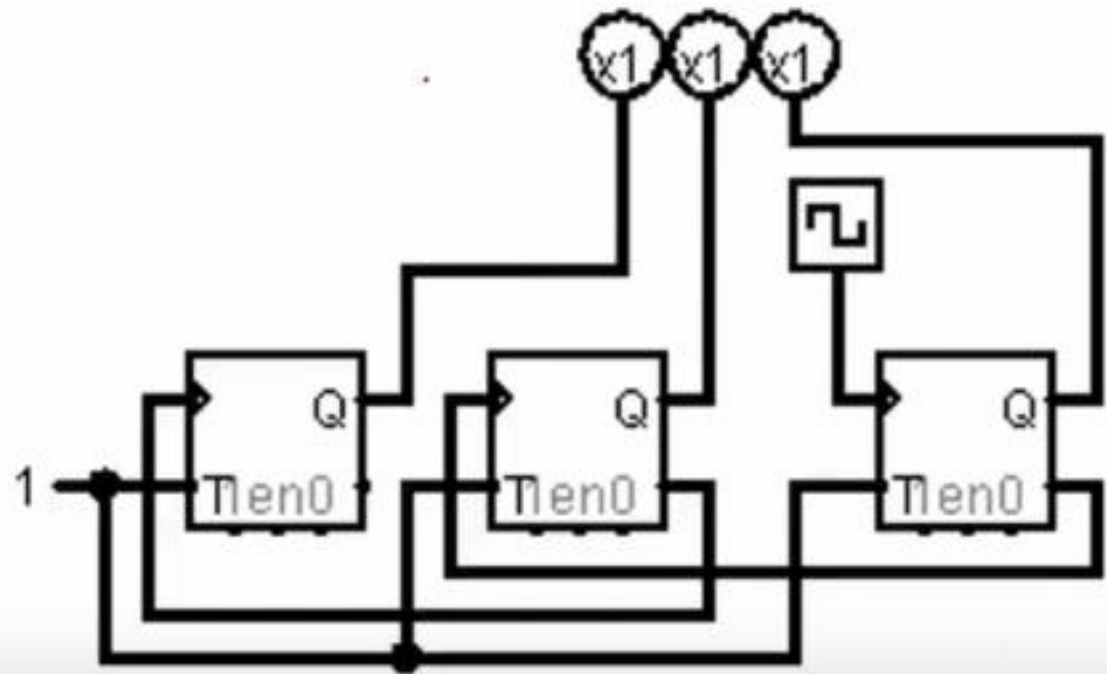
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les compteurs

Décompteur asynchrone a cycle complet

Chronogramme



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Définition:

- ▶ Un registre est un ensemble de cellules mémoires constituées par des bascules.
- ▶ Le contenu d'un registre peut donc être considéré comme un nombre binaire ou un "mot" de n bits.

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Applications des registres:

Les applications des registres sont nombreuses, parmi lesquelles :

- ▶ Stockage temporel de l'information
- ▶ Conversion série – parallèle
- ▶ Multiplication par une puissance de 2 (décalage vers la gauche).
- ▶ Division par une puissance de 2 (décalage vers la droite).

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Types de registres:

- ▶ **Registre de mémorisation**
- ▶ **Registre à décalage**

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre de mémorisation:

La fonction d'un tel registre est de "stocker / mémoriser" un mot de n bits.

Exemple de réalisation (à l'aide de bascules D) : chacune des cellules est une bascule D.

