

Leçon A3 : Les Compteurs et Les décompteurs

Objectifs :

- *Réaliser des applications à base de bascules.
- *Choisir et mettre en œuvre un compteur/décompteur.

A. Mise en situation :

Système technique : Montre électronique

Une des applications les plus courantes des compteurs est la montre électronique où l'heure du jour est indiquée au moyen de chiffres : deux chiffres pour les heures, deux chiffres pour les minutes et deux chiffres pour les secondes.

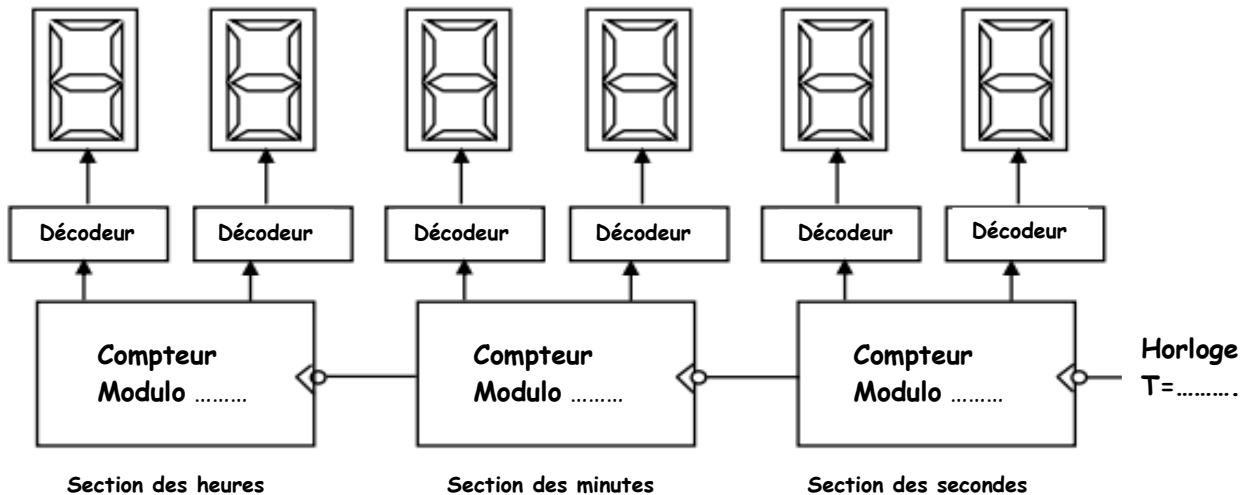
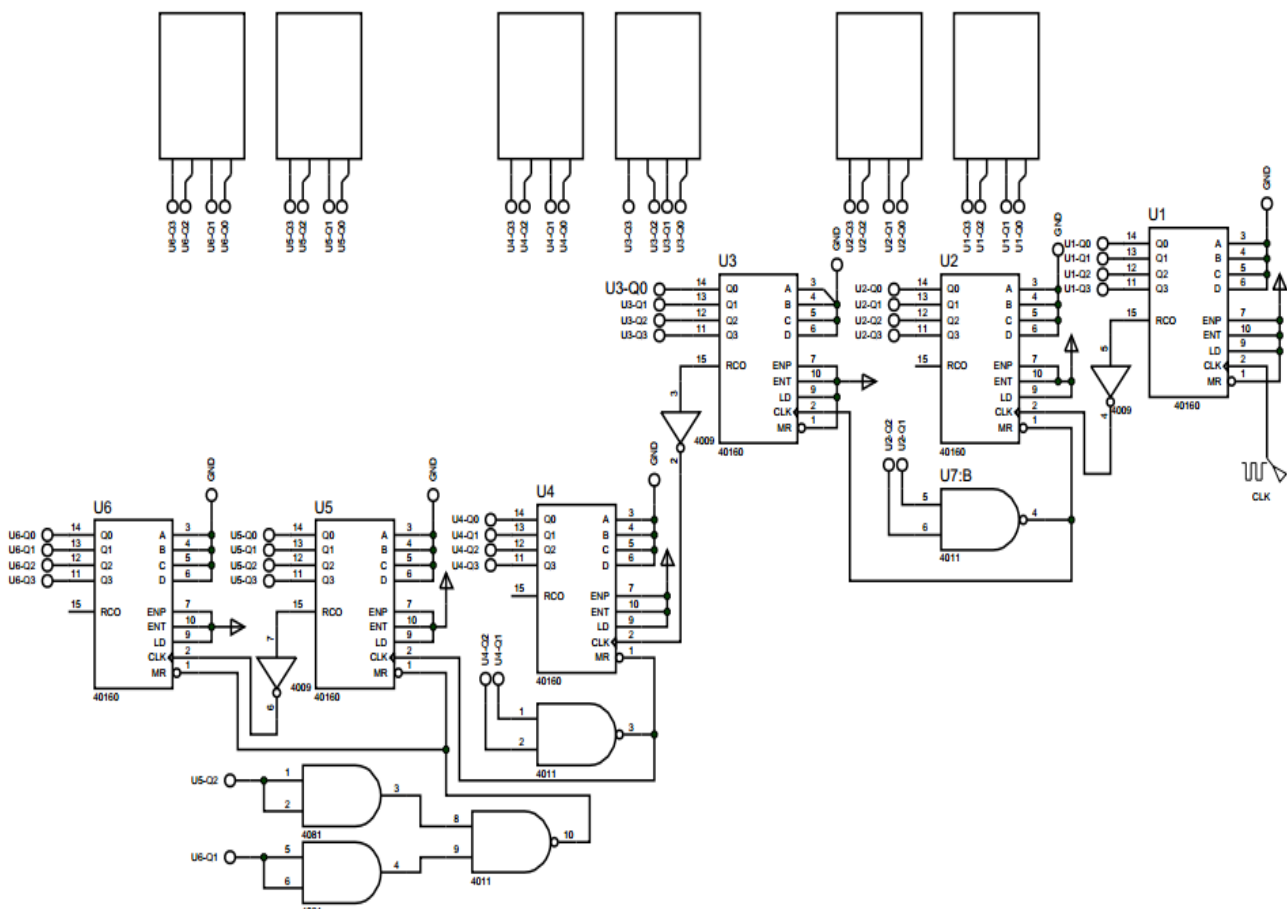


