

Séquence 4 : Correction des exercices

★ Seq4.Exercice 1 : Bascule RS

1. Rappelez la table de vérité de la bascule RS

Entrées			Sortie	Remarque
S	R	H	Q_{n+1}	
0	0	X	Q_n	Aucun changement
0	1	↑	0	Etat 0
1	0	↑	1	Etat 1
1	1	↑	?	Non valide

2. Quelle est la différence entre les bascules des figures Exo1.1 et Exo1.2 ? Expliquez ce que cela signifie.

Différence : le petit rond qui apparaît au niveau de l'entrée CLK pour la deuxième bascule : les changements sur la sortie de la première bascule se font sur front montant du signal d'horloge, alors qu'ils ont lieu sur front descendant du signal d'horloge pour la deuxième bascule.

3. Appliquez les formes d'onde de la figure Exo1.3 sur les entrées R et S de la bascule RS de la figure Exo1.1, et en déduire l'évolution de la sortie Q de la bascule en supposant que $Q=0$ à $t=0$.
4. Même question pour la bascule de la figure Exo1.2.

Figure Exo1.1

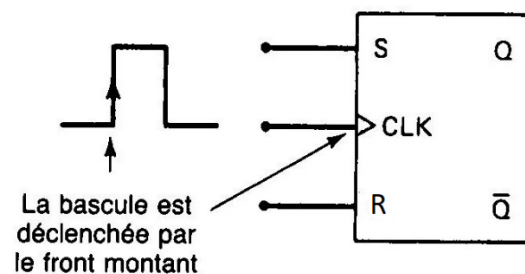


Figure Exo1.2

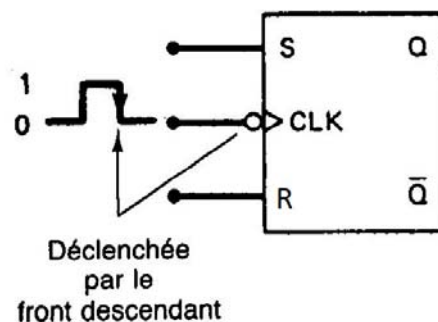
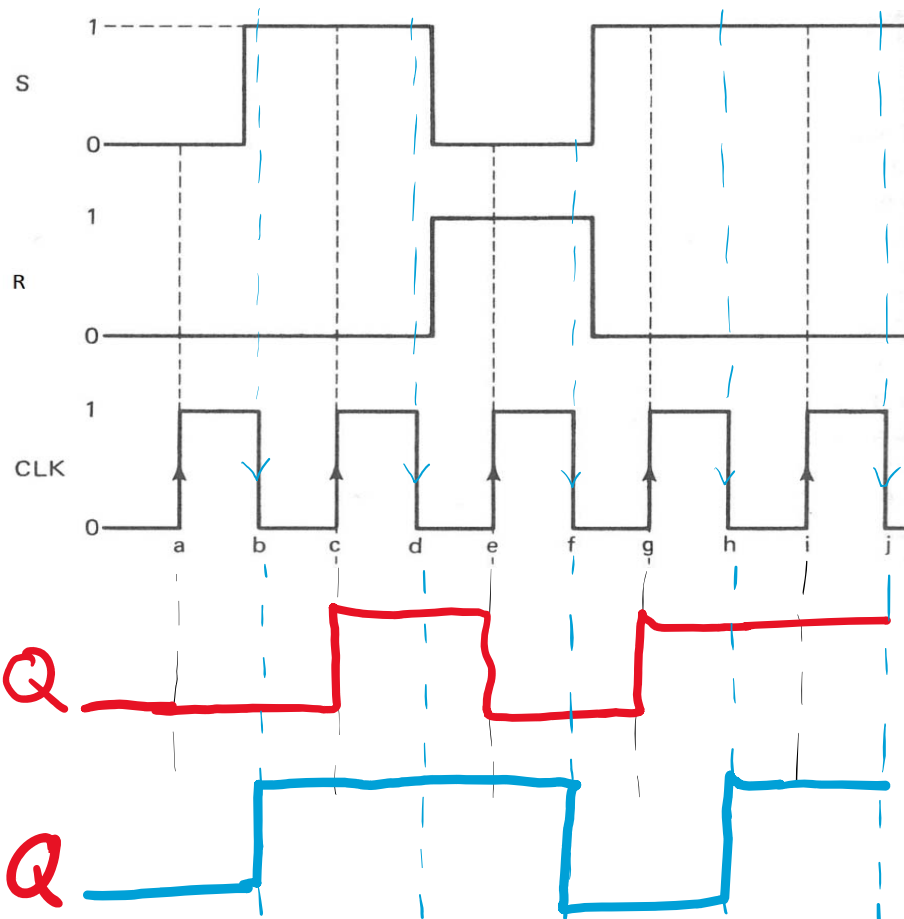


Figure Exo1.3



Question 3)

Q

Question 4)

Q



Seq4.Exercice 2 : Bascule JK

1. Rappelez la table de vérité de la bascule JK

Entrées			Sortie	Remarque
J	K	H	Q_{n+1}	
0	0	X	Q_n	Aucun changement
0	1	\uparrow	0	Etat 0
1	0	\uparrow	1	Etat 1
1	1	\uparrow	$\overline{Q_n}$	Basculément

2. Appliquez les formes d'onde J, K et CLK de la figure Exo2.2 à la bascule de la figure Exo2.1. Supposez qu'initialement $Q=1$ et tracez la forme d'onde de Q.