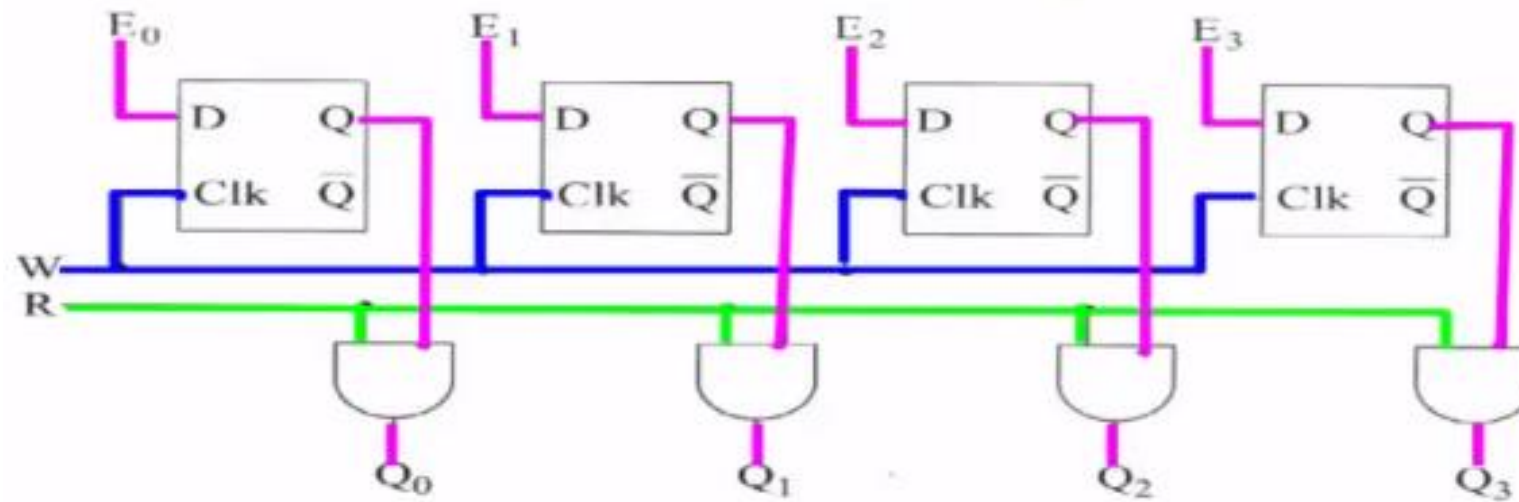
La sortie du registre mémorise le mot d'entrée tant que $H = 0$ ou 1. Lorsque l'horloge présente un front montant, les données en sortie sont actualisées. Le registre peut être initialisé grâce aux entrées de forçage asynchrone qui peuvent forcer les sorties des bascules à 0 ou à 1.

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exemple de registre de mémorisation:



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre à décalage:

Ce type de registre sert à décaler tous les bits d'un mot d'un ou plusieurs crans vers la droite ou vers la gauche. Il est constitué d'une série de bascules en cascade, où la sortie d'une bascule est branchée à l'entrée de la bascule suivante. Ces systèmes peuvent être utilisés pour effectuer des multiplications ou divisions par une puissance de 2, ou encore pour effectuer une conversion série – parallèle.

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre à décalage:

Exemple d'application : la multiplication par 2^n

Soit $N = (3)_{10} = (0011)_2$

$2 \times N = 6 = 0110$

$2 \times (2 \times N) = 12 = 1100$

On constate que pour effectuer la multiplication d'un nombre par 2 il suffit de décaler tous les bits du nombre de 1 cran vers la gauche (vers les bits de poids fort).

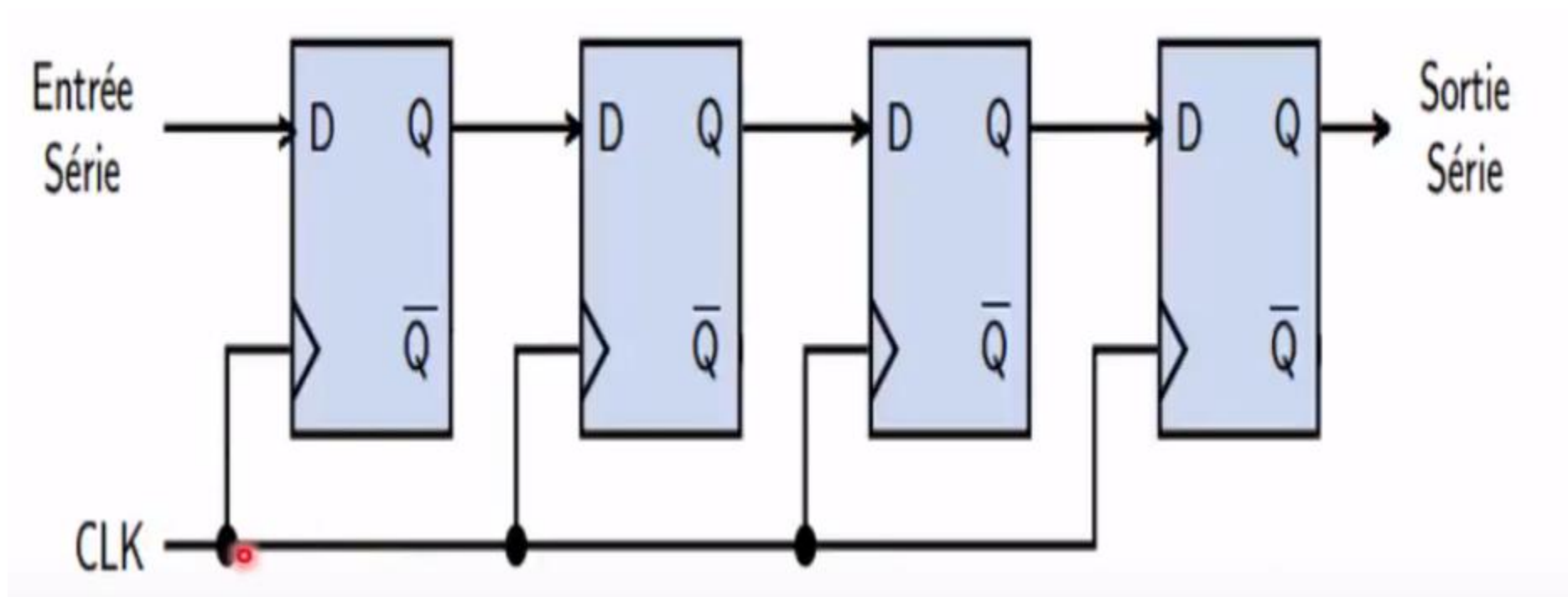
De la même façon, pour réaliser la division d'un nombre par 2 il suffit de décaler tous les bits du nombre de 1 cran vers la droite (vers les bits de poids faible).