Schéma synoptique d'une montre électronique



B-Rappels :

B-1-Définition : La fonction comptage ou décomptage est réalisé par un circuit.....à base depermettant :

- * La modification du mot binaire chaque fois qu'une information est appliquée à l'entrée
- * La mémorisation de l'état de sortie.

B-2 Capacité d'un compteur/décompteur (Modulo) :

Un compteur/décompteur modulo N (diviseur de fréquence par N), comporte N combinaisons de 0 à $N-1$ et utilise n bascules tel que $2^{n-1} < N \leq 2^n$.

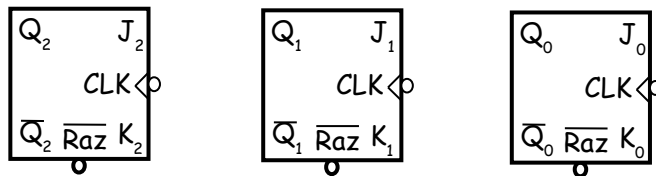
Exemples :

- * Compteur modulo 8 : Cycle de comptage de à le nombre de bascules égal à
- * Compteur modulo 13 : Cycle de comptage de à le nombre de bascules égal à

B-3 Compteur asynchrone :

La réalisation d'un compteur asynchrone consiste à mettre en cascade des bascules **T** obtenues à partir des bascules synchrones **JK** et **D**. Un compteur asynchrone reçoit un signal d'horloge seulement sur l'entrée **H (CLK)** de la première bascule et pour les autres bascules l'entrée de l'horloge de chaque bascule est reliée à la sortie de la bascule précédente de façon suivant :

Exemple : compteur modulo 8



Remarques importantes :

Pour un compteur à bascules à :

Front descendant : est relié à la sortie de la bascule de rang (i-1).

Front montant : est relié à la sortie de la bascule de rang (i-1).

Pour un décompteur à bascules à :

Front descendant : est relié à la sortie de la bascule de rang (i-1).

Front montant : est relié à la sortie de la bascule de rang (i-1).

Avantages :

- * Conception facile par répétition de modules diviseurs de fréquence par deux.
- * La sortie \overline{Q} reliée à l'entrée **D** pour une bascule **D**.
- * $J=K=1$ pour une bascule **JK**.

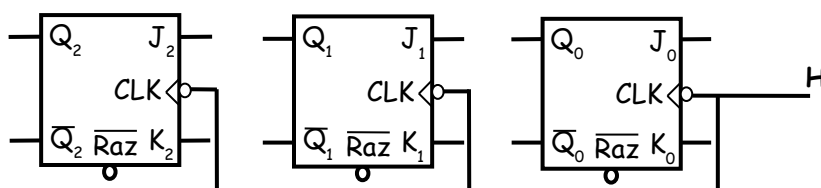
Inconvénients :

- * Temps d'établissement long
- * Passage par des états parasites.

C-Compteurs /Décompteurs synchrones :

C-1 Principe de fonctionnement :

Dans un compteur ou décompteur synchrone, toutes les bascules sont commandées en même temps par le même signal d'horloge. Le basculement de chaque étage sera synchronisé par le signal d'horloge et dépend uniquement de l'état des entrées de commandes **JK** ou **D**.



C-2 Méthode de résolution :

- * Déterminer le modulo, ceci permet de déterminer le nombre de bascules à utiliser.
- * Etablir la table de comptage ou décomptage.
- * Etablir la table de fonctionnement des différentes bascules en se basant sur la table sur la table d'excitation de la bascule utilisée pour réaliser ce compteur ou décompteur.
- * Mettre en équation les entrées de commandes de chaque bascule.
- * Tracer le logigramme ou le circuit logique (Schéma de câblage).

C-3 Réalisation des compteurs synchrones :

C-3-1 Compteur synchrone modulo 8 :

À l'aide des bascules JK à front descendant.

Nombre de bascules $n = \dots\dots\dots$; cycle de comptage de $\dots\dots\dots$ à $\dots\dots\dots$

	Etat à l'instant t			Etat à l'instant $t+1$			Commandes					
Cycle	Q_C	Q_B	Q_A	Q_C	Q_B	Q_A	J_C	J_B	J_A	K_C	K_B	K_A
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

Table de comptage

Q_t	Q_{t+1}	J	K	Observations
0	0	0	X	μ_0 mémoire de 0
0	1	1	X	ϵ enclenchement
1	0	X	1	δ déclenchement
1	1	X	0	μ_1 mémoire de 1

