

T.D. 3 – Corrigé

Logique séquentielle

Exercice 1

Après avoir rappelé les tables de vérité des bascules D et JK synchronisées sur front montant, donnez le chronogramme des sorties **Q** de chacune des bascules câblées ci-dessous en fonction d'une entrée d'horloge **H**.

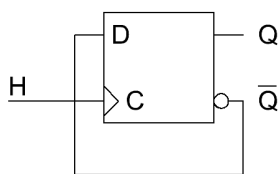


Figure 1

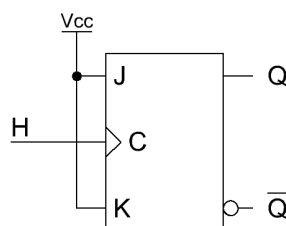


Figure 2

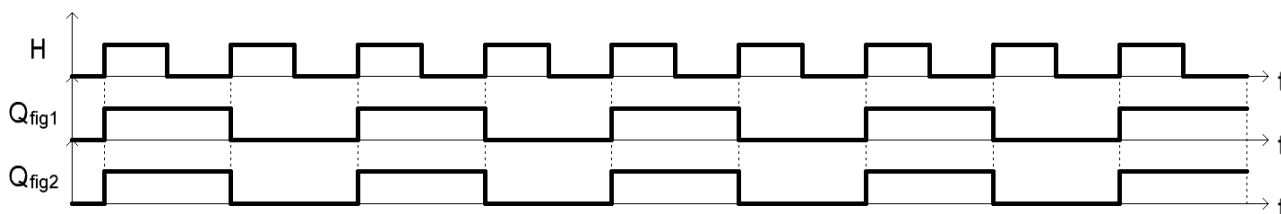
Bascule D

H	D	Q	\bar{Q}
↑	0	0	1
↑	1	1	0

Bascule JK

H	J	K	Q	\bar{Q}
↑	0	0	q	\bar{q}
↑	0	1	0	1
↑	1	0	1	0
↑	1	1	\bar{q}	q

q = valeur de **Q** juste avant le front montant de l'entrée d'horloge.

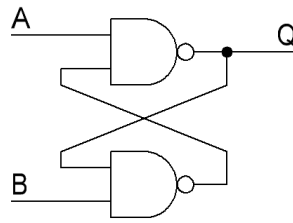


Ces deux montages se comportent exactement de la même façon. Il divise la fréquence de leur signal d'horloge par deux : ce sont des diviseurs de fréquence par deux.

Ils constituent les éléments de base des compteurs et des décompteurs asynchrones.

Exercice 2

Soit le montage ci-dessous :



1. Donnez sa table de vérité.

	A	B	Q
①	0	0	1
②	0	1	1
③	1	0	0
④	1	1	q

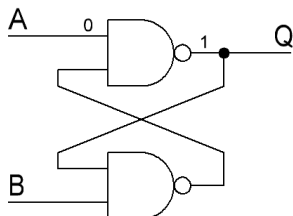
← **q** = valeur de **Q** juste avant que le passage à 1 des entrées **A** et **B**.

Les trois premières lignes s'obtiennent sans difficulté à partir de la table de vérité d'une porte NON-ET. Cette dernière est rappelée ci-dessous :

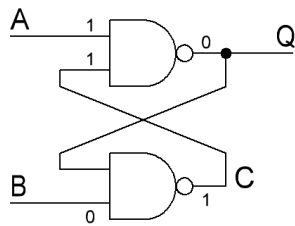
X	Y	$\overline{X \cdot Y}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

On peut remarquer que si l'entrée d'une porte NON-ET est à 0, alors sa sortie est à 1 quelle que soit la valeur présente sur son autre entrée.

Explication pour les lignes ① et ② ($A = 0$) :

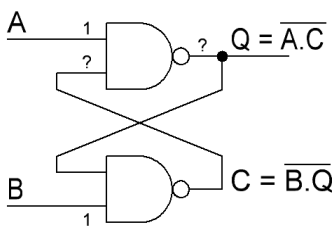


Lorsque l'entrée **A** du montage vaut 0, alors sa sortie **Q** vaut 1. Il n'est pas utile de connaître la valeur présente sur l'autre entrée de la porte NON-ET.

Explication pour la ligne ③ ($A = 1, B = 0$) :

On note C la sortie de la seconde porte NON-ET.

Lorsque l'entrée B du montage vaut 0, alors la sortie C vaut 1. Il n'est pas utile de connaître la valeur présente sur l'autre entrée de la porte NON-ET. On a donc $Q = \overline{1.1} = 0$.

Explication pour la ligne ④ ($A = 1, B = 1$) :

Ce dernier cas comporte une légère difficulté. En effet, pour trouver Q , il faut connaître C , et pour connaître C il faut connaître Q . Autrement dit, pour trouver Q , il faut déjà connaître Q .

Toutefois, il serait plus précis de formuler les choses ainsi : pour trouver la nouvelle valeur de Q , il faut connaître la valeur précédente de Q .

Nous allons donc appeler q la valeur précédente de Q ; c'est-à-dire la valeur de Q juste avant le passage à 1 des entrées A et B .

Il nous reste maintenant à déterminer la valeur de Q en fonction de la valeur de q . Deux cas se présentent : soit $q = 0$, soit $q = 1$.

- Si $q = 0$, alors $C = \overline{B.q} = \overline{1.0} = 1$ et $Q = \overline{A.C} = \overline{1.1} = 0$;
- Si $q = 1$, alors $C = \overline{B.q} = \overline{1.1} = 0$ et $Q = \overline{A.C} = \overline{1.0} = 1$.

On remarque que, quelle que soit la valeur de q , on obtient $Q = q$. On peut donc en conclure que lorsque les entrées A et B sont à 1, la sortie Q ne change pas. Il s'agit d'un état mémoire.