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre à décalage:



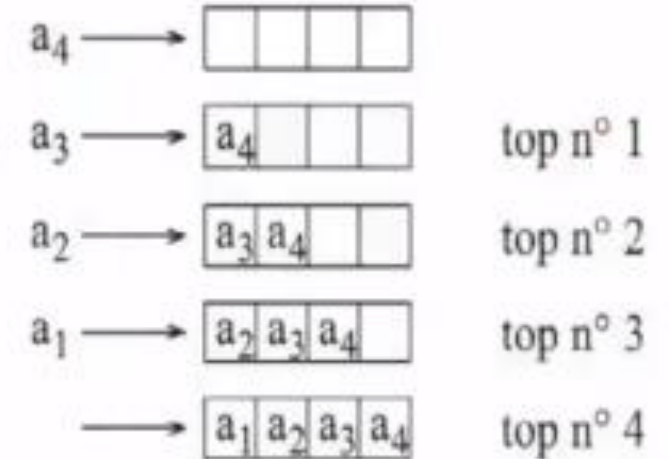
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

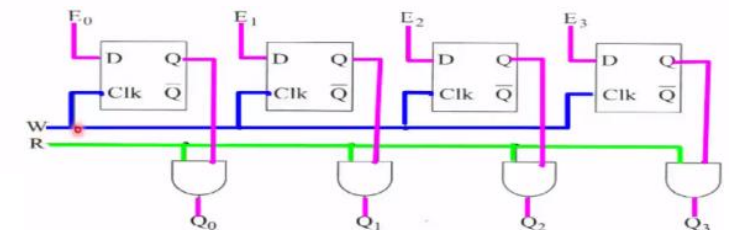
Les Registres

Registre à décalage: type d'entrées

- **Série** : l'information est présentée séquentiellement bit après bit à la 1^{ère} bascule. À chaque coup d'horloge, un nouveau bit est présenté et ceux déjà chargés sont décalés d'un rang.



- **Parallèle** : comme dans un registre de mémorisation.



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre à décalage: type de sorties

L'information stockée dans un registre à décalage peut être lue de la même manière, (en série ou en parallèle).

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Registre à décalage: sens de décalage

Le décalage peut se faire vers la droite ou vers la gauche. Certains registres sont capables de décaler à droite ou à gauche selon le choix (registres à décalage universel).