Figure Exo2.1

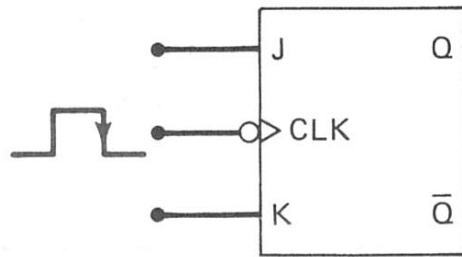
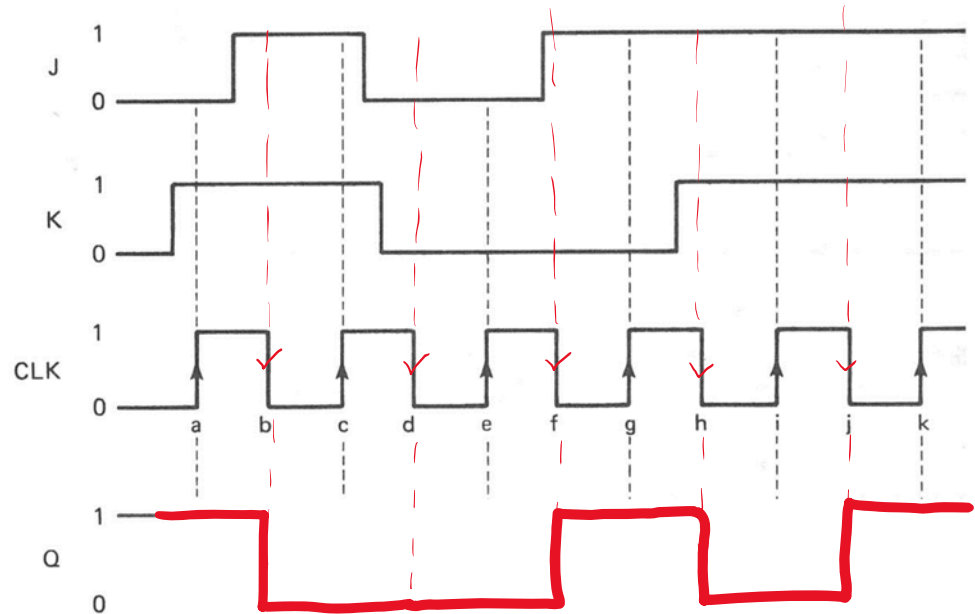
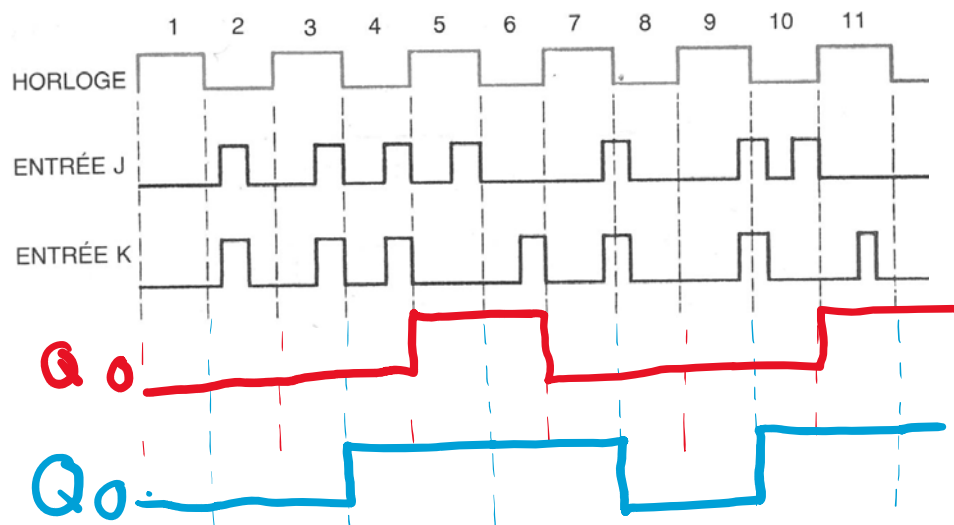


Figure Exo2.2



3. Les formes d'ondes illustrées sur la figure Exo2.3 sont présentées aux entrées de deux bascules différentes : a) une bascule JK déclenchée par un front montant et b) une bascule JK déclenchée par un front descendant. Dessinez les formes d'onde de la réponse Q pour chacune de ces bascules si, au départ, $Q=0$. On suppose que la bascule répond aux conditions de J et K présente juste avant le front actif.

Figure Exo2.3



Bascule \uparrow
Bascule \downarrow

Q_0

Q_0

★ Seq4.Exercice 3 : Bascule D

Une bascule D est employée pour temporiser une forme d'onde binaire afin que l'information apparaisse sur la sortie un certain temps après son application à l'entrée de la bascule D.

1. Rappelez la table de vérité de la bascule D.

Entrées		Sortie	Remarque
D	H	Q_{n+1}	
0	↑	0	Etat 0
1	↑	1	Etat 1

2. Déterminez la forme d'onde de Q de la figure Exo3 .1 puis comparez là à la forme d'onde d'entrée. Constatez qu'elle est en retard d'une période du signal d'horloge par rapport à l'entrée. Trouvez une façon d'introduire une temporisation de deux périodes du signal d'horloge.

Comme indiqué sous la bascule, on suppose que $T_M=0$ (temps de maintien), ce qui sous entend que la valeur de D n'a pas besoin d'être maintenue après le front actif pour être prise en compte et entraîner un changement sur la sortie. Par conséquent, au moment du front actif, la valeur de Q devient égale à la valeur de D juste avant le front actif.

Pour introduire une temporisation de 2 périodes, on peut ajouter une deuxième bascule en cascade avec la première. On met la sortie Q1 de la première sur l'entrée D2 de la seconde.