Table d'excitation de la bascule JK

*** Equations des entrées de commandes :**

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

$J_C = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

$J_B = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

$J_A = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

$K_C = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

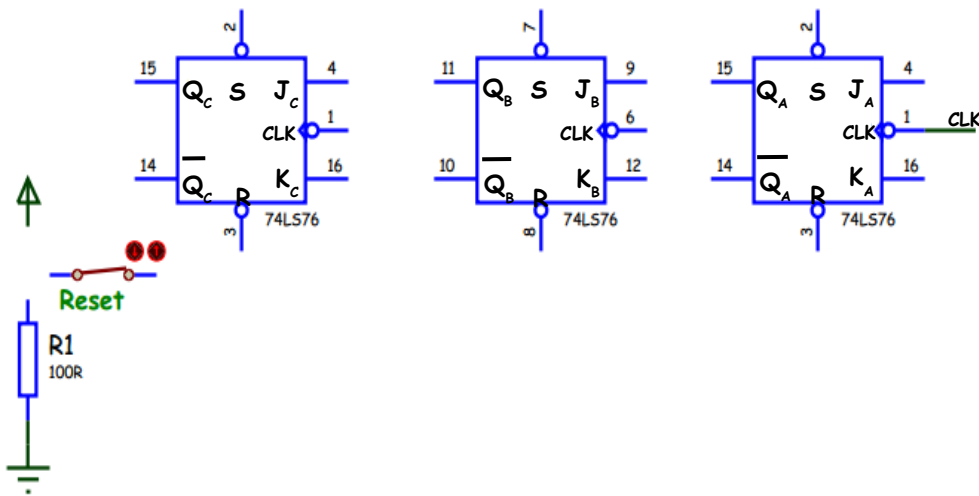
$K_B = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$	00	01	11	10
Q_A				
0				
1				

$K_A = \dots\dots\dots$



* Logigramme (Circuit logique) :



* à l'aide des bascules D à front montant.

Cycle	Etat à l'instant (t)			Etat à l'instant (t+1)			Entrées de commandes		
	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

Table de comptage

Q _t	Q _{t+1}	D	Observations
0	0	0	μ_0 mémoire de 0
0	1	1	ϵ enclenchement
1	0	0	δ déclenchement
1	1	1	μ_1 mémoire de 1

Table d'excitation de la bascule D

Q ₂ \ Q ₁	00	01	11	10
0				
1				

D₂ =

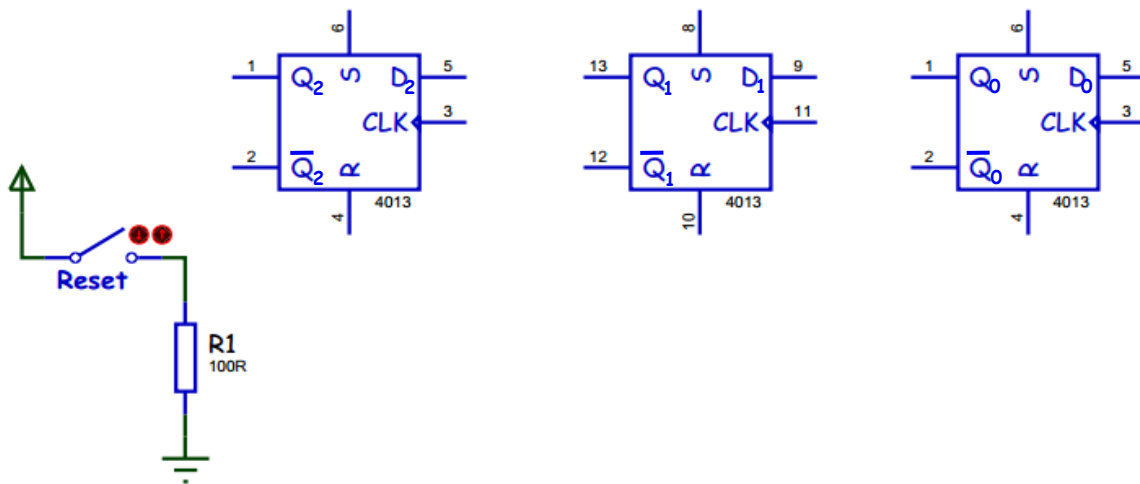
Q ₂ \ Q ₁	00	01	11	10
0				
1				

D₁ =

Q ₂ \ Q ₁	00	01	11	10
0				
1				

D₀ =





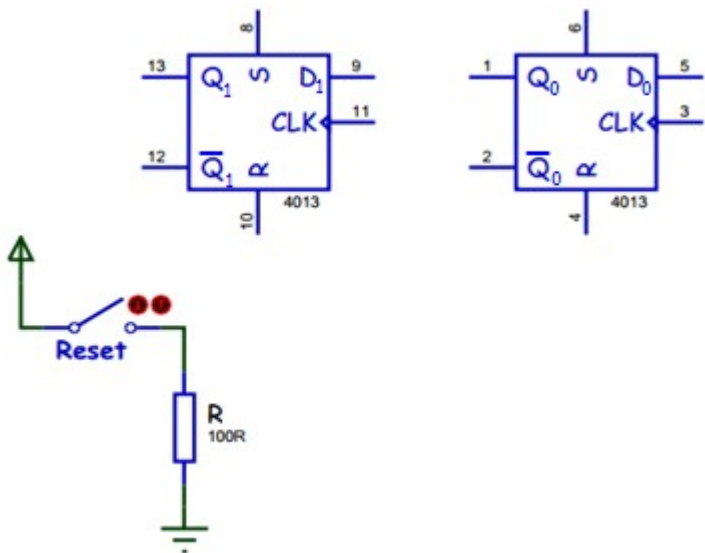
C-3-2 Activité 1 Page 47-48 :

C-3-3 Compteur synchrone modulo 4 :

À l'aide des bascules D à front montant.

