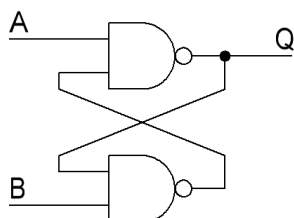


T.D. 3 – Corrigé

Les circuits séquentiels

Exercice 1

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

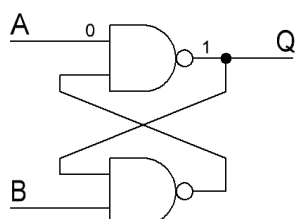
← q = valeur de Q juste avant le passage à 1 des entrées A et B.

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 :

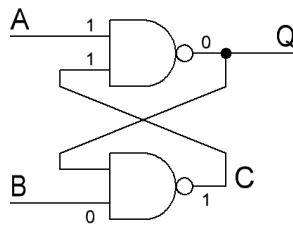
X	Y	$\overline{X \cdot Y}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

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) :

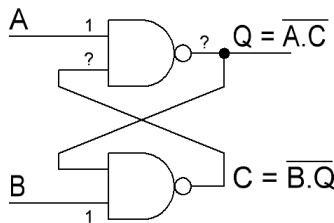


Lorsque l'entrée A du montage vaut 0, alors sa sortie Q vaut 1. Il n'est pas utile de connaître la valeur présente sur l'autre entrée de la porte NON-ET.

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.

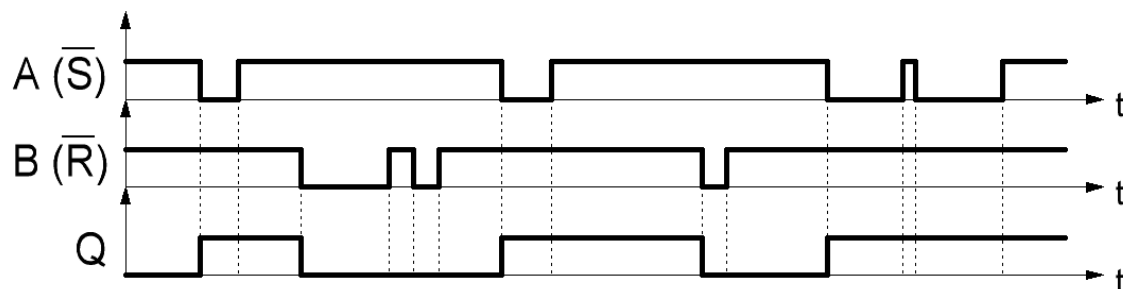
2. Quel circuit logique reconnaissez-vous ?

On reconnaît la table de vérité d'une **bascule RS** 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 RS ($\overline{R} = \overline{S} = 0$) 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 2

Soit les deux bascules JK ci-dessous :

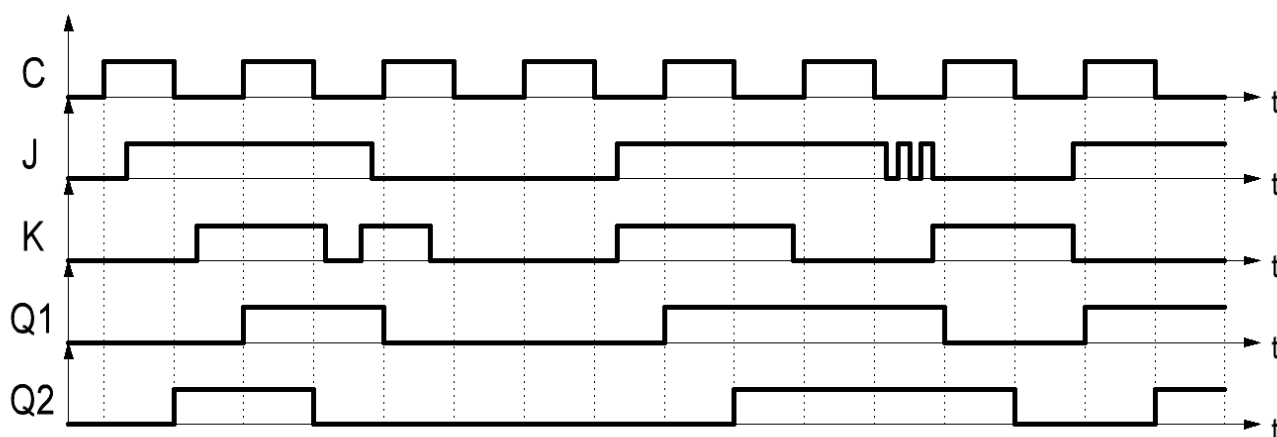


1. Rappelez la table de vérité d'une bascule JK synchronisée sur front montant.

C	J	K	Q	Remarque
↑	0	0	q	État mémoire
↑	0	1	0	Mise à 0
↑	1	0	1	Mise à 1
↑	1	1	\bar{q}	Basculement

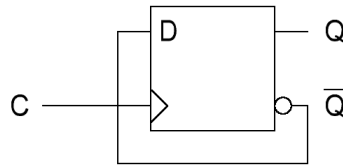
q = valeur de Q juste avant le front montant de l'entrée d'horloge.