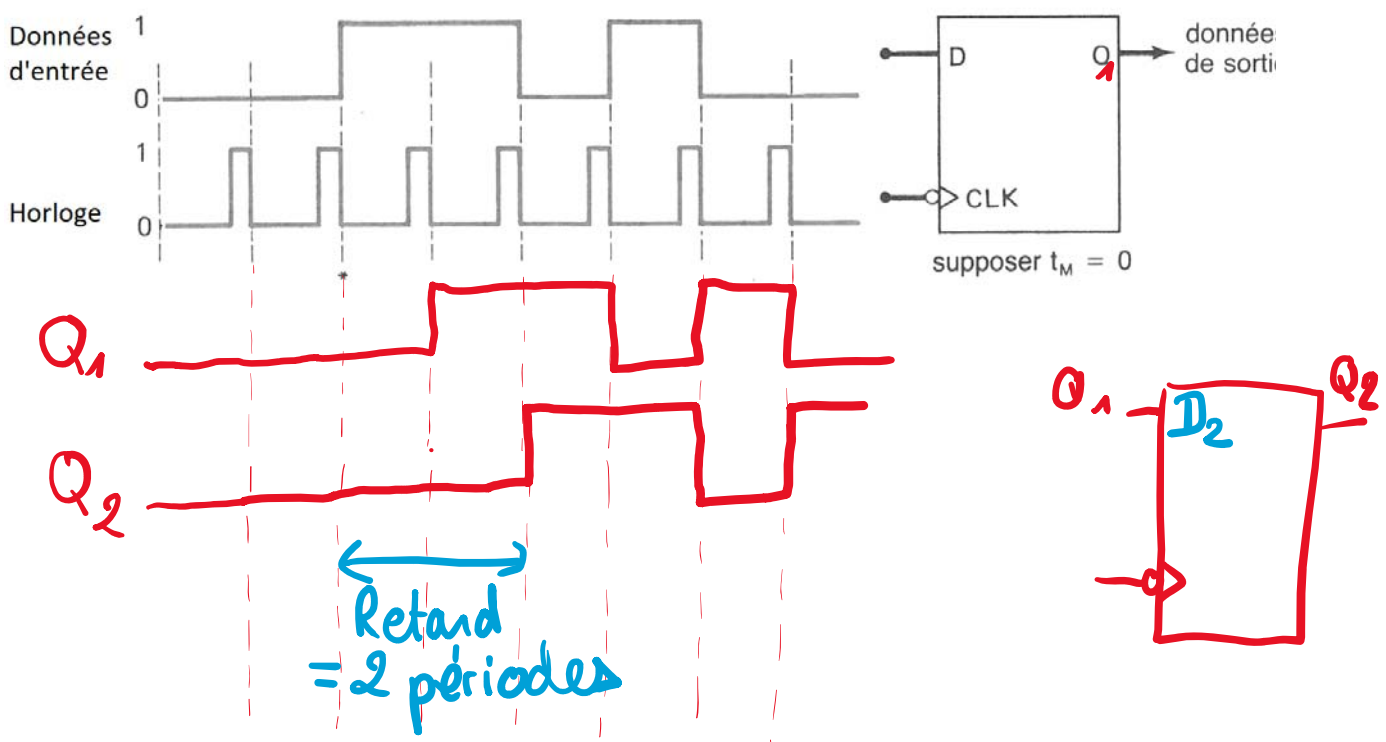
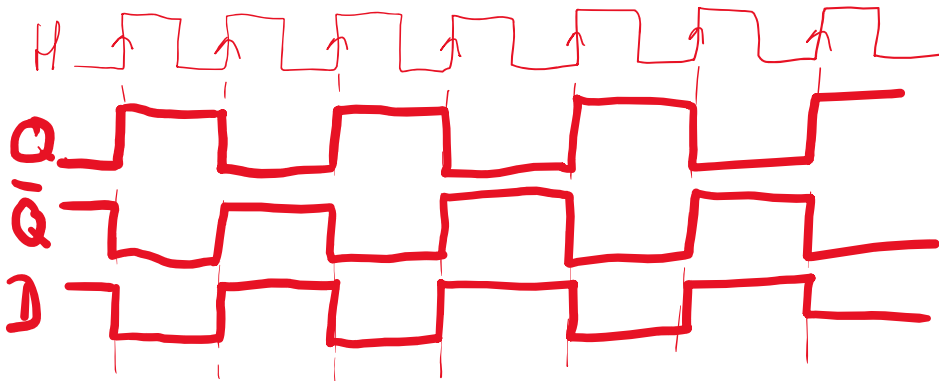
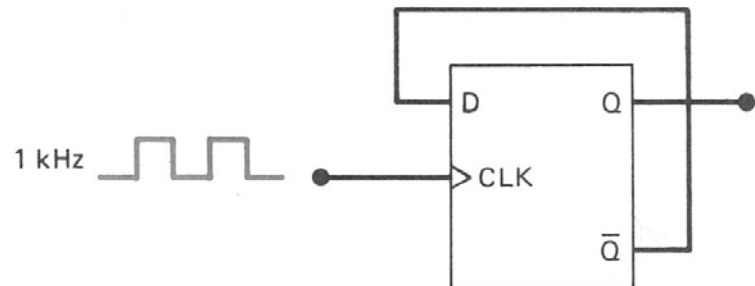


Figure Exo3.1

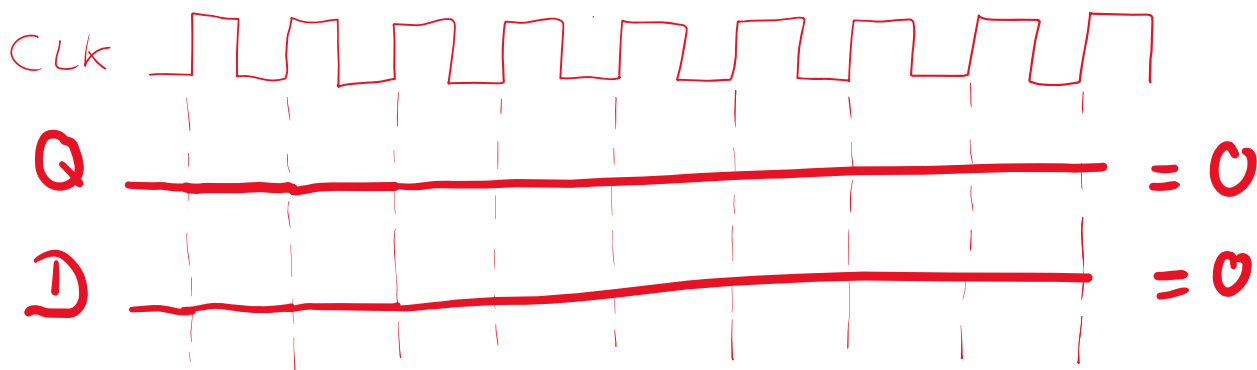
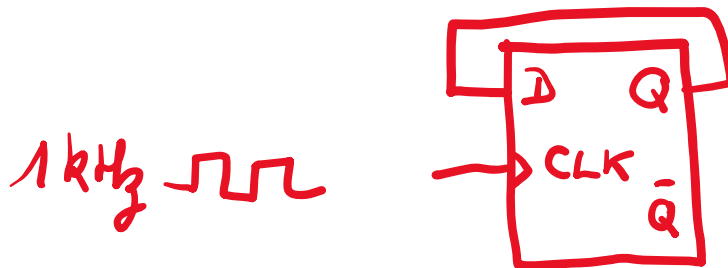
3. Une bascule D déclenchée par un signal d'horloge peut fonctionner en mode de commutation si on la câble comme à la figure Exo3.2. Supposez qu'initialement $Q=0$ puis tracez la forme d'onde de Q .