Nombre de bascules < $n \leq$ --> $n =$; cycle de comptage de à

Cycle	Sorties l'instant (t)		Sorties l'instant (t+1)		Entrées de commandes	
	Q_1	Q_0	Q_1	Q_0	D_1	D_0
0						
1						
2						
3						



$Q_0 \backslash Q_1$	0	1
0		
1		

$D_1 =$

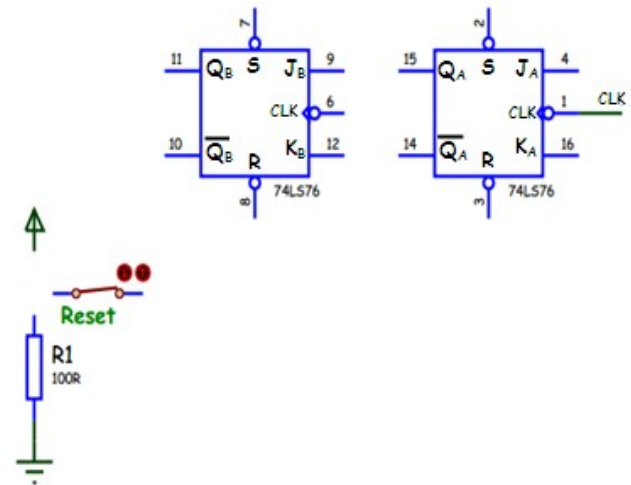
$Q_0 \backslash Q_1$	0	1
0		
1		

$D_0 =$



À l'aide des bascules JK à front descendant.

	Etat à l'instant (t)		Etat à l'instant (t+1)		Entrées de commandes			
Cycle	Q _B	Q _A	Q _B	Q _A	J _B	J _A	K _B	K _A
0								
1								
2								
3								



Q _A \ Q _B	0	1
0		
1		

J_B =

Q _A \ Q _B	0	1
0		
1		

J_A =

Q _A \ Q _B	0	1
0		
1		

K_B =

Q _A \ Q _B	0	1
0		
1		

K_A =

C-3-4 Activité 2 Page 49 :

Exercice à résoudre : réaliser un compteur synchrone dont le cycle de comptage est le suivant : 0-2-4-6.

C-4 Réalisation des Décompteurs synchrones :

Décompteur modulo 5 à l'aide de bascule JK à front descendant:

Dans ce type de circuit, le sens de comptage est inversé. La méthode exposée précédemment s'applique très bien.

	Etat à l'instant (t)			Etat à l'instant (t+1)			Entrées de commandes					
Cycle	Q _C	Q _B	Q _A	Q _C	Q _B	Q _A	J _C	J _B	J _A	K _C	K _B	K _A
4												
3												
2												
1												
0												

Q _A \ Q _C Q _B	00	01	11	10
0				
1				

J_C =

Q _A \ Q _C Q _B	00	01	11	10
0				
1				

J_B =



$Q_C Q_B$ Q_A	00	01	11	10
0				
1				

$J_A = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$ Q_A	00	01	11	10
0				
1				

$K_C = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$ Q_A	00	01	11	10
0				
1				

$K_B = \dots\dots\dots$

$Q_C Q_B$ Q_A	00	01	11	10
0				
1				

$K_A = \dots\dots\dots$

Exercice à résoudre : réaliser un décompteur synchrone dont le cycle de décomptage est le suivant : 7-5-3-1.

D-Technologie des compteurs/décompteur intégrés :

On classe les compteurs intégrés selon le mode de synchronisation on distingue alors deux catégories :

- * Les compteurs intégrés asynchrones
- * Les compteurs intégrés synchrones

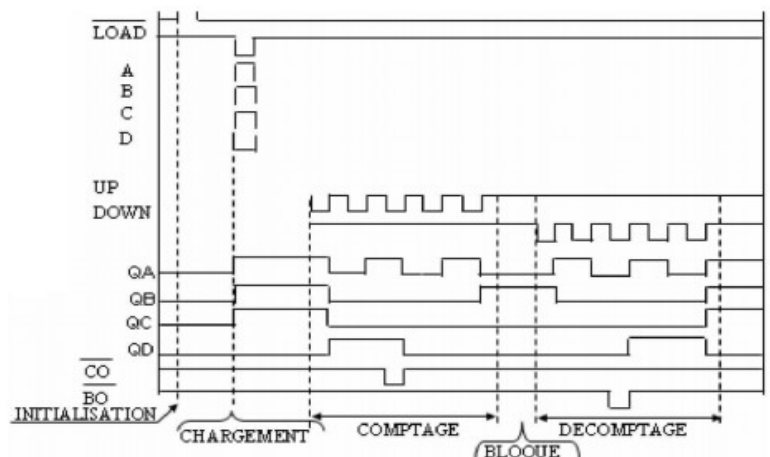
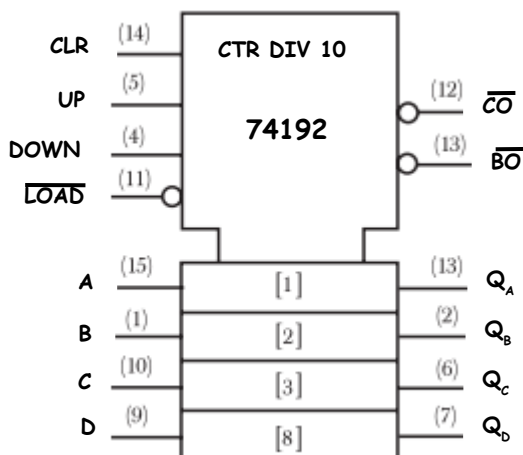
Exemples :

	Les compteurs intégrés asynchrones	Les compteurs intégrés synchrones
Technologie TTL	7490-7492-7493	74190-74191-74192-74193
Technologie CMOS	-----	40192-40193-4029

D-1 Compteur synchrone décimal :

Exemple du circuit intégré **74192 TTL**: compteur-décompteur décimal (BCD) synchrone à 4 bits horloge (UP/DOWN) avec remise à zéro (CLR).