2. Remplissez le chronogramme suivant :

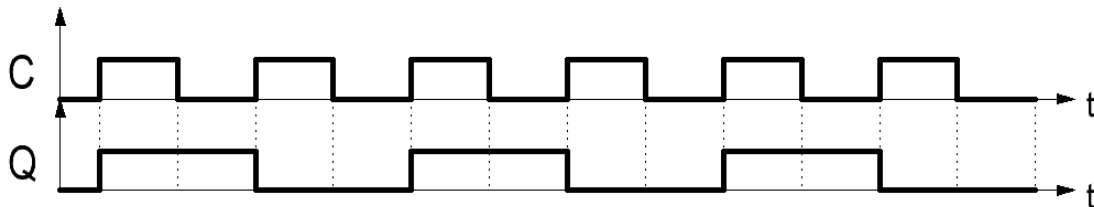


Exercice 3

Soit le montage ci-dessous :



1. Remplissez le chronogramme suivant :

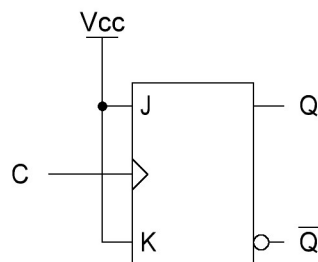


Lorsqu'un front montant se présente sur l'entrée C , la sortie Q recopie l'entrée D . Puisque l'entrée D est reliée à la sortie \overline{Q} , la sortie Q prend donc la valeur présente sur \overline{Q} . Par conséquent, il y a un basculement de la sortie Q à chaque front montant.

Ce montage permet de diviser par deux la fréquence d'un signal d'entrée.

2. Donnez un montage équivalent à l'aide d'une bascule JK.

Il suffit de câbler une bascule JK en basculement permanent (J et K toujours à 1) :



Exercice 4

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

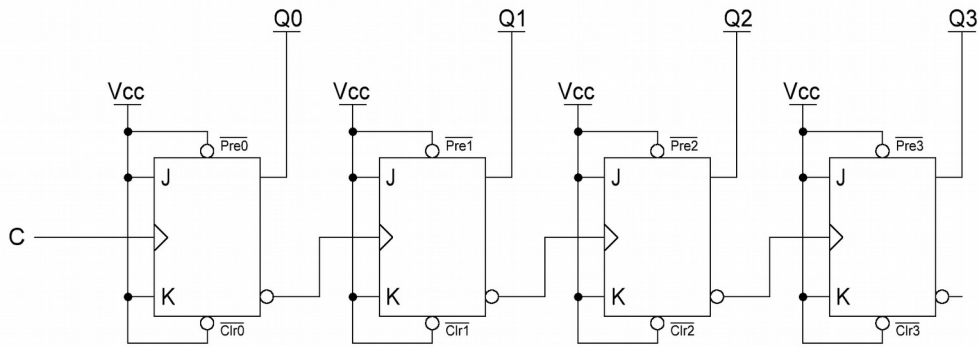
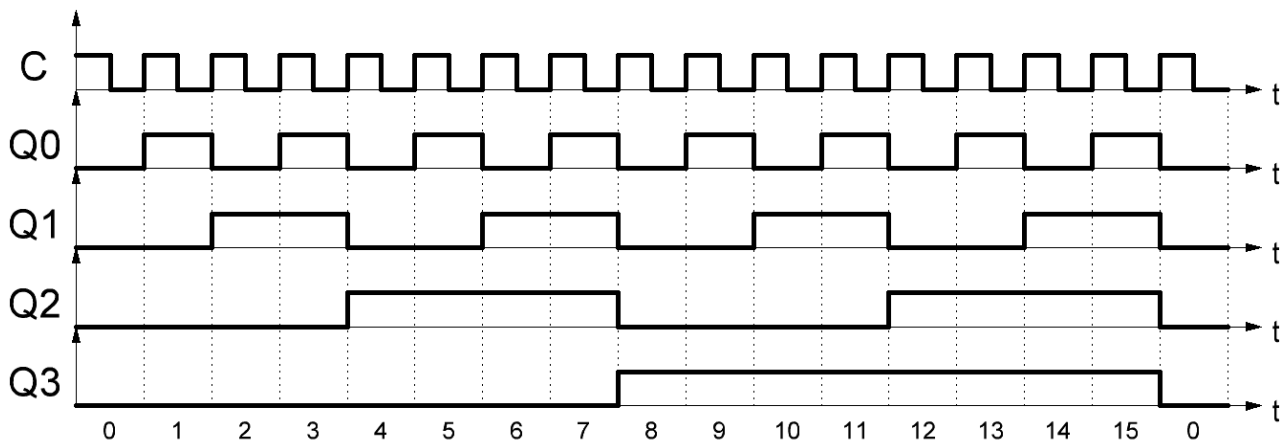