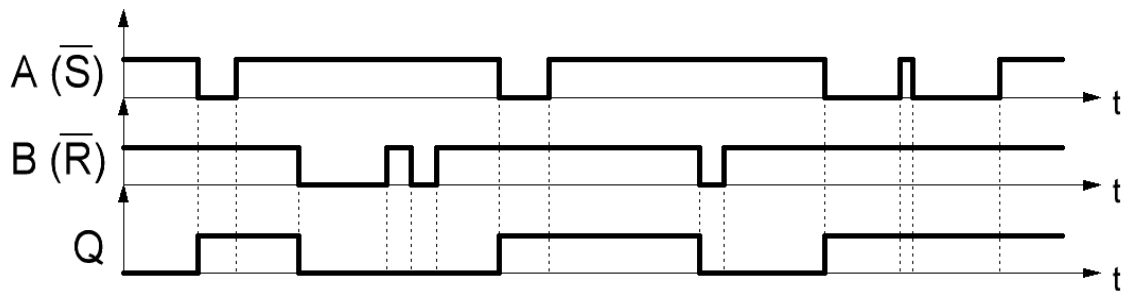
2. Quel circuit logique reconnaissez-vous ?

On reconnaît la table de vérité d'une **bascule $\overline{R}\overline{S}$** avec : $A = \overline{S}$ et $B = \overline{R}$.

Remarque :

Dire qu'un état est interdit ne veut pas dire que celui-ci est indéterminé. L'état qui est normalement interdit sur une bascule $\overline{R}\overline{S}$ ($\overline{R} = \overline{S} = 0$) est ici déterminé et vaut 1. Le *set* est donc prioritaire. Toutefois, même si cet état est connu, il est préférable de ne jamais l'utiliser afin de garder une certaine cohérence : il n'est pas cohérent de demander un *set* et un *reset* en même temps. (Il existe une autre raison d'interdire cet état, mais nous ne l'aborderons pas ici.)

3. Remplissez le chronogramme suivant :



Exercice 3

1. À partir du montage de la [figure 1](#), remplissez le chronogramme ci-dessous :

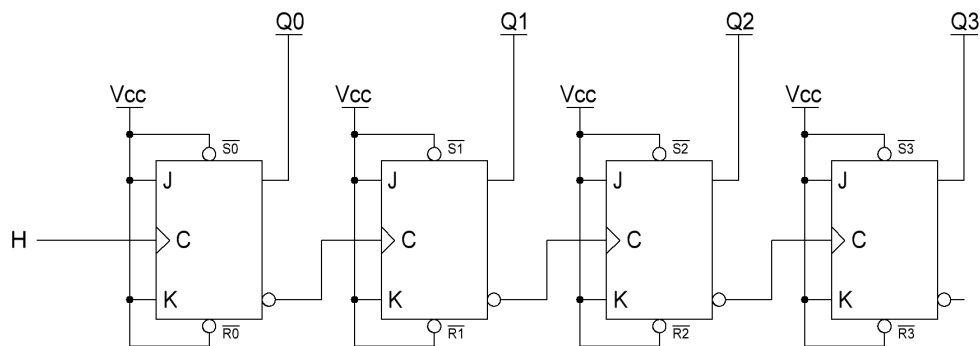
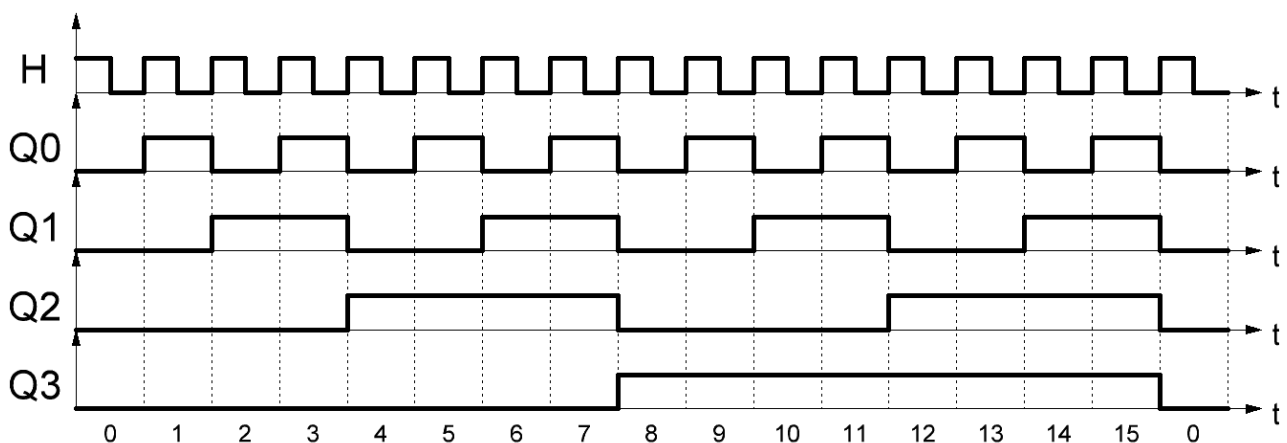


Figure 1

Les bascules JK sont synchronisées sur **front montant** et câblées en **basculement permanent** (**J** et **K** sont toujours à 1) :

- La sortie **Q0** bascule sur chaque front montant de **H** ;
- La sortie **Q1** bascule sur chaque front montant de **Q0** (donc chaque **front descendant** de **Q0**) ;
- La sortie **Q2** bascule sur chaque front montant de **Q1** (donc chaque **front descendant** de **Q1**) ;
- La sortie **Q3** bascule sur chaque front montant de **Q2** (donc chaque **front descendant** de **Q2**).



2. Que réalise le montage de la [figure 1](#) ?

À chaque front d'horloge, la valeur présente sur les sorties est incrémentée de un. Ce montage est un **compteur asynchrone modulo 16**. Il compte de 0 à 15.