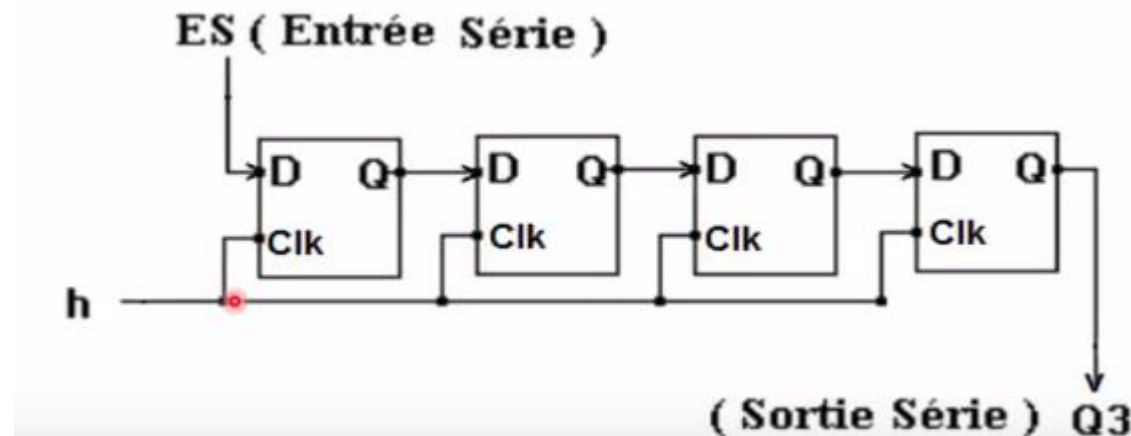
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

A) exemple de registre à entrées séries et sorties séries

- L'information est introduite bit par bit (en série).
- L'ensemble du registre est décalé d'une position (B_i, B_{i+1}) et la bascule B_0 reçoit une nouvelle entrée ES .
- Un tel registre est appelé registre à entrées séries à gauche et à sorties séries à droite.