D-1-1-Symbole et chronogrammes :

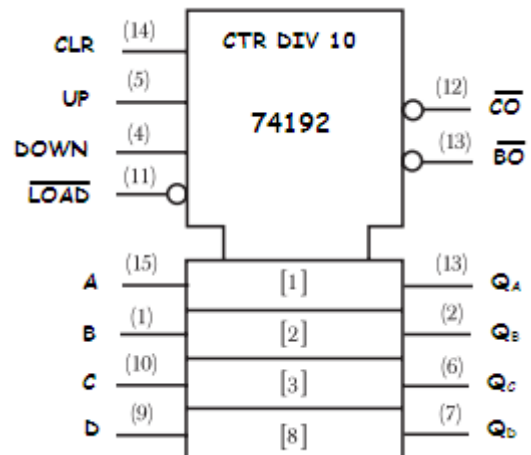
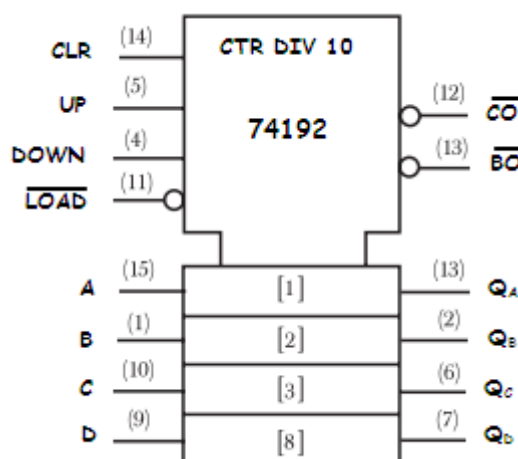


D-1-2 Caractéristiques :

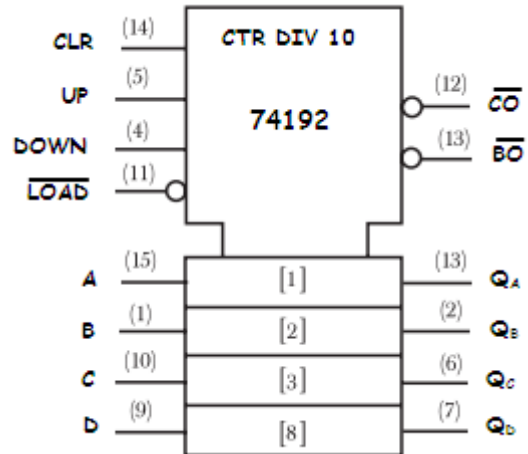
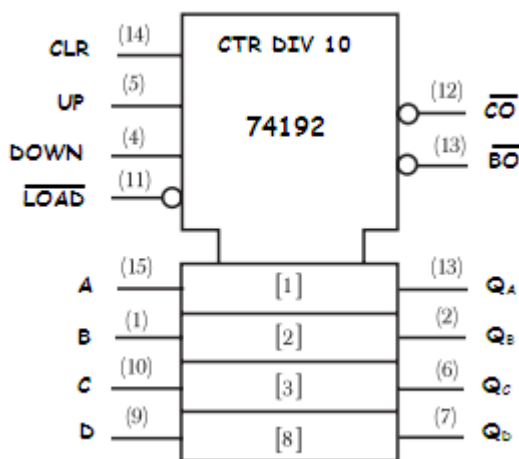
- * **DIV10** : compteur modulo 10 : ce circuit permet de compter ou décompter à 10.
- * **CLR**: entrée de remise à zéro : si **CLR=1**(active) alors $Q_b Q_c Q_d Q_A = 0000$, (désactivé si **CLR=0**)
- * **UP**: horloge du compteur synchrone modulo 10 : chaque impulsion sur l'horloge **UP** le compteur s'incrémente de 1, (désactivé si **UP =0**)
- * **DOWN** : horloge du décompteur synchrone modulo 10 : chaque impulsion sur l'horloge **DOWN** le décompteur se décrémente de 1, (désactivé si **DOWN=1**).
- * **LOAD**: entrée de chargement : si **LOAD=0** (active) les sorties se chargent par les entrées de programmation : $Q_A=A, Q_B=B, Q_C=C, Q_D=D$, (désactivé si **LOAD=1**).
- * **A, B, C, D**: entrées de programmation.
- * **CO**: fin de comptage : **CO=0** toutes les 10 impulsions d'horloge **UP** ailleurs **CO=1**.
- * **BO**: fin de décomptage : **BO=0** toutes les 10 impulsions d'horloge **DOWN** ailleurs **BO=1**.
- * pour montage en cascade, connecter **CO** à l'entrée **UP** et **BO** à l'entrée **DOWN**.

D-1-3 exemples d'applications théoriques et pratiques:

Compteur synchrone modulo 10	Compteur synchrone modulo 5
description et câblage -cycle de comptage de 0 à 9 sans forçage -CLR et LOAD: désactivés : CLR=0 et LOAD=1 -Comptage : UP=l'horloge et DOWN = 1	-Cycle de comptage de 0 à 4 avec forçage 5 ; 5=0101 , on doit forcer à zéro Q_0 et Q_2 donc CLR = $Q_2 \cdot Q_0$ -Pendant le cycle de comptage de 0 à 4 : CLR =0 désactivé -Au moment de forçage à 5 CLR=1 activé LOAD=1 : désactivé -Comptage : UP=l'horloge et DOWN = 1