A $t=0$, $Q=0$, donc $\bar{Q}=1$, et puisque $D=\bar{Q}$, $D=1$. Au prochain front d'horloge, pour déterminer Q , on regarde la valeur de D : D vaut 1, donc Q passe à 1 jusqu'au prochain front d'horloge et ainsi de suite.

Figure Exo3.2



4. Modifiez le circuit de la figure Exo3.2 pour que ce soit Q qui soit rétrocouplé à D . Tracez maintenant la forme d'onde de Q .



★ Seq4.Exercice 4 : Bascule JK

Déterminez la forme d'onde de Q pour la bascule de la figure Exo4.1. Supposez qu'initialement $Q=0$ et rappelez vous que les entrées asynchrones ont priorité sur toutes les autres entrées.

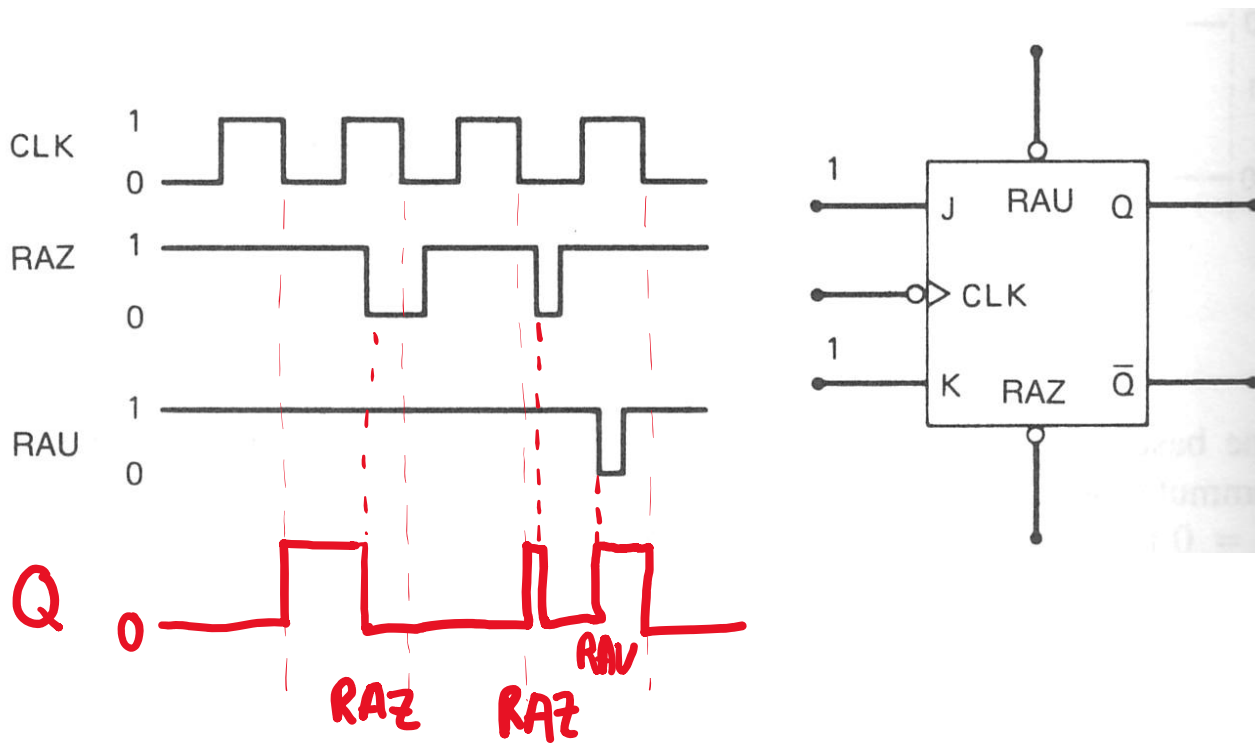
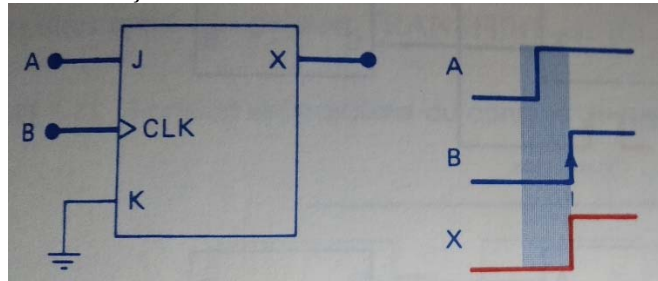


Figure Exo4.1

★★ Seq4.Exercice 5 : Bascule JK

La sortie de certains circuits ne réagit qu'à une succession particulière de signaux sur les entrées (comportement impossible à obtenir avec un circuit combinatoire) : supposons par exemple qu'avec une bascule D, on souhaite avoir une sortie X au niveau 1 seulement si l'entrée A passe à 1 avant que l'entrée B ne passe à 1 (on veut détecter la séquence « A passe à 1 avant B ») ; une façon d'y parvenir est de construire le circuit de la façon suivante :



En effet, dans ce montage, X ne passe à 1 au moment du front montant du signal B que si A est déjà à 1 quand le front montant arrive (fonctionnement d'une bascule D).

Dans le circuit de la figure Exo5.1, les entrées A, B, C sont initialement à 0. La sortie Y ne passe à 1 que lorsque A, B et C passent à 1 en respectant une certaine séquence.