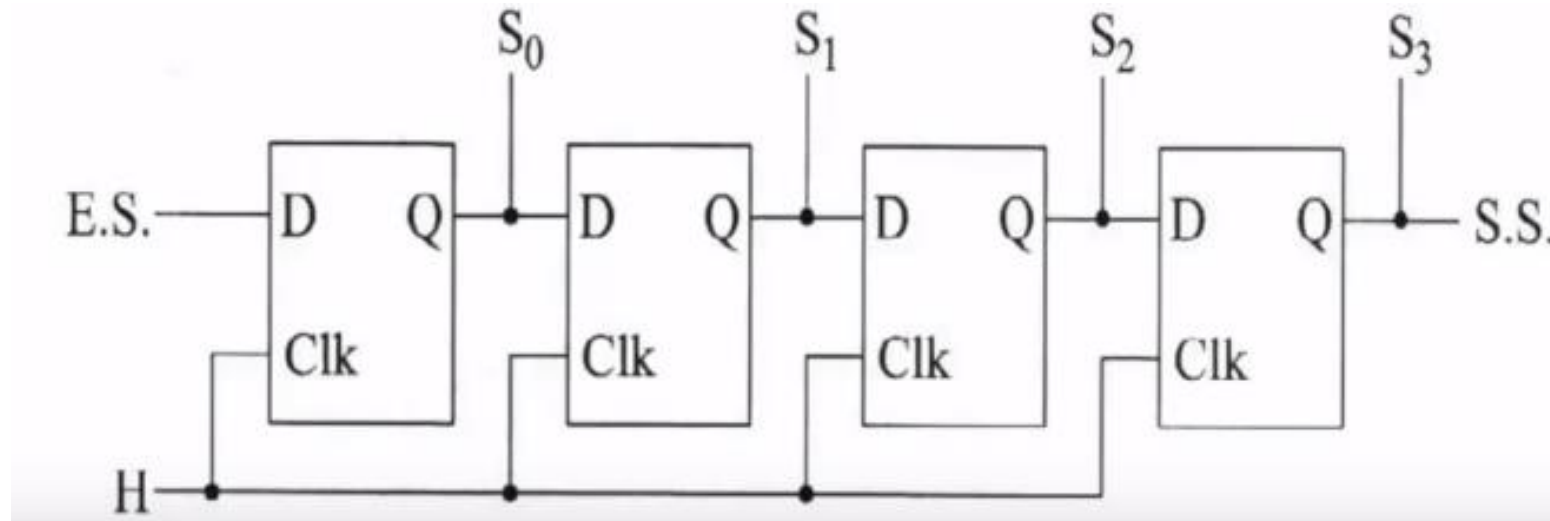


Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

B) exemple de registre à entrées séries et sorties parallèles



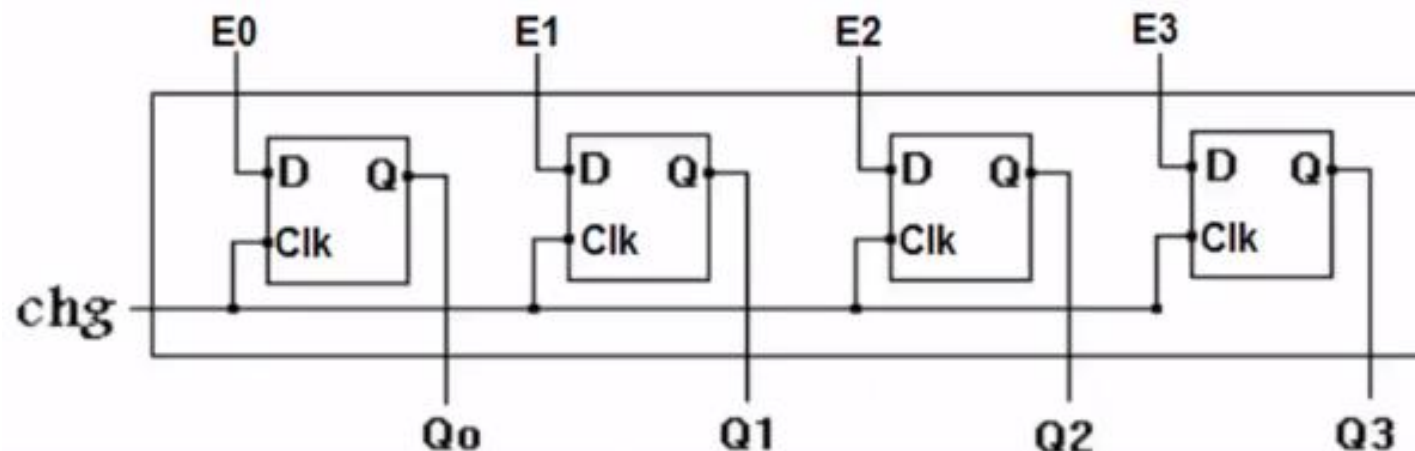
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

C) exemple de registre à entrées parallèles et sorties parallèles

- Il peut charger une information sur N bits en même temps.
- Les n bascules changement d'états en même temps.
- Chaque bascule B_i prend la valeur de l'information i .
- Il possède une entrée de chargement chg ($chg=0 \rightarrow$ état mémoire, $chg=1 \rightarrow$ chargement)