Figure 1

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 C ;
- La sortie $Q1$ bascule sur chaque front montant de $\overline{Q0}$ (donc chaque **front descendant** de $Q0$) ;
- La sortie $Q2$ bascule sur chaque front montant de $\overline{Q1}$ (donc chaque **front descendant** de $Q1$) ;
- La sortie $Q3$ bascule sur chaque front montant de $\overline{Q2}$ (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 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](#) ?

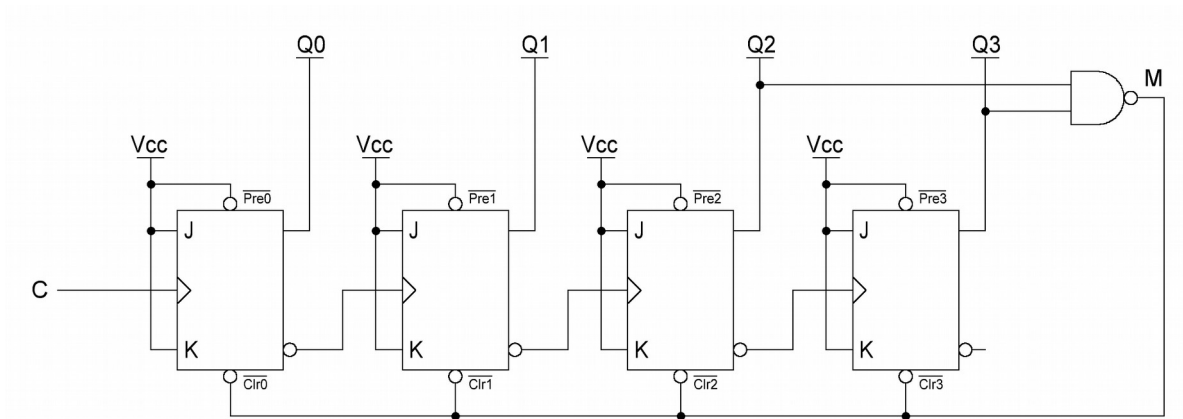


Figure 2

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 *clear* 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 *clear* 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 *clear*.

← 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 modulo 12**. Il compte de 0 à 11.

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

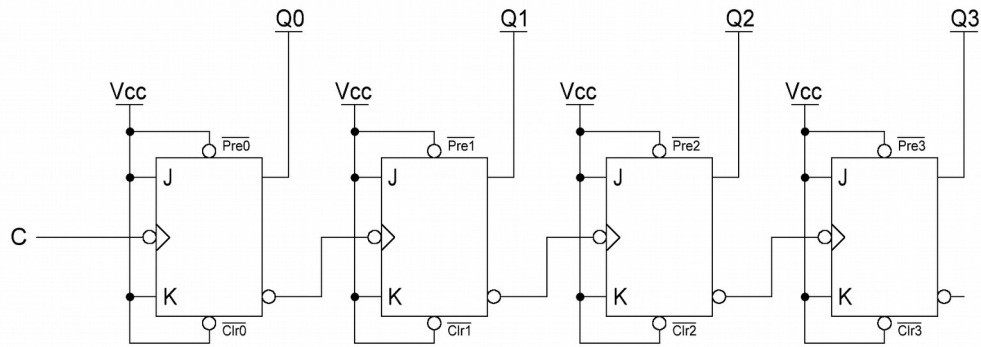
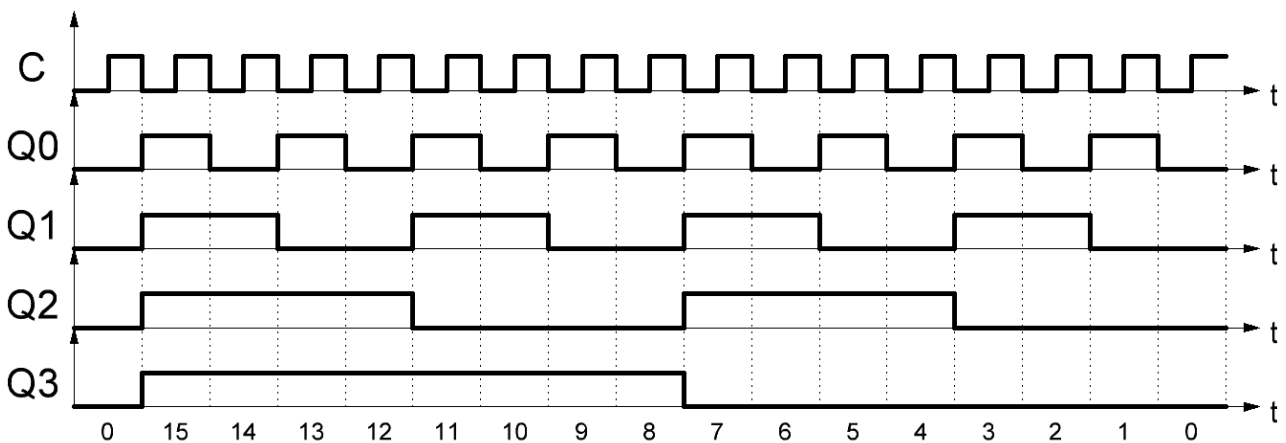