3. On modifie légèrement le montage de la [figure 1](#) afin d'obtenir le montage de la [figure 2](#). En expliquant votre raisonnement, que réalise le montage de la [figure 2](#) ?

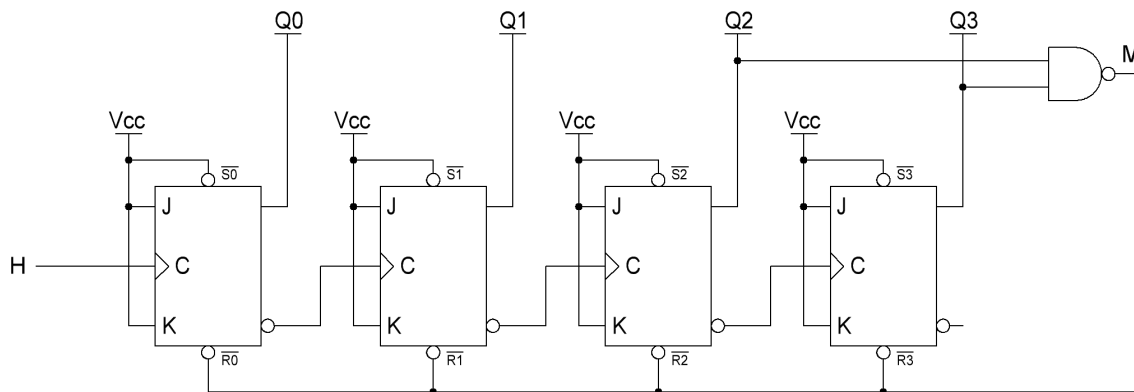


Figure 2

La porte NON-ET sert à détecter la valeur 12 et à la remplacer par la valeur 0.

Soit **M**, la sortie de la porte NON-ET. Pour rappel, la sortie d'une porte NON-ET est à 0 uniquement lorsque ses deux entrées sont à 1. **M** passera donc à 0 lorsque **Q2** et **Q3** seront à 1 en même temps.

Le passage de **M** à 0 aura pour effet de provoquer un *reset* sur le compteur et donc de le faire repartir à 0.

Les sorties **Q2** et **Q3** passent à 1 pour la première fois sur la valeur 12. Le *reset* s'effectue donc au moment où le compteur atteint la valeur 12. Cette valeur ne reste pas et est immédiatement remplacée par la valeur 0. **M** repasse alors à 1 et le compteur se remet à compter.

Q	Q3	Q2	Q1	Q0	M
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1

← **Q2** et **Q3** sont à 1 : activation du *reset*.

← La valeur 12 est immédiatement remplacée par la valeur 0.

Le temps d'apparition de la valeur 12 se détermine en fonction du temps de réaction de la porte NON-ET et des bascules JK. En pratique, ce temps est très faible (de l'ordre de la nanoseconde).

La valeur 12 est détectée et remplacée par la valeur 0. Ce montage est un **compteur asynchrone modulo 12**. Il compte de 0 à 11.

4. À partir du montage de la [figure 3](#), remplissez le chronogramme ci-dessous :

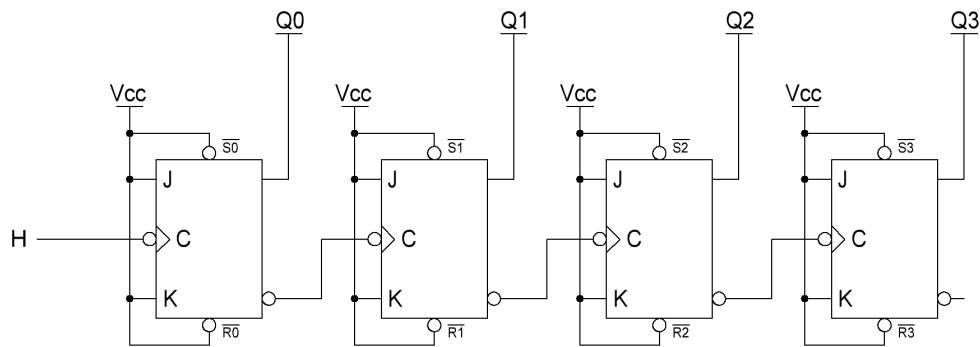
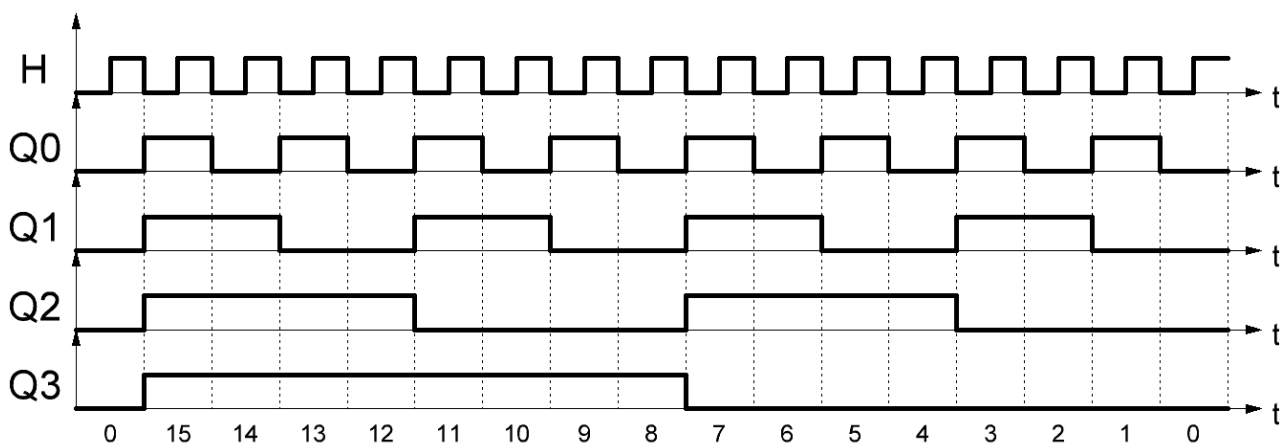


Figure 3

Les bascules JK sont synchronisées sur **front descendant** et câblées en **basculement permanent** (**J** et **K** sont toujours à 1) :

- La sortie **Q0** bascule sur chaque front descendant de **H** ;
- La sortie **Q1** bascule sur chaque front descendant de **Q0** (donc chaque **front montant** de **Q0**) ;
- La sortie **Q2** bascule sur chaque front descendant de **Q1** (donc chaque **front montant** de **Q1**) ;
- La sortie **Q3** bascule sur chaque front descendant de **Q2** (donc chaque **front montant** de **Q2**).