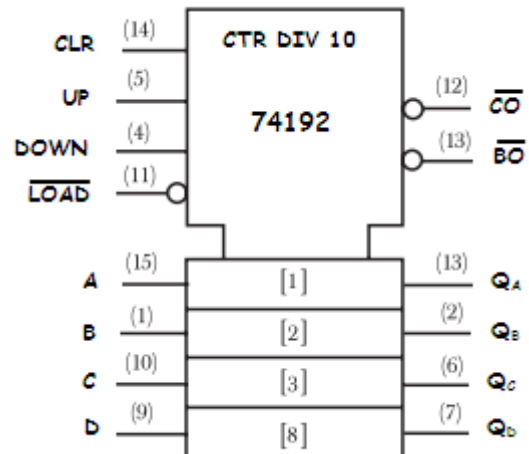
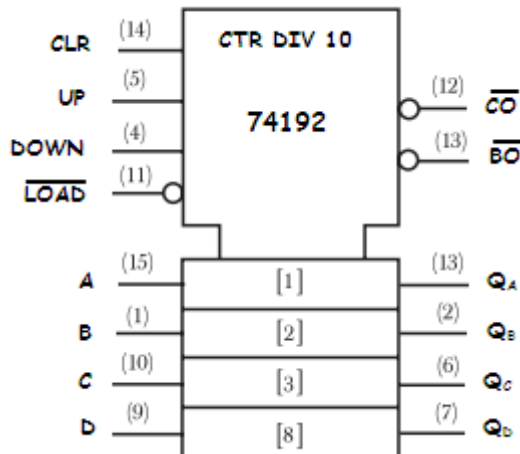
décompteur synchrone modulo 10	décompteur synchrone modulo 5
<ul style="list-style-type: none"> -Cycle de comptage de 9 à 0 sans forçage -CLR et \overline{LOAD} : désactivé : CLR = 0 et $\overline{LOAD}=1$ -Comptage : DOWN = l'horloge et UP = 1 	<ul style="list-style-type: none"> -Cycle de décomptage de 4 à 0 avec mise à 4, 4=0100 , on doit charger au départ le décompteur à 4 au lieu de 9 $\overline{LOAD}=Q_3.Q_0$ DCBA= 4(10) = 0100 -Au moment de chargement : \overline{LOAD} = 0 activé -Pendant le cycle de décomptage de 4 à 0 : \overline{LOAD} = 0 désactivé , CLR = 1 : désactivé -Comptage : DOWN = l'horloge et UP = 1



Compteur synchrone modulo 100 :

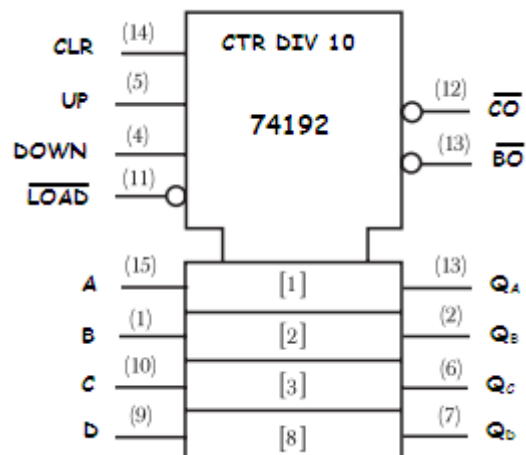
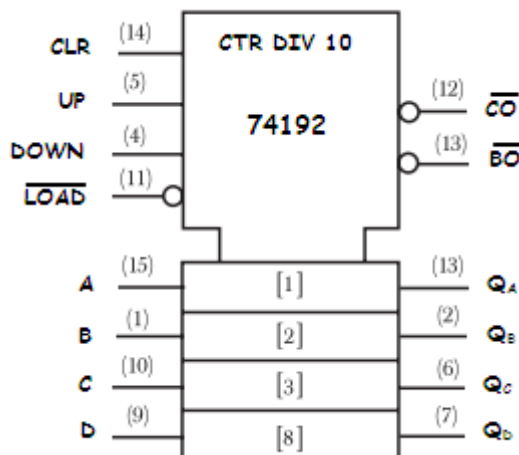
- *Cycle de comptage de 00 à 99 sans forçage
- *Compteur unité : CLR et \overline{LOAD} : désactivé : CLR = 0 et \overline{LOAD} = 1
Comptage : UP = l'horloge et DOWN = 1
- *Compteur dizaine : CLR et \overline{LOAD} : désactivé : CLR = 0 et \overline{LOAD} = 1
Comptage : UP = l'horloge et DOWN = 1
- *Le compteur unité compte de 0 à 9 (10 impulsions d'horloge), alors que le compteur dizaine s'incrémente d'une 1 impulsion ,
- *Pour 10 impulsions la sortie \overline{CO} fournit une impulsion d'horloge alors que \overline{BO} fournit un signal Positive (1 logique).
- *Pour obtenir un compteur modulo 100 on doit mettre en **cascade** le deux compteurs en reliant : \overline{CO} à UP et \overline{BO} à DOWN





Décompteur synchrone modulo 100 :