Figure 3

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 C ;
- La sortie $Q1$ bascule sur chaque front descendant de $\overline{Q0}$ (donc chaque **front montant** de $Q0$) ;
- La sortie $Q2$ bascule sur chaque front descendant de $\overline{Q1}$ (donc chaque **front montant** de $Q1$) ;
- La sortie $Q3$ bascule sur chaque front descendant de $\overline{Q2}$ (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 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](#) ?

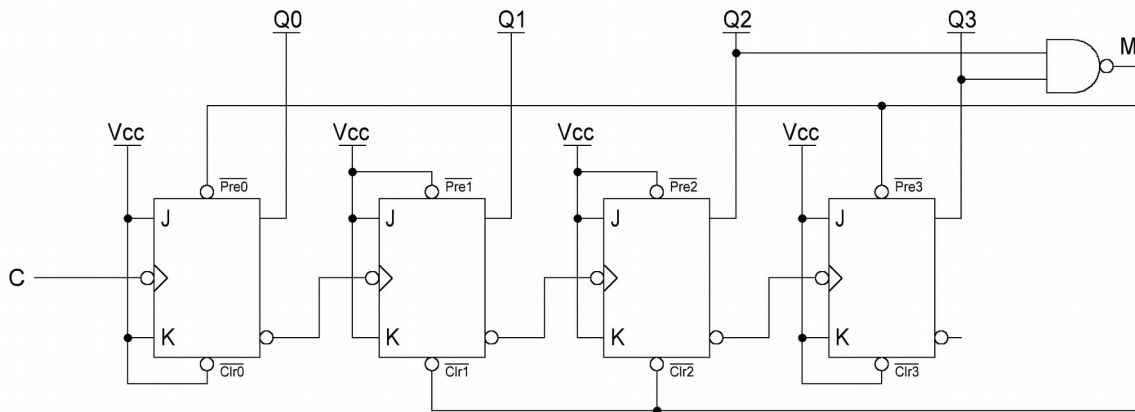


Figure 4

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 *clear* sur $Q1$ et $Q2$ et un *preset* 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.

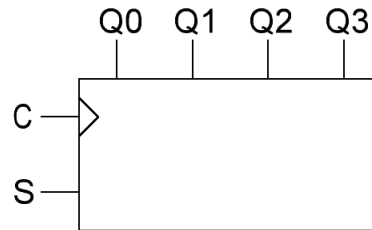
Le temps d'apparition de la valeur 15 se détermine en fonction du temps de réaction de la porte NON-ET et des bascules JK. En pratique, ce temps est très faible (de l'ordre de la nanoseconde).

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

Exercice 5

On souhaite réaliser, en un seul circuit, un compteur/décompteur modulo 16. Ce montage devra posséder deux modes de fonctionnement : un mode compteur et un mode décompteur. La sélection du mode s'effectuera à l'aide d'une entrée S qui respectera les conditions suivantes :

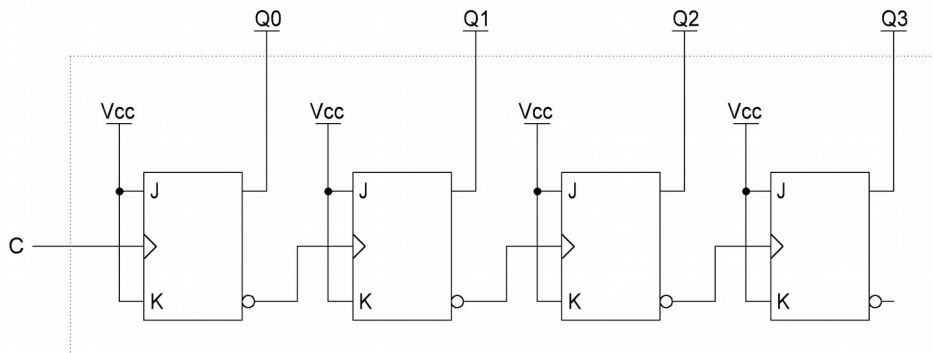
- $S = 0 \rightarrow$ mode compteur ;
- $S = 1 \rightarrow$ mode décompteur.