5. Que réalise le montage de la [figure 3](#) ?

À chaque front d'horloge, la valeur présente sur les sorties est décrémentée de un. Ce montage est un **décompteur asynchrone modulo 16**. Il décompte de 15 à 0.

6. On modifie légèrement le montage de la [figure 3](#) afin d'obtenir le montage de la [figure 4](#). En expliquant votre raisonnement, que réalise le montage de la [figure 4](#) ?

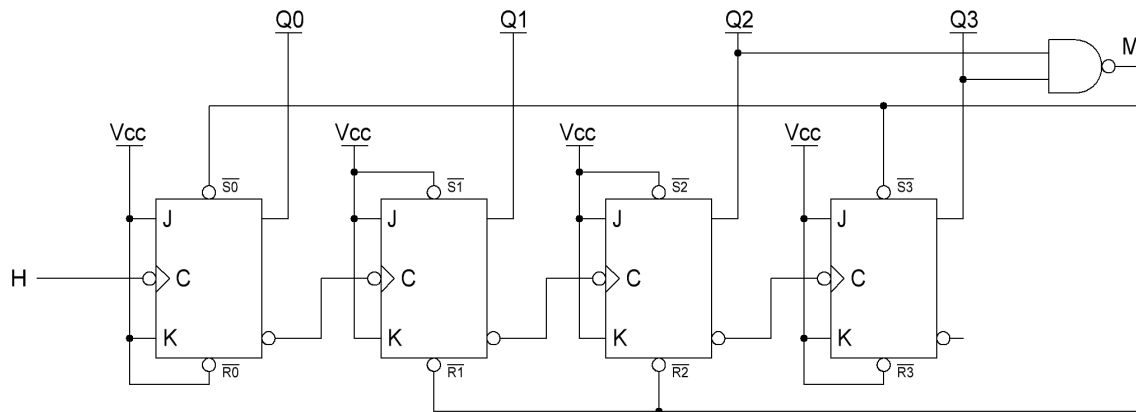


Figure 4

La porte NON-ET sert à détecter la valeur 15 et à la remplacer par la valeur 9.

Soit **M**, la sortie de la porte NON-ET. Pour rappel, la sortie d'une porte NON-ET est à 0 uniquement lorsque ses deux entrées sont à 1. **M** passera donc à 0 lorsque **Q2** et **Q3** seront à 1 en même temps.

Le passage de **M** à 0 aura pour effet de provoquer un *reset* sur **Q1** et **Q2** et un *set* sur **Q0** et **Q3**. La nouvelle valeur présente sur la sortie du décompteur sera donc la valeur 9 ($9_{10} = 1001_2$).

Les sorties **Q2** et **Q3** passent à 1 pour la première fois sur la valeur 15. Le forçage de la valeur 9 s'effectue donc au moment où le décompteur atteint la valeur 15. Cette dernière ne reste pas et est immédiatement remplacée par la valeur 9. **M** repasse alors à 1 et le décompteur se remet à décompter.

Q	Q3	Q2	Q1	Q0	M
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	0	0	1	1	1
2	0	0	1	0	1
1	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1
15	1	1	1	1	0
9	1	0	0	1	1
8	1	0	0	0	1
7	0	1	1	1	1

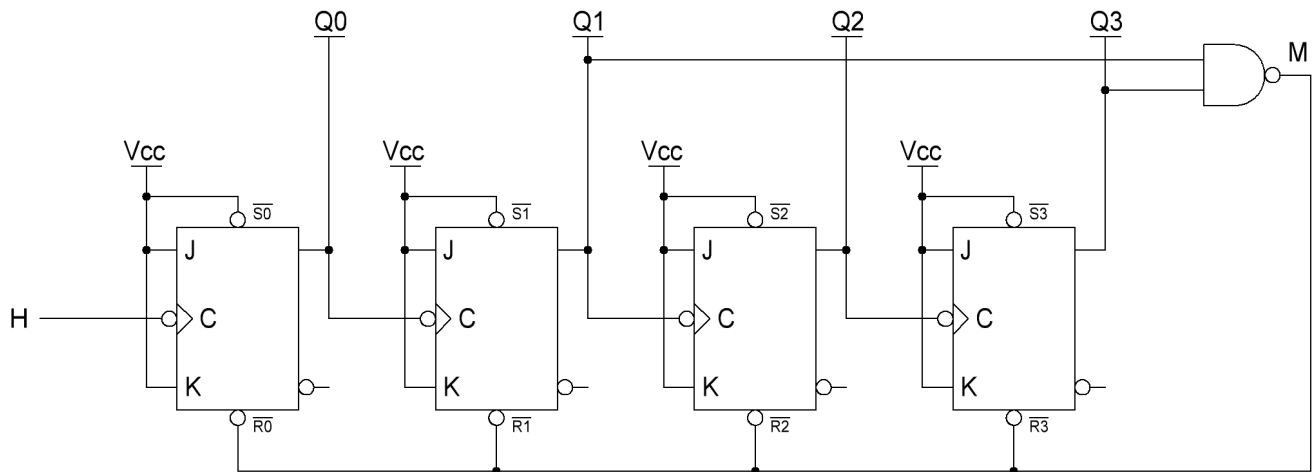
← **Q2** et **Q3** sont à 1 : déclenche le forçage de la valeur 9.