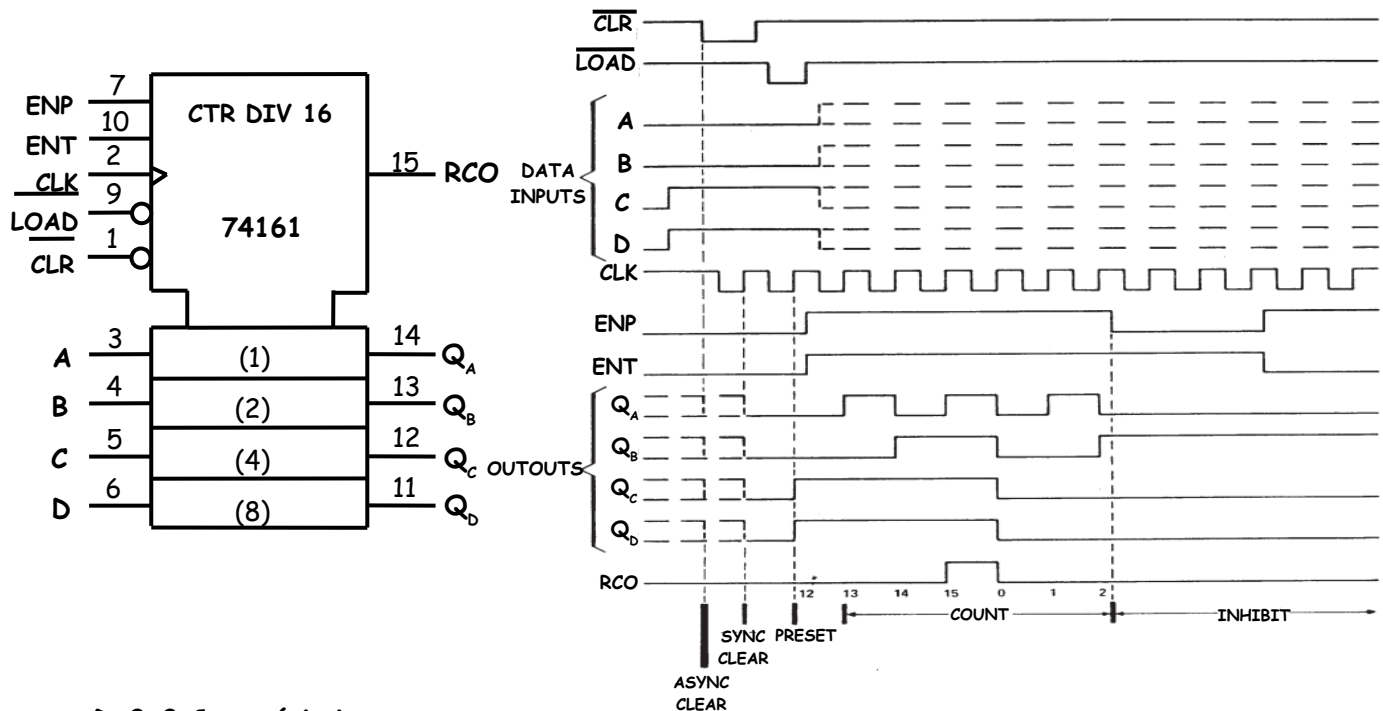
- Le compteur unité compte de 9 à 0 (10 impulsions d'horloge) alors que le compteur dizaine se décrémente d'une impulsion.
- Toutes les 10 impulsions la sortie \overline{BO} fournit une impulsion d'horloge alors que \overline{CO} fournit signal positive (1 logique). Pour obtenir un décompteur modulo 100 on doit mettre en cascade les deux compteurs en reliant : \overline{CO} à UP et \overline{BO} à DOWN



D-2 Compteur synchrone binaire :

Exemple : le circuit intégré 74161 est un compteur synchrone binaire (modulo 16) permet de compter de 0 à 15.

D-2-1-Symbole et chronogrammes :

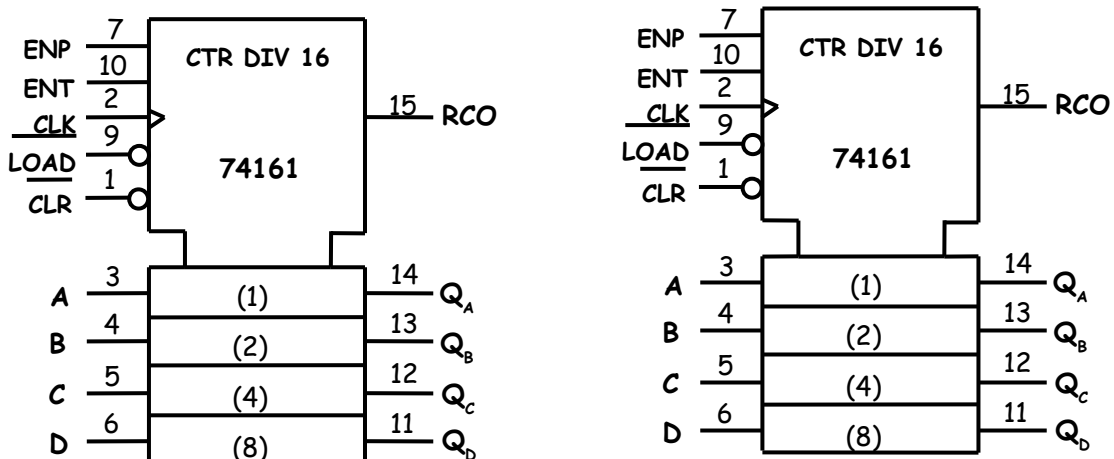


D-2-2 Caractéristiques :