Vous avez à votre disposition quatre bascules JK synchronisées sur front montant et toutes les portes logiques nécessaires.

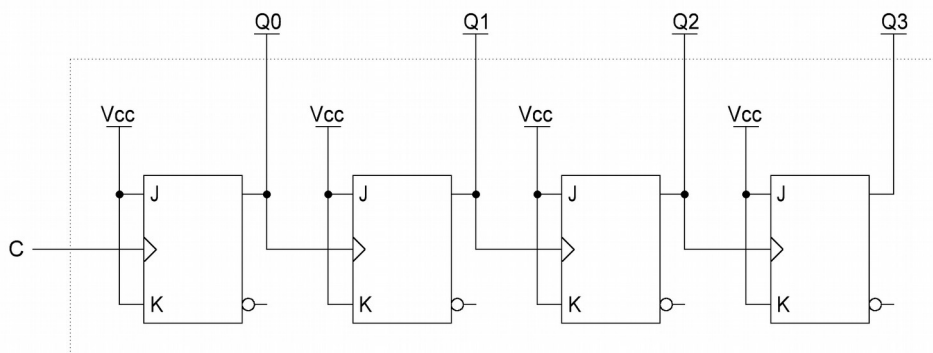
1. Donnez le schéma de câblage d'un compteur modulo 16.

Dans un compteur, le basculement d'une sortie se fait au moment du **front descendant** de la sortie précédente. Pour arriver à ce résultat à l'aide de bascules synchronisées sur front montant, il faut relier l'entrée d'horloge d'une bascule sur la sortie complémentée de la bascule précédente.

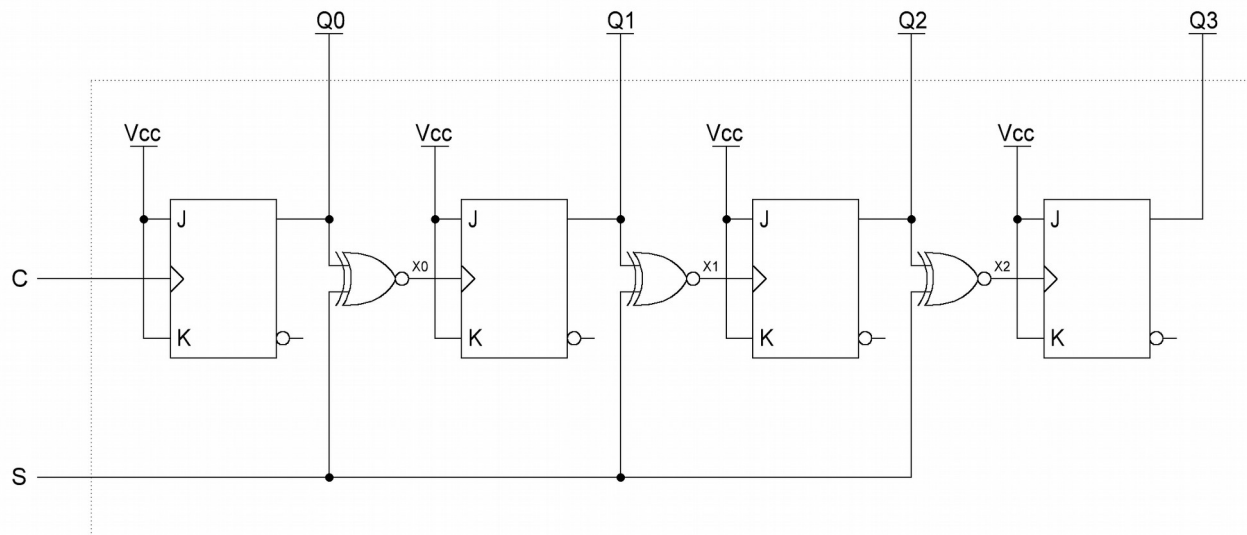


2. Donnez le schéma de câblage d'un décompteur modulo 16.

Dans un décompteur, le basculement d'une sortie se fait au moment du **front montant** de la sortie précédente. Pour arriver à ce résultat à l'aide de bascules synchronisées sur front montant, il faut relier l'entrée d'horloge d'une bascule sur la sortie non complémentée de la bascule précédente.