← La valeur 15 est immédiatement remplacée par la valeur 9.

Le temps d'apparition de la valeur 15 se détermine en fonction du temps de réaction de la porte NON-ET et des bascules JK. En pratique, ce temps est très faible (de l'ordre de la nanoseconde).

La valeur 15 est détectée et remplacée par la valeur 9. Ce montage est un **décompteur asynchrone modulo 10**. Il décompte de 9 à 0.

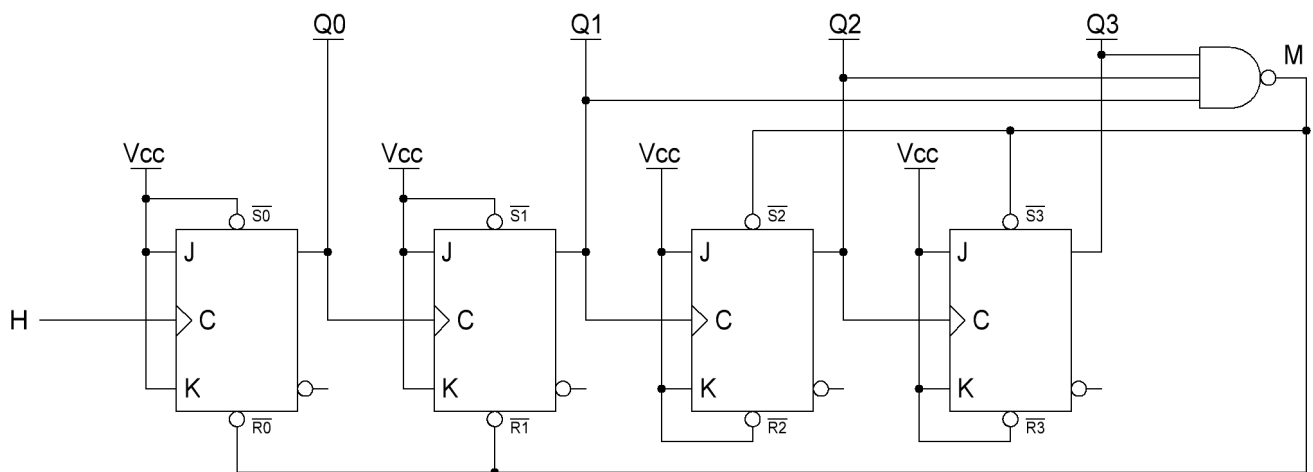
7. Câblez les bascules ci-dessous afin d'obtenir un compteur asynchrone modulo 10.



Un compteur modulo 10 compte de 0 à 9.

- Pour mettre en place le compteur, les bascules sont câblées en basculement permanent (**J** et **K** toujours à 1) et les sorties non complémentées sont reliées aux entrées d'horloge des bascules suivantes. Ceci permet d'effectuer le basculement d'une sortie sur le front descendant de la sortie précédente.
- Pour mettre en place le modulo 10, il faut **détecter la valeur 10 et la remplacer par la valeur 0**.
- La détection de la valeur 10 peut se faire à l'aide du passage à 1 des sorties **Q1** et **Q3** (entre 0 et 9, ces deux sorties ne sont jamais à 1 en même temps). La sortie **M** de la porte NON-ET passera donc à 0 lorsque le compteur atteindra la valeur 10.
- Le remplacement de la valeur 10 par la valeur 0 se fera en effectuant un *reset* sur toutes les bascules au moment où **M** passera à 0, c'est-à-dire au moment où le compteur atteindra la valeur 10.

8. Câblez les bascules ci-dessous afin d'obtenir un décompteur asynchrone modulo 13.

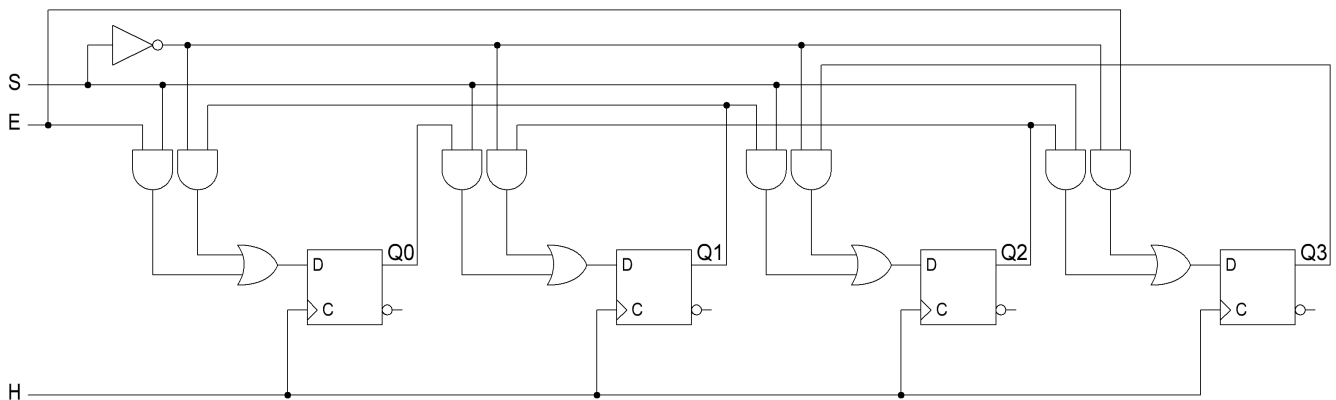


Un décompteur modulo 13 décompte de 12 à 0.