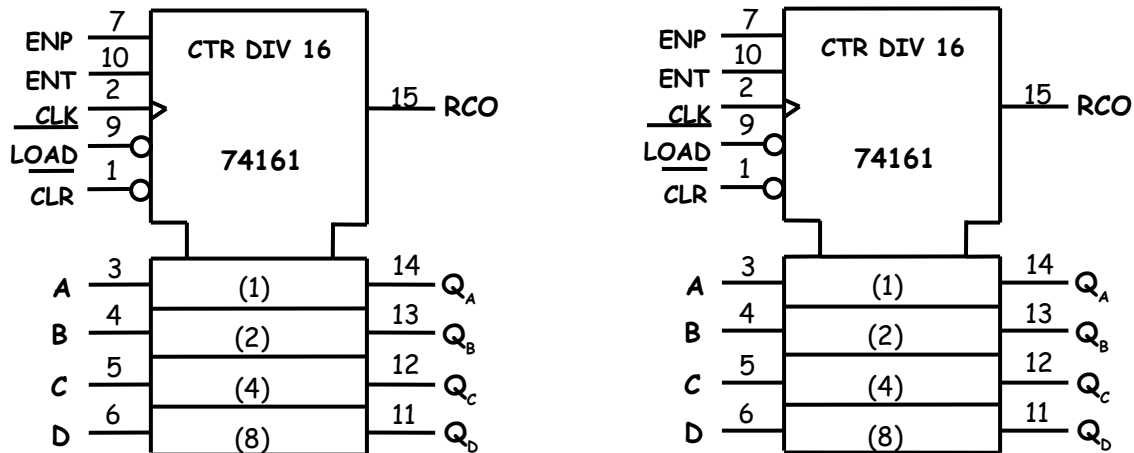
- * **DIV16** : compteur synchrone binaire **modulo 16** permet de compter à 15.
- * **ENP** et **ENT** : entrées de validations pour que le compteur soit valide il faut que **ENP=ENT=1**.
- * **LOAD** : entrée de chargement synchrone, si **LOAD=0** et en présence d'un \uparrow de **CLK** alors $Q_D Q_C Q_B Q_A = DCBA$.
- * **CLK** : entrée de l'horloge active à un front montant.
- * **CLR** : entrée de remise à 0 asynchrone, si **CLR=0 (active)** alors $Q_D Q_C Q_B Q_A = 0000$ indépendamment du signal de l'horloge.
- * **RCO** : Signal fin cycle de comptage, **RCO=1** en fin de cycle au dehors **RCO=0**.

D-2-2 Exemples d'applications théoriques et pratiques :

- * Compteur modulo 256 avec horloge appliquée aux 2 circuits :



* Compteur modulo 256 avec horloge appliquée au premier circuit :



D-3 Compteur asynchrone décimal :

Exemple : le **CI 7490 TTL** est un compteur asynchrone décimal ou bi-quinaire possédant deux étages, un étage diviseur par 2 et l'autre par 5.

*1^{er} étage : est un diviseur par 2 d'horloge **INPUT-A** et de sortie **QA**.

*2^{ème} étage: est un diviseur par 5 d'horloge **INPUT-B** et de sorties **QBQCQB**.

* Pour obtenir un compteur **BCD (décimal)** il faut relier la sortie **QA** à l'entrée **INPUT-B**.

* Pour obtenir un compteur **bi-quinaire** il faut relier la sortie **QB** à l'entrée **INPUT-A**.

Voici alors les tableaux qui récapitulent le fonctionnement du **CI 7490 TTL**.

BCD				
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Q_A = INPUT - B

Bi-quinaire				
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	1
7	1	0	1	0
8	1	0	1	1
9	1	1	0	0

Q_D = INPUT - A

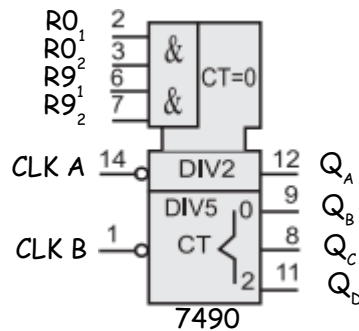
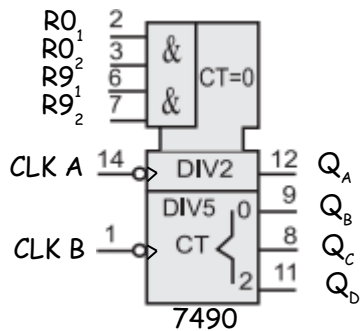
Entrées Asynchrones				Sorties			
R0 ₁	R0 ₂	R9 ₁	R9 ₂	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
1	1	0	X	0	0	0	0
1	1	X	0	0	0	0	0
X	X	1	1	1	0	0	1
Les 9 autres codes				Comptage			

***Mise en cascade** : -Réalisons un compteur modulo 100 en utilisant le **CI 7490 TTL**

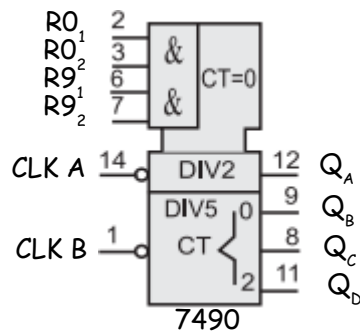
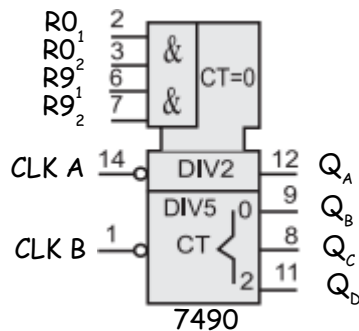
Un compteur modulo 100 s'obtient par la mise en cascade d'un compteur modulo.....pour compter leset d'un autre compteur modulo.....pour compter les

La sortie **Q_D** de circuit des unités est reliée à l'horlogedu circuit des dizaines.





***Mise en cascade** :-Réalisons un compteur modulo 20 en utilisant le **CI 7490 TTL**



Un compteur modulo 20 s'obtient par la mise en cascade d'un compteur modulo.....pour compter leset d'un autre compteur modulo.....pour compter les
La sortie Q_b de circuit des unités est reliée à l'horlogedu circuit des dizaines. Lorsque le compteur atteint la valeur $(20)_{10}=(10100)_2$ il doit être réinitialisé de nouveau à 0 donc on reliedu premier circuit etdu deuxième circuit aux entrées (..... ;) et (..... ;) à travers une porte logique

* Il existe d'autres **compteurs asynchrone** tels que le **CI-7493TTL** c'est compteur **modulo 16** Composé d'un étage **diviseur par 2** et d'un étage **diviseur par 8** la mise en cascade des deux étages (**INPUT-B= Q_A**) nous permet d'obtenir le compteur **modulo 16**.