1. Etablissez la séquence qui fait passer Y à 1.

Appelons J1, K1 les entrées de la première bascule (gauche) et J2, K2 celles de la deuxième bascule. Si l'on applique le raisonnement présenté en introduction de l'exercice, Y passe à 1 seulement si J2 est à 1 avant que C ne passe à 1, et de même J2 (c'est-à-dire X ne passe à 1 que lorsque B passe à 1 et que A était déjà à 1 avant B).

Du fait, pour que Y passe à 1, il faut que la séquence soit : A=1, puis B=1 ; puis C=1.

2. Expliquez le rôle de l'impulsion DEBUT.

L'impulsion DEBUT effectue une remise à zéro des deux bascules (X et Y passe immédiatement à 0 lorsque l'impulsion DEBUT est appliquée).

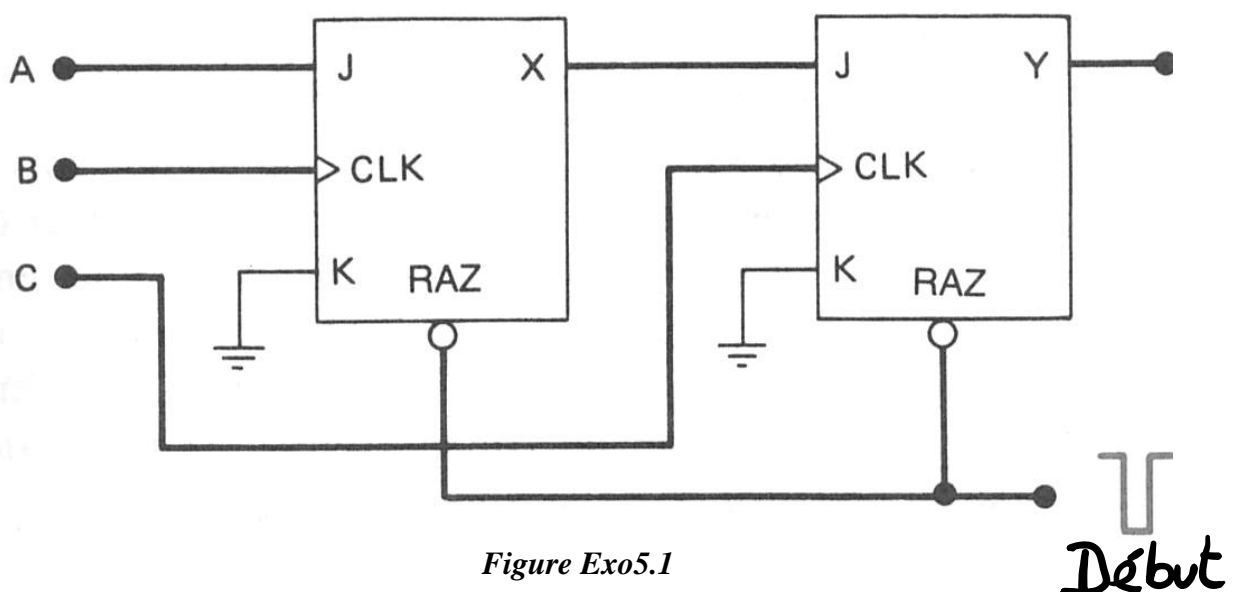


Figure Exo5.1



Seq4.Exercice 6 : Compteur synchrone MODULO 4 avec bascules D

1. Qu'est-ce qu'un compteur synchrone ?

2.

C'est un compteur dans lequel toutes les bascules sont connectées au même signal d'horloge. Elles changent toutes d'états aux mêmes moments.

3. Modulo 4 : combien d'états possibles ?

4.

Modulo N veut dire que le système peut être dans N états.

Si on ne précise pas une séquence particulière de comptage, cela suppose que le compteur démarre à 0 et compte de 1 en 1.

Par conséquent, ici, puisqu'il aura 4 états, le compteur comptera selon la séquence : 0, 1, 2, 3.

Par ailleurs, un compteur modulo décrit un cycle de comptage, c'est-à-dire que lorsqu'il arrive à l'état final de sa séquence, il retourne à l'état initial.

5. Combien de bascules nécessaires ?

6.

Un compteur MODULO 2n nécessite n bascules MODULO 4 : 2 bascules MODULO 8 : 3 bascules

7. Rappeler la table de vérité d'une bascule D. Quelle est la relation entre Q_{t+1} et D, l'entrée de la bascule ?

Table de vérité d'une bascule D :

D	H	Q_{t+1}	
0	↑	0	Etat 0: la bascule stocke un 0
1	↑	1	Etat 1 : la bascule stocke un 1

On en déduit l'équation caractéristique d'une bascule D :

$$Q_{t+1} = D$$

8. Réaliser le compteur avec des bascules D.

Etat courant	Q_1	Q_0	$Q_{1+}=Q_{1+}$	$Q_0=Q_{0+}$	Etat suivant
0	0	0	0	1	1
1	0	1	1	0	2
2	1	0	1	1	3
3	1	1	0	0	0

On en déduit l'équation de Q_{1+} et Q_{0+} pour ce compteur :

$$Q_{1+} = \overline{Q_1}Q_0 + Q_1\overline{Q_0}$$

$$Q_{0+} = \overline{Q_1}Q_0 + Q_1Q_0 = Q_0$$

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

$$D_0 = \overline{Q_1}Q_0 + Q_1Q_0 = Q_0$$

★ ★ Seq4.Exercice 7 : Compteur synchrone MODULO 10 avec bascules D

1. Modulo 10 : 10 états donc 4 bascules nécessaires
2. 6 états hors cycle car avec 4 bascules on peut compter jusqu'à 15 en binaire.
3. Table des états du compteur :

Etat courant	Q ₃₊	Q ₂₊	Q ₁₊	Q ₀₊	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Etat suivant
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
2	0	0	1	0	0	0	1	1	3
3	0	0	1	1	0	1	0	0	4
4	0	1	0	0	0	1	0	1	5
5	0	1	0	1	0	1	1	0	6
6	0	1	1	0	0	1	1	1	7
7	0	1	1	1	1	0	0	0	8
8	1	0	0	0	1	0	0	1	9
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10 Etat hors cyle	1	0	1	0	X	X	X	X	indéterminé

Tableaux de Karnaugh des Q₊ (en fonction de Q₃, Q₂, Q₁, Q₀) :