- Pour mettre en place le décompteur, les bascules sont câblées en basculement permanent (**J** et **K** toujours à 1) et les sorties non complémentées sont reliées aux entrées d'horloge des bascules suivantes. Ceci permet d'effectuer le basculement d'une sortie sur le front montant de la sortie précédente.
- Pour mettre en place le modulo 13, il faut **détecter la valeur 15 et la remplacer par la valeur 12**.
- La détection de la valeur 15 peut se faire à l'aide du passage à 1 des sorties **Q1**, **Q2** et **Q3** (entre 0 et 12, ces trois sorties ne sont jamais à 1 en même temps). La sortie **M** de la porte NON-ET passera donc à 0 lorsque le décompteur atteindra la valeur 15.
- Le remplacement de la valeur 15 par la valeur 12 ($12_{10} = 1100_2$) se fera en effectuant un *reset* sur **Q0** et **Q1** et un *set* sur **Q2** et **Q3** au moment où **M** passera à 0, c'est-à-dire au moment où le décompteur atteindra la valeur 15.

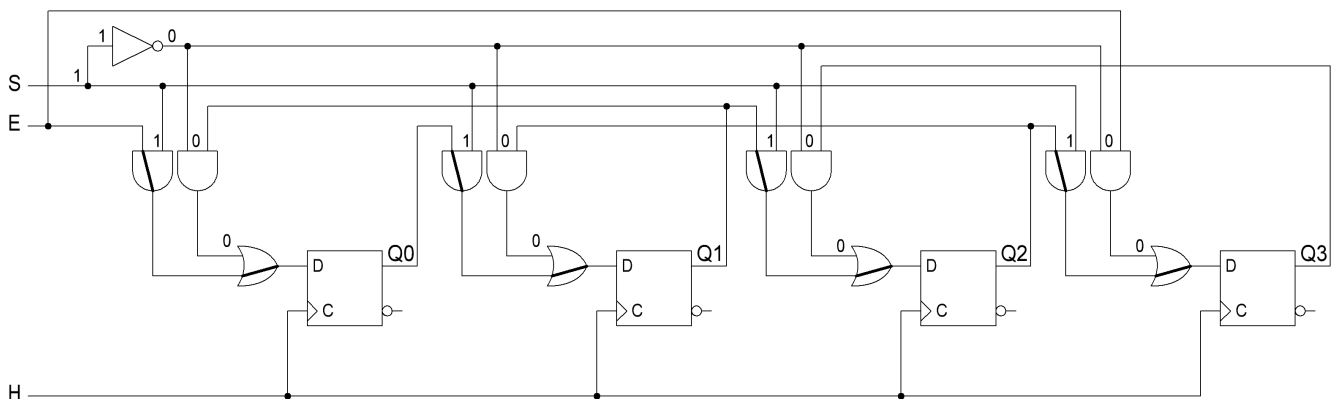
Exercice 4

Soit le montage ci-dessous :



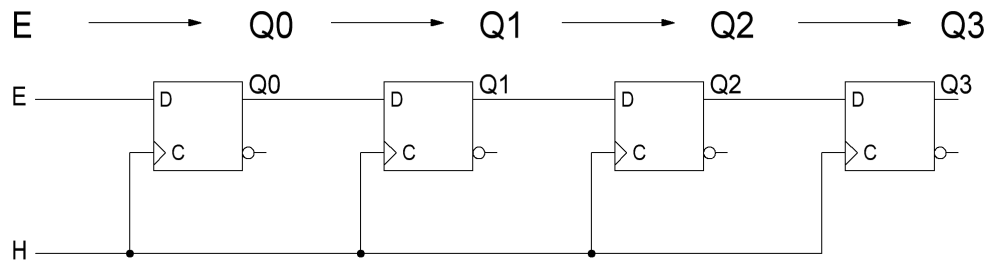
1. En supposant que l'entrée **S** soit toujours à 1, que réalise ce montage ?

Voyons le comportement qu'adopte le montage dans le cas de figure où $S = 1$ et essayons de trouver un montage équivalent simplifié.



On constate que le 1 de l'entrée **S** se propage sur un certain nombre de portes ET. Ces dernières peuvent dès lors être remplacées par un fil. L'inverseur, en haut du montage, propage un 0 sur les autres portes ET. Ce 0 est alors recopié sur les entrées des portes OU. Or, un 0 sur l'entrée d'une porte OU, nous permet de la remplacer par un fil.

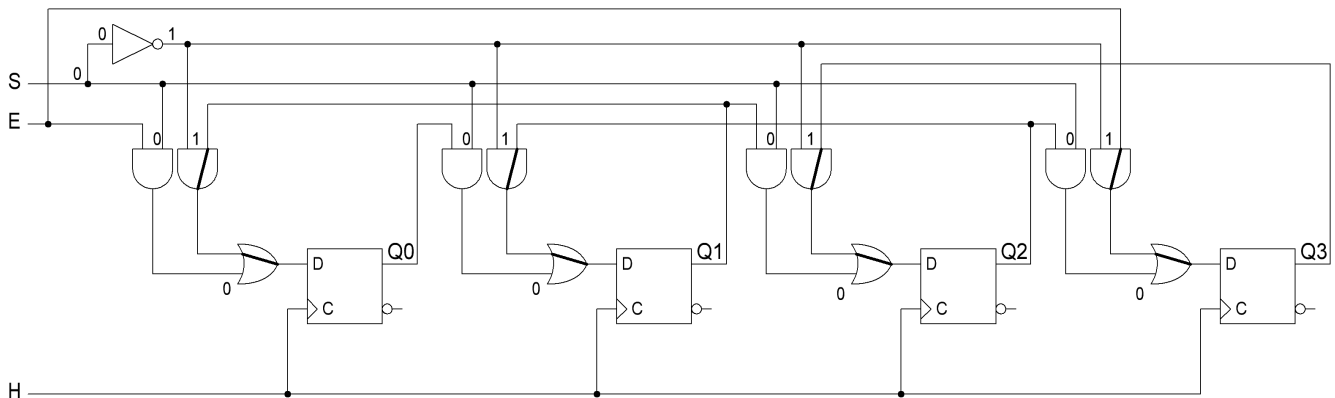
Après simplification, nous obtenons le schéma équivalent suivant :