3. Donnez le schéma de câblage du compteur/décompteur modulo 16.



La différence de câblage entre un compteur asynchrone et un décompteur asynchrone est la connexion entre la sortie d'une bascule et l'entrée d'horloge de la bascule suivante. Dans notre cas, puisque les bascules sont synchronisées sur front montant, on obtient un compteur en connectant les sorties complémentées (\overline{Q}) aux entrées d'horloge des bascules suivantes et un décompteur en connectant les sorties non complémentées (Q) à ces mêmes entrées d'horloge. Pour passer du mode compteur au mode décompteur, il suffit donc d'inverser la sortie de la bascule qui est connectée à l'entrée d'horloge de la bascule suivante. C'est la porte NON-OU EXCLUSIF qui servira à effectuer cette inversion en fonction de l'entrée S .

Pour rappel, la table de vérité d'une porte NON-OU EXCLUSIF est la suivante :

$$X = S \oplus Q$$

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

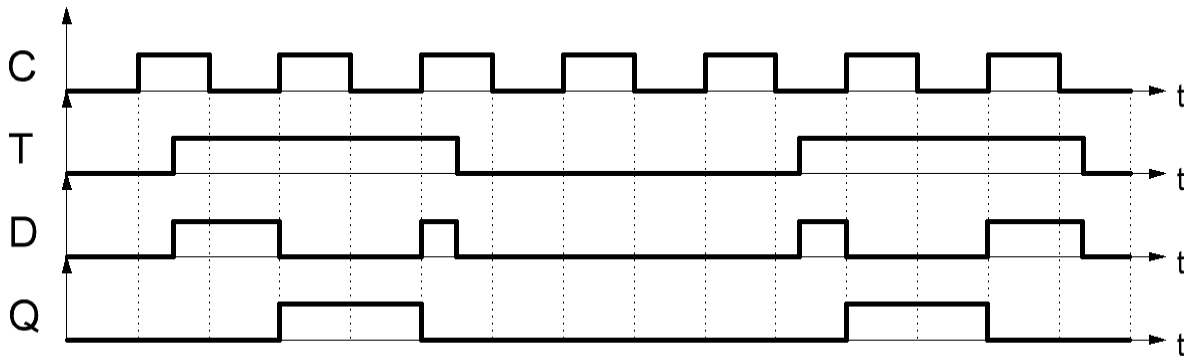
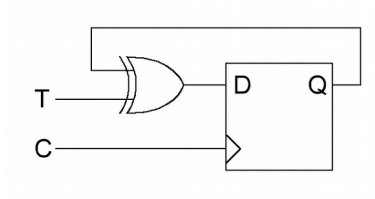
On remarque que si $S = 0$, alors $X = \overline{Q}$

On remarque que si $S = 1$, alors $X = Q$

- Lorsque l'entrée S vaut 0, les sorties \overline{Q} sont reliées aux entrées d'horloge des bascules suivantes : le circuit fonctionne en mode compteur.
- Lorsque l'entrée S vaut 1, les sorties Q sont reliées aux entrées d'horloge des bascules suivantes : le circuit fonctionne en mode décompteur.

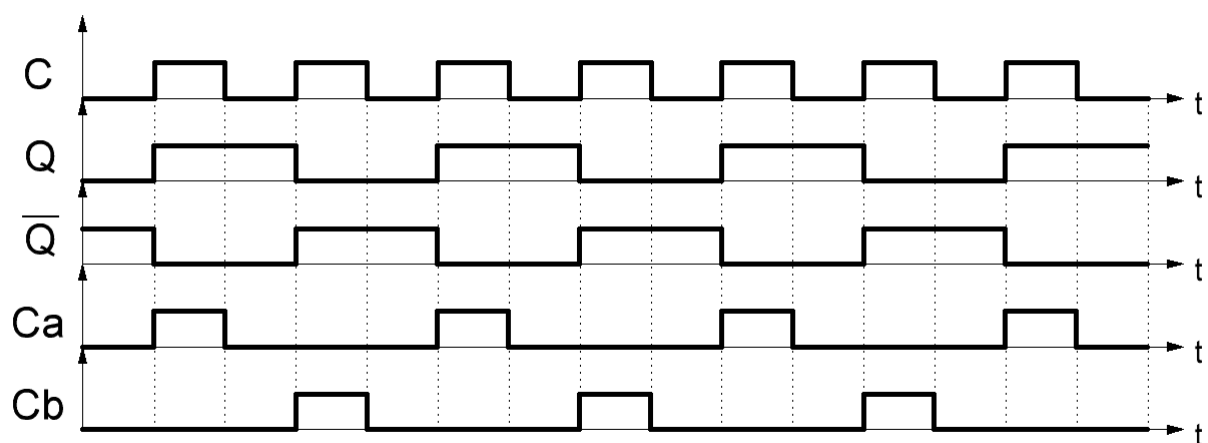
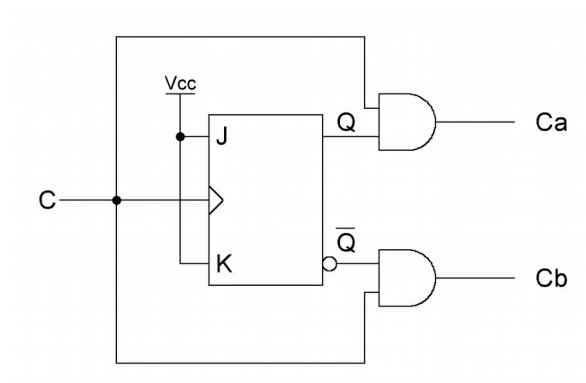
Exercice 6