Q₃₊ :

On trouve grâce au tableau de Karnaugh :

$$Q_{3+} = Q_2 Q_1 Q_0 + Q_3 \overline{Q_0}$$

Q₂₊ :

On trouve grâce au tableau de Karnaugh :

$$\begin{aligned} Q_{2+} &= \overline{Q_1} Q_2 + \overline{Q_0} Q_2 + \overline{Q_2} Q_1 Q_0 \\ &= (\overline{Q_1} + \overline{Q_0}) Q_2 + Q_1 Q_0 \overline{Q_2} \\ &= Q_2 \oplus (Q_1 Q_0) \end{aligned}$$

Q₁₊ :

On trouve grâce au tableau de Karnaugh :

$$Q_{1+} = Q_1 \overline{Q_0} + \overline{Q_3} \overline{Q_1} Q_0$$

Q₀₊ :

$$Q_{0+} = \overline{Q_0}$$

4. Equation caractéristique de la bascule D :

$$Q_+ = D$$

5. On peut en déduire les entrées Di pour réaliser le compteur avec des bascules D :

$$D_3 = \overline{Q_3} Q_2 Q_1 Q_0 + Q_3 \overline{Q_0}$$

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

$$D_1 = Q_1 \overline{Q_0} + \overline{Q_3} \overline{Q_1} Q_0$$

$$D_0 = \overline{Q_0}$$

6. Etude des états hors cycle :

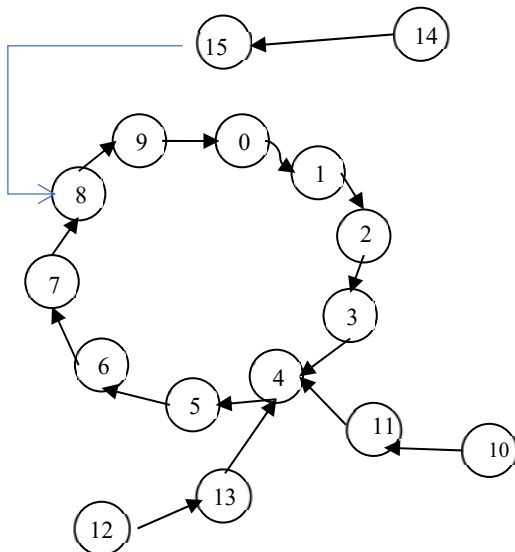
Il y a 6 états hors cycle

On calcule les Q_{i+} à partir des équations obtenues précédemment et on vérifie que pour chaque

état hors cycle, on rejoint le cycle (ici après 2 front d'horloge).

Etat courant	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃₊	Q ₂₊	Q ₁₊	Q ₀₊	Etat suivant calculé
10	1	0	1	0	1	0	1	1	11
11	1	0	1	1	0	1	0	0	4
12	1	1	0	0	1	1	0	1	13
13	1	1	0	1	0	1	0	0	4
14	1	1	1	0	1	1	1	1	15
15	1	1	1	1	1	0	0	0	8

D'où le graphe des états :



On vérifie qu'après un ou deux cycles, le compteur rejoint le cycle de comptage.



Seq4.Exercice 8 : Compteur synchrone MODULO 4 avec bascules JK

1. Qu'est-ce qu'un compteur synchrone ?
2. Modulo 4 : combien d'états possible ?
3. Combien de bascules nécessaires ?
4. Rappeler la table de vérité d'une bascule JK.
5. Rappeler la relation entre Q_{t+1} (état de la sortie à l'instant $t+1$, encore noté Q^+) et Q_t (instant t , encore noté Q), en fonction des entrées de la bascule (J et K).
6. Réaliser le compteur avec des bascules JK.

1. Compteur synchrone : toutes les bascules changent d'états en même temps. Elles sont synchronisées sur le même signal d'horloge H
2. MODULO 4 : 4 états
3. Un compteur MODULO 2^n nécessite n bascules
MODULO 4 : 2 bascules
MODULO 8 : 3 bascules
4. Table de vérité d'une bascule JK : Q_{n+1} est l'état de la sortie de la bascule juste après le front actif du signal d'horloge H.

J	K	Q_{t+1}	
0	0	Q_t	Conservation de l'état antérieur
1	0	1	Etat 1 : la bascule stocke un 1
0	1	0	Etat 0 : la bascule stocke un 0
1	1	$\neg Q_t$	Changement d'état

Tableau de Karnaugh de Q_{t+1} :

JK	00	01	11	10
Q_t				
0	0	0	1	1
1	1	0	0	1

On en déduit l'équation caractéristique d'une bascule JK :

$$Q_{t+1} = J \overline{Q_t} + \overline{K} Q_t$$

- Réalisation du compteur avec des bascules JK :
Table des états du compteur :

Etat courant	Q_{1t}	Q_{0t}	$Q_{1t+1}=Q_{1+}$	$Q_{0t+1}=Q_{0+}$	Etat suivant
0	0	0	0	1	1
1	0	1	1	0	2
2	1	0	1	1	3
3	1	1	0	0	0

On en déduit l'équation de Q_{1+} et Q_{0+} pour ce compteur :

$$Q_{1+} = \overline{Q_1} Q_0 + Q_1 \overline{Q_0}$$

$$Q_{0+} = \overline{Q_1} \overline{Q_0} + Q_1 \overline{Q_0} = \overline{Q_0}$$

On identifie chacune de ces équations avec l'équation générale caractéristique d'une bascule JK :

$$\begin{cases} Q_{1+} = \overline{Q_1} Q_0 + Q_1 \overline{Q_0} \\ Q_{1+} = J_1 \overline{Q_1} + \overline{K_1} Q_1 \end{cases} \quad \begin{cases} Q_{0+} = \overline{Q_0} \\ Q_{0+} = J_0 \overline{Q_0} + \overline{K_0} Q_0 \end{cases}$$

Et on en déduit J_1, K_1 et J_0, K_0 :

$$J_1 = Q_0 \quad K_1 = Q_0$$

$$J_0 = 1 \quad K_0 = 1$$

D'où le schéma du compteur.