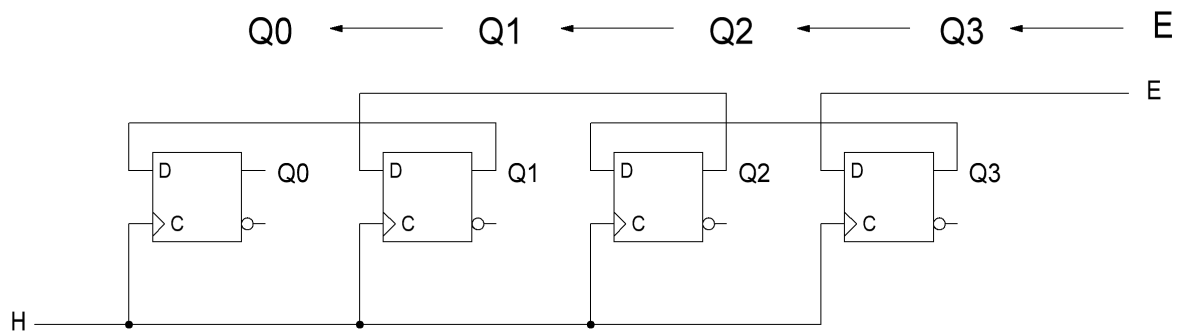
À chaque front montant de l'horloge d'une bascule D, sa sortie **Q** recopie son entrée **D**. Chaque sortie est donc recopiée sur la suivante : **il s'agit d'un registre à décalage sur 4 bits**. **Q0** étant le poids faible, **le décalage s'effectue vers la gauche**. Le nouveau bit entrant dans **Q0** est **E**.

2. En supposant que l'entrée **S** soit toujours à 0, que réalise ce montage ?

En suivant le même raisonnement que précédemment, voyons le comportement qu'adopte le montage dans le cas de figure où **S = 0** et essayons de trouver un montage équivalent simplifié.



Après simplification :

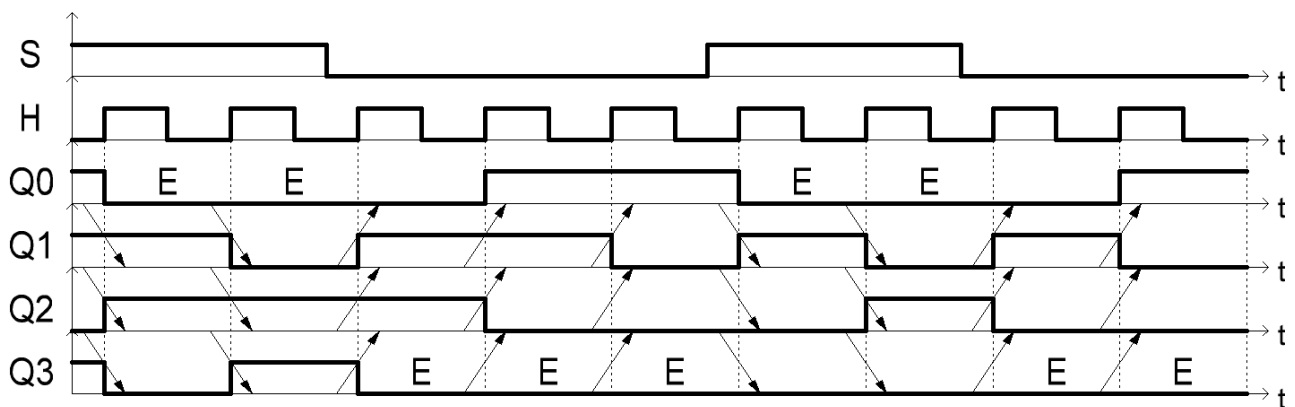


On trouve de nouveau un **registre à décalage sur 4 bits**, mais **qui décale cette fois vers la droite**. Le nouveau bit entrant dans **Q3** est **E**.

3. En supposant que l'entrée **E** soit toujours à 0, remplissez le chronogramme ci-dessous :

Ce montage est un **registre à décalage sur 4 bits**. Il possède une entrée de commande **S**, permettant la sélection du sens de décalage, et une entrée **E**, permettant de choisir la valeur du bit entrant.

Il est facile de remplir le chronogramme sachant qu'il s'agit uniquement de décaler des bits, dans un sens ou dans l'autre.



Exercice 5

1. Remplissez la table des transitions d'une bascule JK.

	Q(t)	Q(t+1)	J	K
①▶	0	0	0	x
②▶	0	1	1	x
③▶	1	0	x	1
④▶	1	1	x	0

	H	J	K	Q	
①▶	↑	0	0	q	◀④
①▶	↑	0	1	0	◀③
②▶	↑	1	0	1	◀④
②▶	↑	1	1	\bar{q}	◀③

La table des transitions d'une bascule JK se remplit à l'aide de sa table de vérité. Il faut déterminer quelles valeurs étaient présentes sur les entrées **J** et **K** au moment de la transition.

Ligne ① : **Q** passe de 0 à 0

- état mémoire (**J** = 0, **K** = 0)
- mise à 0 (**J** = 0, **K** = 1)

Ligne ② : **Q** passe de 0 à 1

- basculement (**J** = 1, **K** = 1)
- mise à 1 (**J** = 1, **K** = 0)

Ligne ③ : **Q** passe de 1 à 0

- basculement (**J** = 1, **K** = 1)
- mise à 0 (**J** = 0, **K** = 1)

Ligne ④ : **Q** passe de 1 à 1

- état mémoire (**J** = 0, **K** = 0)
- mise à 1 (**J** = 1, **K** = 0)

Dans un premier temps, on désire réaliser un compteur synchrone modulo 7 à l'aide de bascules JK synchronisées sur front montant.