1. Remplissez le chronogramme en fonction du montage suivant :



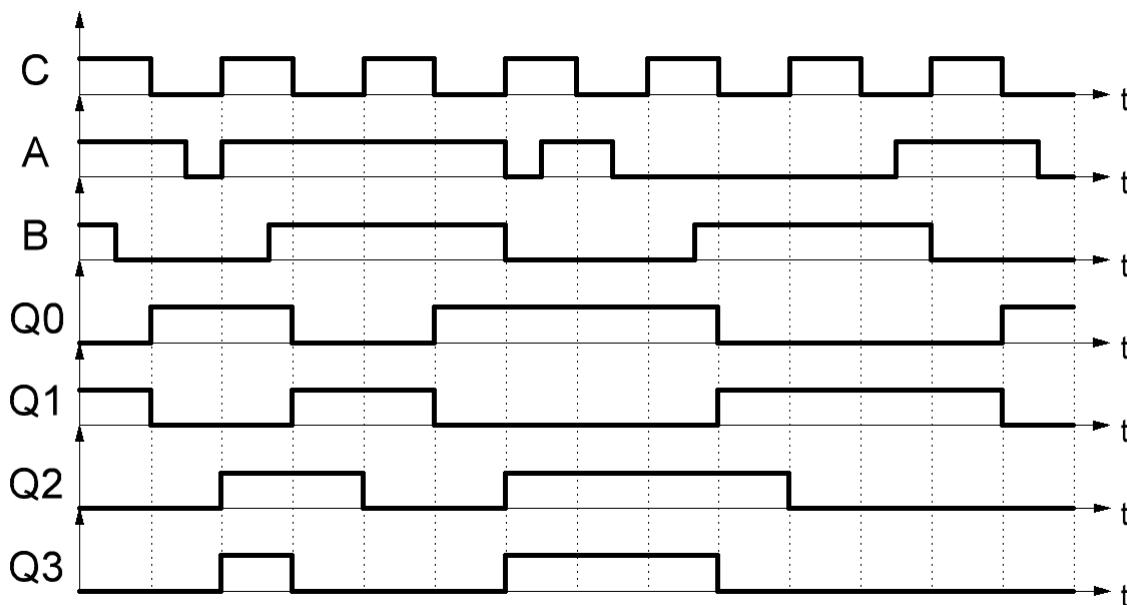
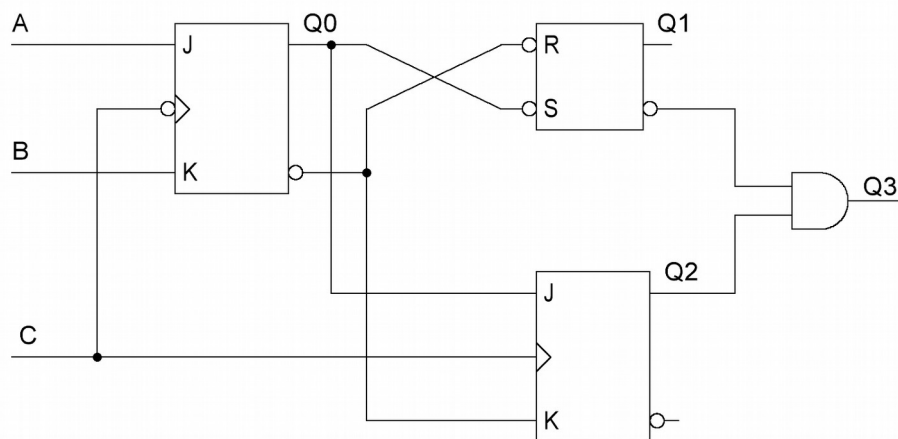
- Lorsque $T = 0$, la porte OU EXCLUSIF se comporte comme un fil. L'entrée D est alors reliée à la sortie Q . Cette dernière restera donc inchangée au moment d'un front montant sur C ;
- Lorsque $T = 1$, la porte OU EXCLUSIF se comporte comme un inverseur. L'entrée D est alors reliée à la sortie \bar{Q} . La bascule fonctionne en basculement permanent, chaque front montant sur C inverse la sortie ;
- Pour tracer D , on se sert de la relation suivante : $D = T \oplus Q$.