★ ★ Seq4.Exercice 9 : Compteur synchrone MODULO 10 avec bascules JK

On désire réaliser un compteur synchrone modulo 10.

1. Combien de bascules sont nécessaires ?
2. Combien y a-t-il d'états hors cycle ?
3. Construire la table des états. En déduire pour chacune des bascules i l'expression de Q_i^+ .
4. Donner la relation entre Q^+ , J, K, Q et \overline{Q} , caractéristique de la bascule JK.
5. Réaliser alors ce compteur avec des bascules JK

$$Q_3^+ = Q_2 Q_1 Q_0 + Q_3 \overline{Q_0}$$

$$Q_3^+ = J_3 \cdot \overline{Q_3} + \overline{K_3} \cdot Q_3 \quad \text{d'où } J_3 = Q_2 Q_1 Q_0 \text{ et } K_3 = \overline{Q_0} + Q_2 Q_1 Q_0$$

$$Q_2^+ = (\overline{Q_1} + \overline{Q_0}) Q_2 + Q_1 Q_0 \overline{Q_2}$$

$$Q_2^+ = J_2 \cdot \overline{Q_2} + \overline{K_2} \cdot Q_2 \quad \text{d'où } J_2 = Q_1 Q_0 \text{ et } K_2 = Q_1 Q_0$$

$$Q_1^+ = Q_1 \overline{Q_0} + \overline{Q_3} Q_1 Q_0$$

$$Q_1^+ = J_1 \cdot \overline{Q_1} + \overline{K_1} \cdot Q_1 \quad \text{d'où } J_1 = \overline{Q_3} Q_0 \text{ et } K_1 = Q_0$$

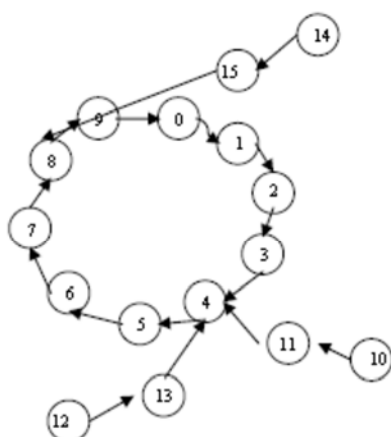
$$Q_0^+ = \overline{Q_0}$$

$$\text{d'où } \begin{matrix} J_0 = 1 \\ K_0 = 1 \end{matrix}$$

6. Etude des états hors cycle : supposons qu'à l'initialisation le compteur soit dans un des états hors du cycle de comptage désiré

- Combien y a-t-il d'états hors cycle
- Remplissez le tableau suivant, en vous aidant des expressions des fonctions Q_i^+ obtenues à la question 3. Montrez ainsi qu'après un ou deux cycles d'horloge, le compteur rejoint un état du cycle de comptage.

Etat courant	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3^+	Q_2^+	Q_1^+	Q_0^+	Etat suivant
10	1	0	1	0	1	0	1	1	11
11	1	0	1	1	0	1	0	0	4
12	1	1	0	0	1	1	0	1	13
13	1	1	0	1	0	1	0	0	4
14	1	1	1	0	1	1	1	1	15
15	1	1	1	1	1	0	0	0	8



On vérifie qu'après un ou deux cycles, le compteur rejoint le cycle de comptage.

★ Seq4.Exercice 10 : Compteur asynchrone

1. Quel est la principale différence entre un compteur synchrone et un compteur asynchrone ?

Les bascules d'un compteur asynchrone ne sont pas toutes connectées au même signal d'horloge.

2. Que doit-on mettre sur les entrées JK des bascules du compteur ? Comment est appelé ce mode ?

J=K=1 – Mode basculement

3. Quel est le principal avantage des compteurs asynchrone par rapport aux compteurs synchrones ?

Plus simples à câbler, pas de portes logiques à ajouter dans le schéma de câblage.

4. Quel est le principal inconvénient ? Citer un exemple de passage d'un nombre binaire à un autre ou cela pourrait poser problème (exemple vu en cours) ?

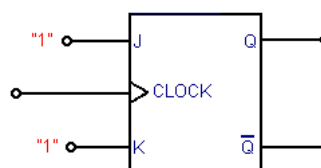
Du fait que l'horloge d'une bascule est constituée de la sortie de la bascule précédente, les temps de propagation entre entrée/sortie se cumulent. Exemple du passage de Q2Q1Q0=011 à Q2Q1Q0=100. Si le compteur est utilisé à une fréquence d'utilisation trop élevé par rapport à sa fréquence max autorisée, Q0 aura rechangé (repassé à 0) avant que Q2 ne passe à 1, et l'état 100 ne sera jamais atteint, ou pas au bon moment (juste après 011).

★ Seq4.Exercice 11 : Diviseur de fréquence

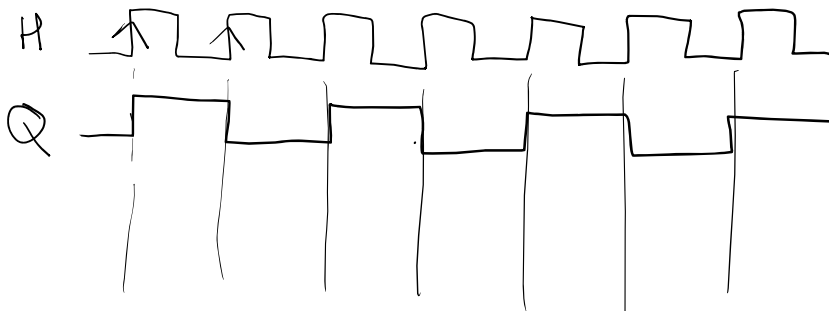
Une des applications des bascules est la division de la fréquence d'une forme d'onde périodique.

Sur la figure Figure Exo11.1, une forme d'onde carrée est appliquée à l'entrée HORLOGE de la bascule JK, placée en mode « basculement ».