2. À l'aide de la table des transitions, remplissez le tableau ci-dessous :

	Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	0	0	0	0	x	0	x	1	x
1	0	0	1	0	x	1	x	x	1
2	0	1	0	0	x	x	0	1	x
3	0	1	1	1	x	x	1	x	1
4	1	0	0	x	0	0	x	1	x
5	1	0	1	x	0	1	x	x	1
6	1	1	0	x	1	x	1	0	x

D'après la table des transitions d'une bascule JK, on a **J0 = 1** et **K0 = x** lors d'une transition de 0 à 1 sur Q0.

3. Donnez les expressions simplifiées des entrées **J0**, **K0**, **J1**, **K1**, **J2** et **K2**.

À partir du tableau précédent, on obtient les expressions suivantes :

- De façon évidente :

- K0 = 1**
- J1 = Q0**
- K2 = Q1**

- À l'aide des tableaux de Karnaugh :

		Q1 Q0			
	J0	00	01	11	10
Q2	0	1	x	x	1
	1	1	x	x	0

J0 = $\overline{Q1} + \overline{Q2}$

		Q1 Q0			
	K1	00	01	11	10
Q2	0	x	x	1	0
	1	x	x	x	1

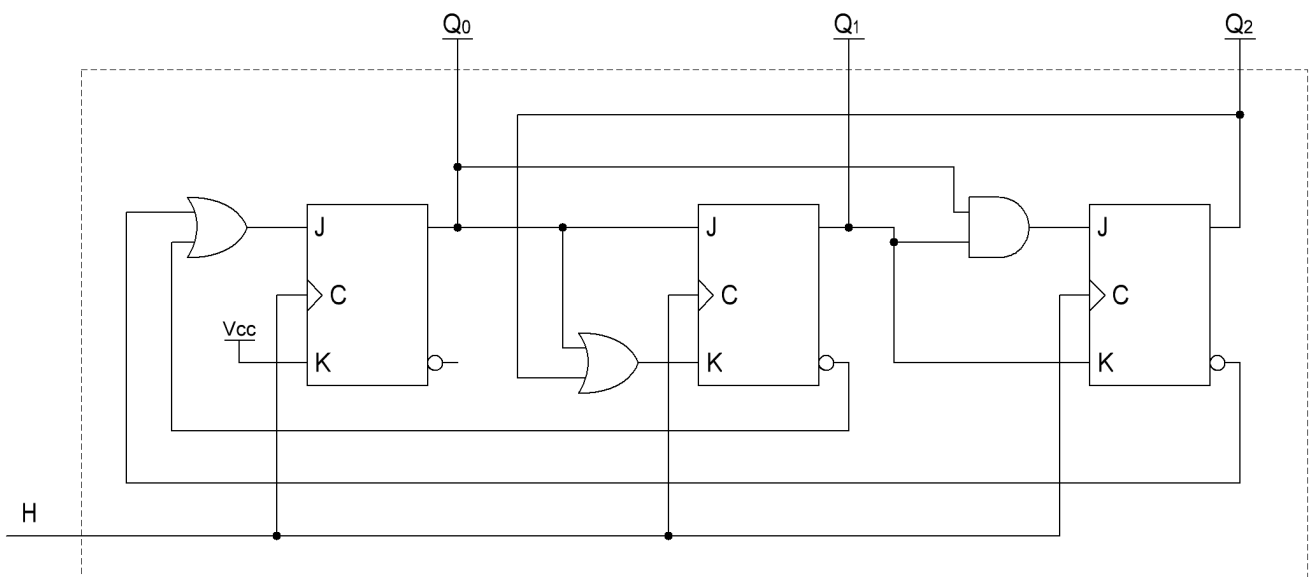
K1 = $Q0 + Q2$

		Q1 Q0			
	J2	00	01	11	10
Q2	0	0	0	1	0
	1	x	x	x	x

J2 = $Q0.Q1$

4. Dessinez le schéma de câblage.

Pas de difficulté particulière, il suffit de se servir des expressions établies précédemment afin d'effectuer les différentes connexions.



On désire maintenant réaliser un compteur synchrone, modulo 8 en code Gray, à l'aide de bascules JK synchronisées sur front descendant.

5. Remplissez le tableau ci-dessous :

Q2	Q1	Q0	J2	K2	J1	K1	J0	K0
0	0	0	0	x	0	x	1	x
0	0	1	0	x	1	x	x	0
0	1	1	0	x	x	0	x	1
0	1	0	1	x	x	0	0	x
1	1	0	x	0	x	0	1	x
1	1	1	x	0	x	1	x	0
1	0	1	x	0	0	x	x	1
1	0	0	x	1	0	x	0	x

6. Donnez les expressions simplifiées des entrées **J0**, **K0**, **J1**, **K1**, **J2** et **K2**.

		Q1 Q0			
Q2	J0	00	01	11	10
	0	1	x	x	0
	1	0	x	x	1

$$J0 = \overline{Q1}.Q2 + Q1.Q2$$

		Q1 Q0			
Q2	K0	00	01	11	10
	0	x	0	1	x
	1	x	1	0	x

$$K0 = \overline{Q1}.Q2 + Q1.Q2$$

		Q1 Q0			
Q2	J1	00	01	11	10
	0	0	1	x	x
	1	0	0	x	x

$$J1 = Q0.\overline{Q2}$$

		Q1 Q0			
Q2	K1	00	01	11	10
	0	x	x	0	0
	1	x	x	1	0

$$K1 = Q0.Q2$$

		Q1 Q0			
Q2	J2	00	01	11	10
	0	0	0	0	1
	1	x	x	x	x

$$J2 = \overline{Q0}.Q1$$

		Q1 Q0			
Q2	K2	00	01	11	10
	0	x	x	x	x
	1	1	0	0	0

$$K2 = \overline{Q0}.Q1$$