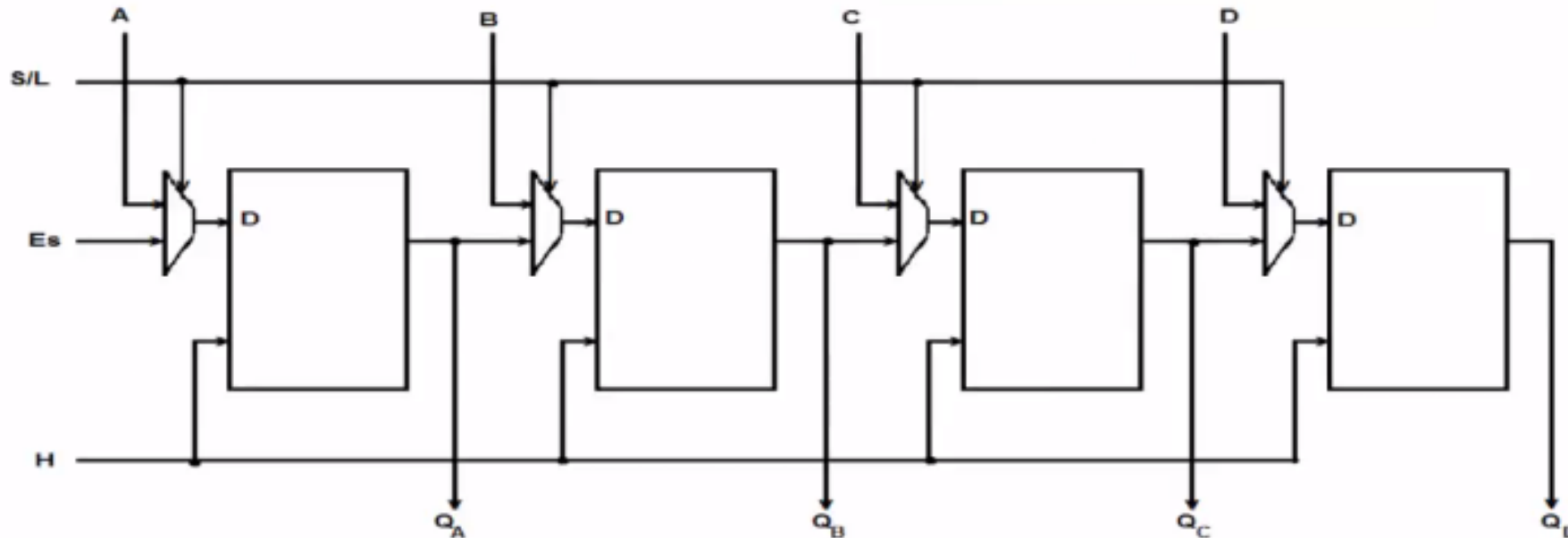


Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

D) Registre à décalage: entrées parallèles et sorties parallèles

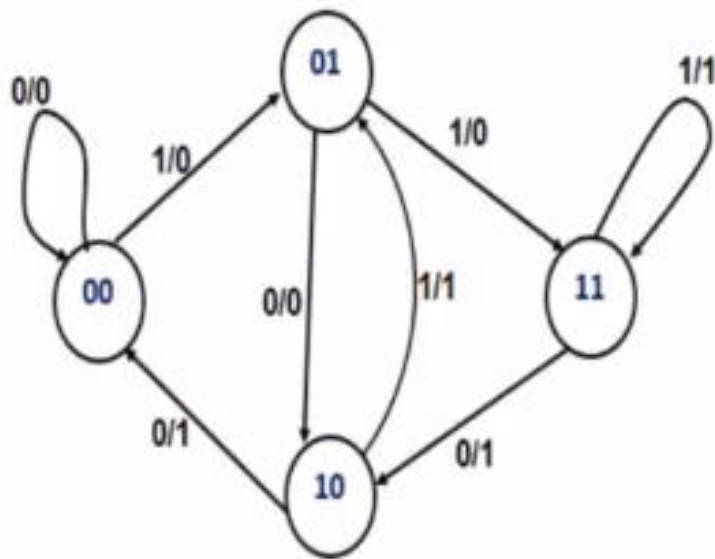


Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y



1. Donner la table de transition
2. Donner l'équation algébrique simplifiée de Y en fonction de X, Q_1 , Q_0
3. Réaliser ce circuit à l'aide des bascules T et le minimum des portes logiques
5. Quelle est le type de bascule adéquat pour réaliser ce circuit (justifier)
6. Quel est le rôle de ce circuit.

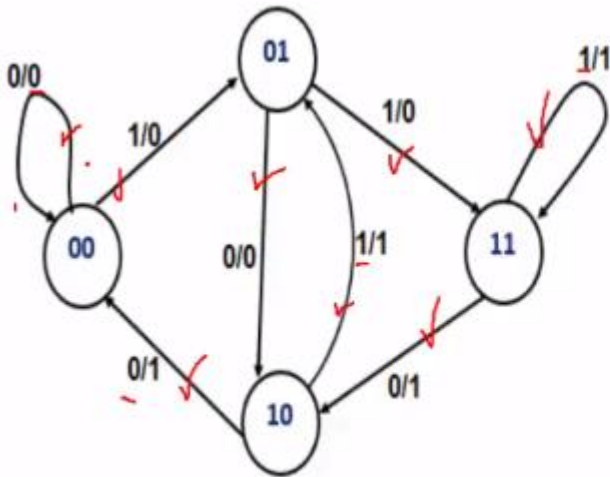
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 1:



X	Q1	Q0	Q1+	Q0+	Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1

		Q ₀	
		0	1
x Q ₁	00	0	0
	01	1	1
	11	1	1
	10	0	0

$$Y=Q1$$

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 2:

X	Q ₁	Q ₀	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺	Y	T ₁	T ₀
0	0	0	0	0	0		
0	0	1	1	0	0		
0	1	0	0	0	1		
0	1	1	1	0	1		
1	0	0	0	1	0		
1	0	1	1	1	0		
1	1	0	0	1	1		
1	1	1	1	1	1		