Figure Exo11.1



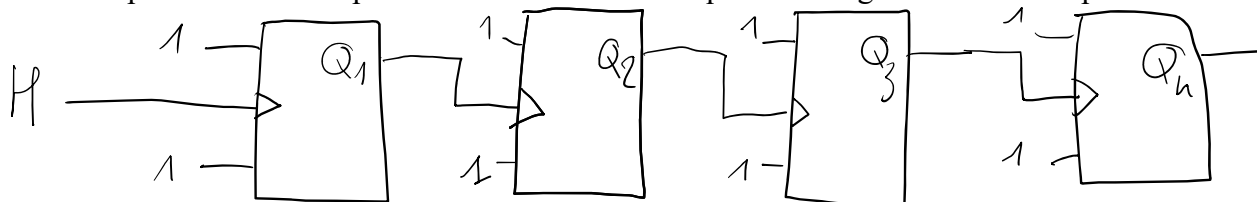
1. Tracez la forme d'onde de la sortie Q de la bascule.



2. Quelle est la fréquence de cette onde par rapport à la fréquence du signal HOROLOGE ?

Fréquence 2 fois plus faible (diviseur de fréquence par 2).

3. Proposez un schéma permettant de diviser la fréquence du signal HORLOGE par 16.

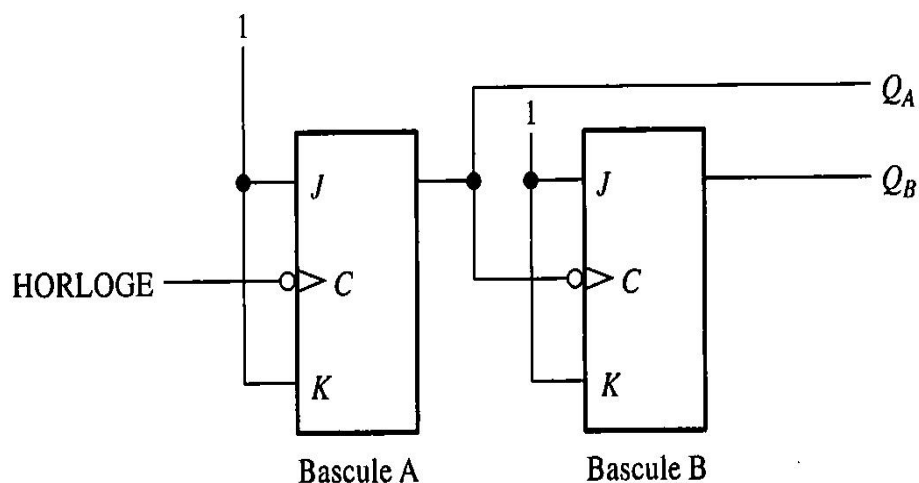


Fréquence sur Q4 divisée par 16 par rapport à fréquence sur H.

★ Seq4.Exercice 12 : Compteur asynchrone 2 bits

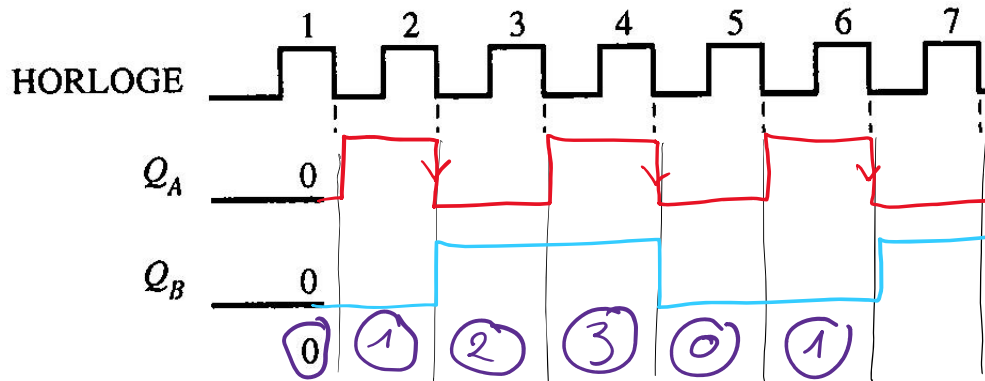
Un compteur est réalisé avec deux bascules JK à déclenchement sur front négatif (Figure Exo 12.1), initialement à l'état 0. La bascule A est déclenchée lors du front négatif de chaque impulsion du signal d'horloge. La sortie Q de la bascule A déclenche la bascule B à chaque fois que QA fait une transition de niveau HAUT à niveau BAS.

Figure Exo12.1

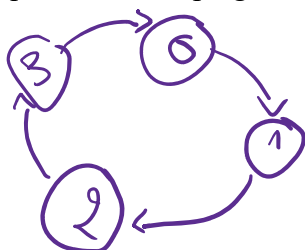


1. Tracez les formes d'onde de QA et QB, en complétant le chronogramme de la figure Exo11.2.

Figure Exo12.2

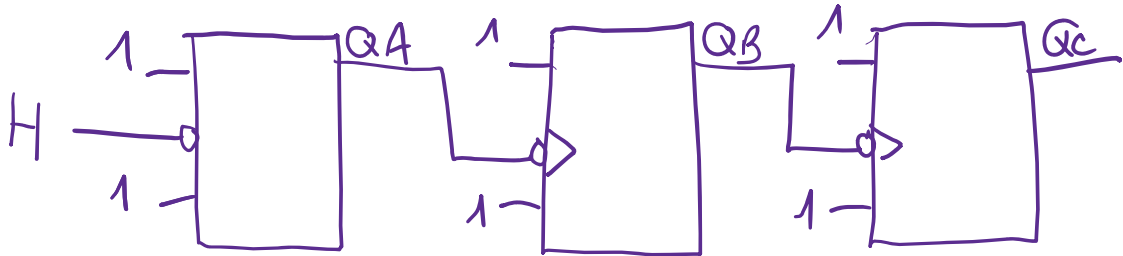


2. En déduire quelle est la séquence de comptage décrite par ce compteur.



★ Seq4.Exercice 13 : Compteur asynchrone 3 bits

1. En vous inspirant de l'exercice Seq4.Exercice 12, proposez un schéma de compteur asynchrone 3 bits de sortie (QA, QB, QC).



2. Tracez le chronogramme de ce nouveau compteur en dessinant les formes de d'ondes du signal d'horloge HORLOGE, ainsi que des trois sorties binaires QA, QB, QC en supposant qu'elles sont initialement à 0.