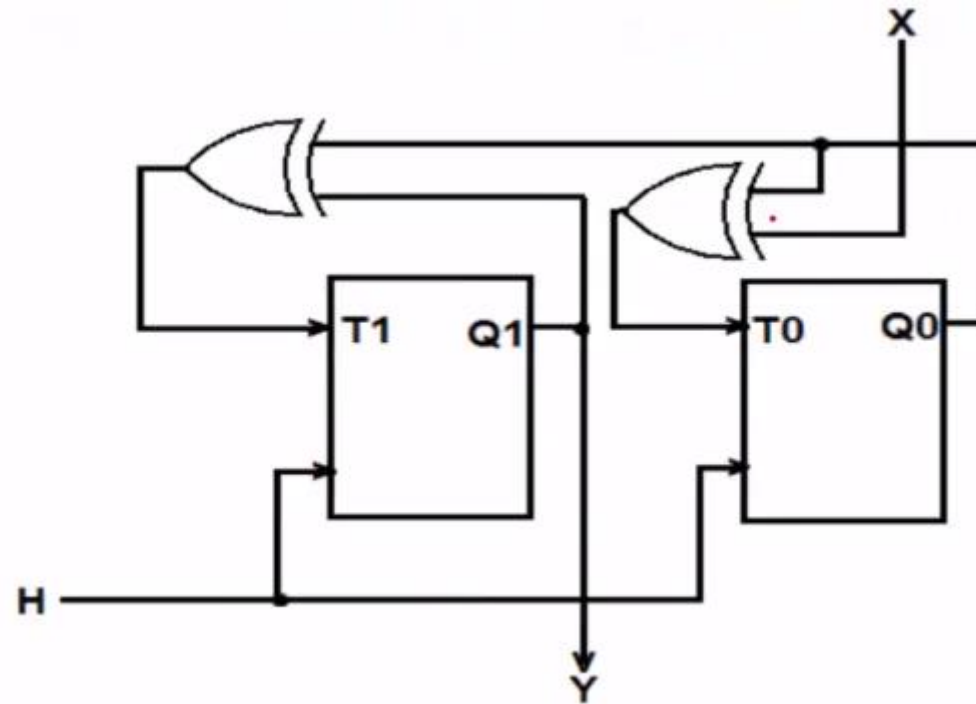
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 3:



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 3:

X	Q ₁	Q ₀	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺	Y	T ₁	T ₀
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	1	0
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0

X \ Q ₀	0	1
Q ₁ \ 00	0	1
01	1	0
11	1	0
10	0	1

$$T_1 = Q_1 \oplus Q_0$$

X \ Q ₀	0	1
Q ₁ \ 00	0	1
01	0	1
11	1	0
10	1	0

$$T_0 = X \oplus Q_0$$

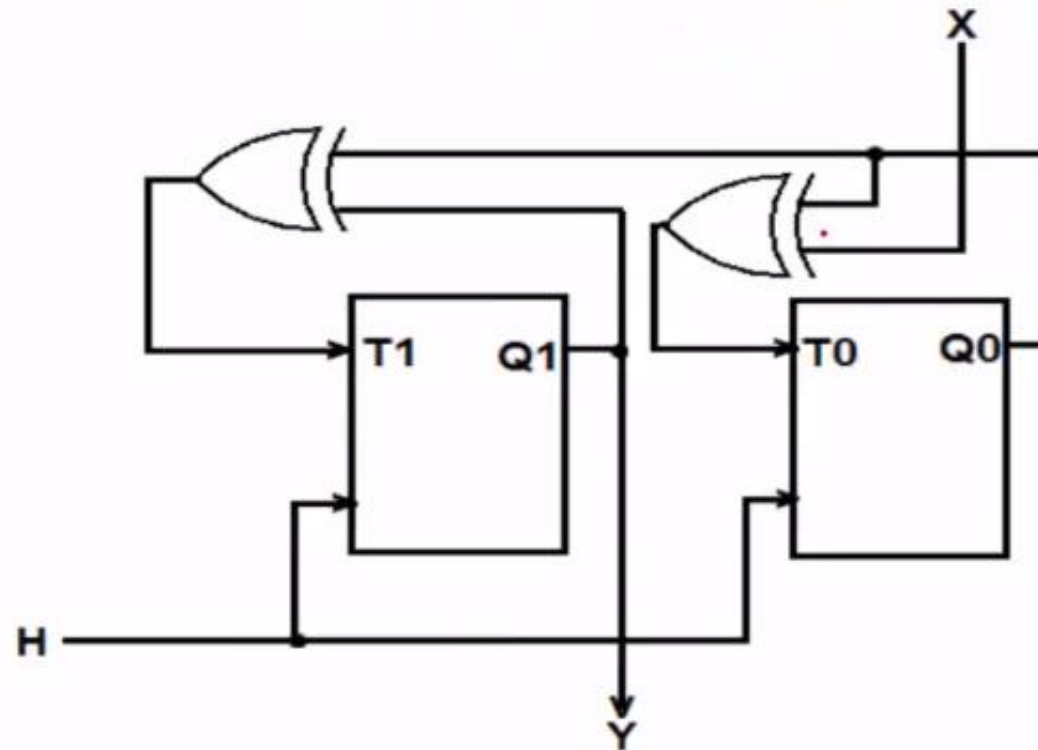
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 3:



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 4:

X	Q ₁	Q ₀	Q ₁ ⁺	Q ₀ ⁺	Y	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1

		Q ₀	
X	Q ₁	0	1
		0	1
0	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
1	0	0	1

$$D_1 = Q_0$$

		Q ₀	
X	Q ₁	0	1
		0	1
0	0	0	0
0	1	0	0
1	1	1	1
1	0	1	1

$$D_0 = X$$

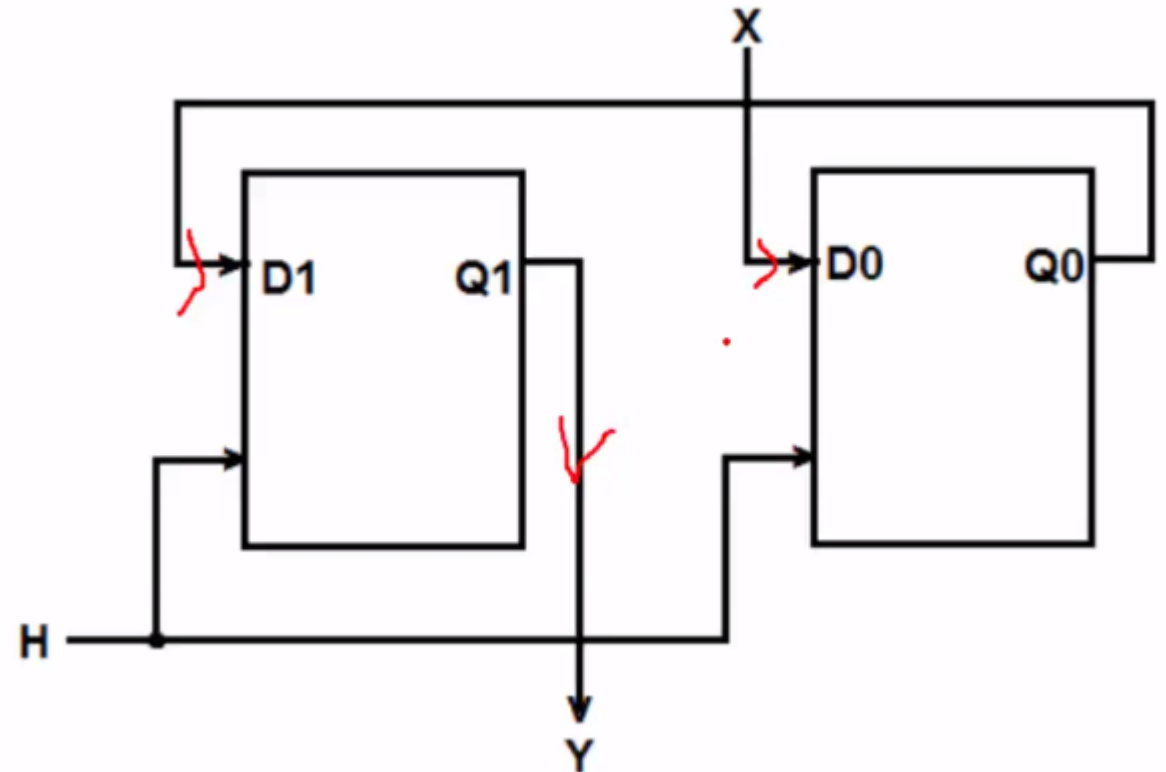
Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 4:



Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 5:

Le type de bascule adéquat pour réaliser ce circuit et la bascule D parce qu'elle ne demande que deux bascules D contrairement aux bascules T qui consomme deux portes logiques XOR en plus des deux bascules T.

Unité 1: Informatique Industrielle

Circuit séquentielle

Les Registres

Exercice: soit le diagramme de transition d'un circuit séquentiel synchrone avec une entrée X et une sortie Y

Question 6:

c'est un registre sur deux bits a décalage vers la gauche avec une entrée série (à droite) et une sortie série (à gauche).