2. Remplissez le chronogramme en fonction du montage suivant :



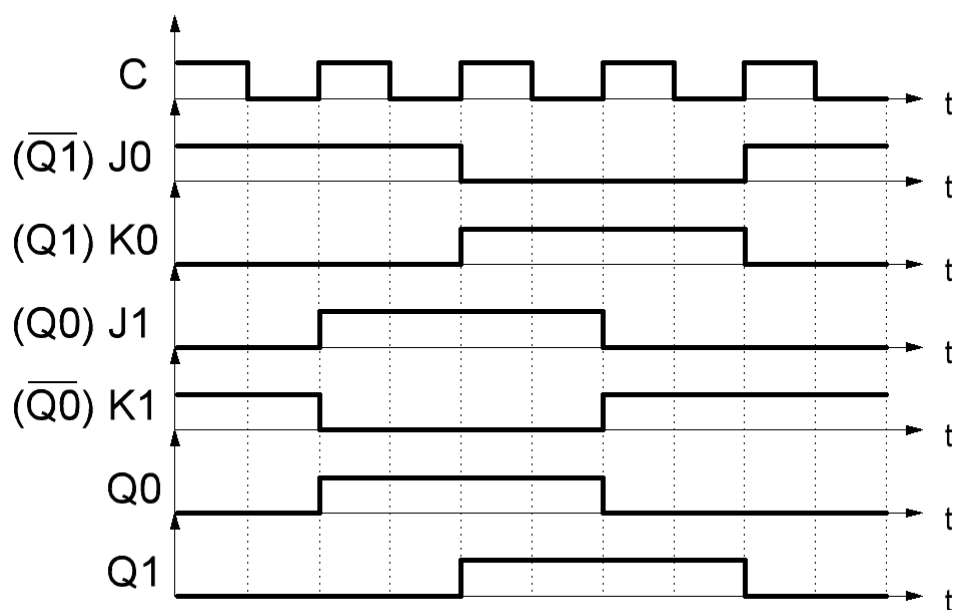
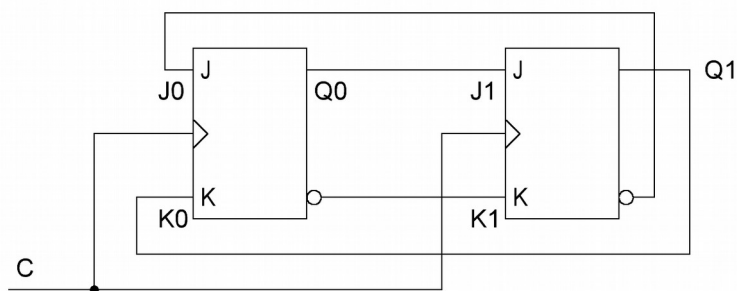
- La bascule JK est câblée en basculement permanent (J et K sont toujours à 1). Chaque front montant inverse les sorties ;
- Pour tracer Ca et Cb , on se sert des deux relations suivantes :
 - $Ca = C.Q$
 - $Cb = C.\bar{Q}$

3. Remplissez le chronogramme en fonction du montage suivant :



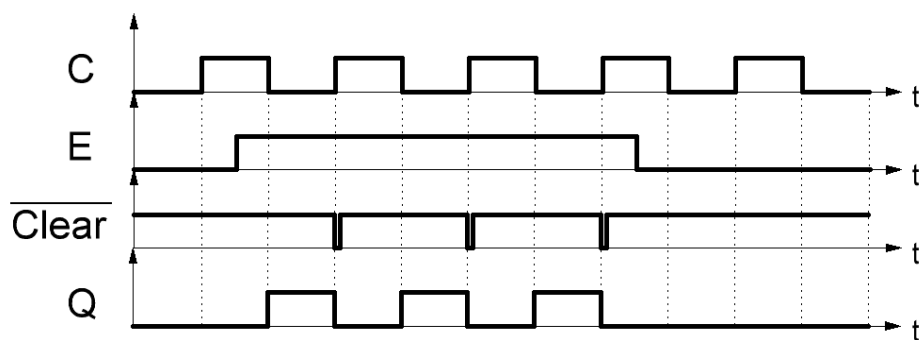
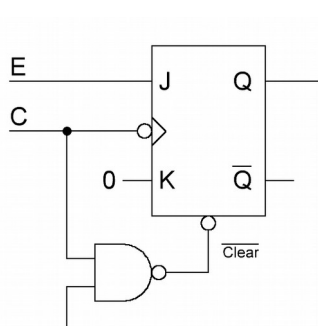
Il faut remarquer que l'une des deux bascules JK est synchronisée sur front descendant et que les entrées *set* et *reset* de la bascule RS sont actives à l'état bas.

4. Remplissez le chronogramme en fonction du montage suivant :



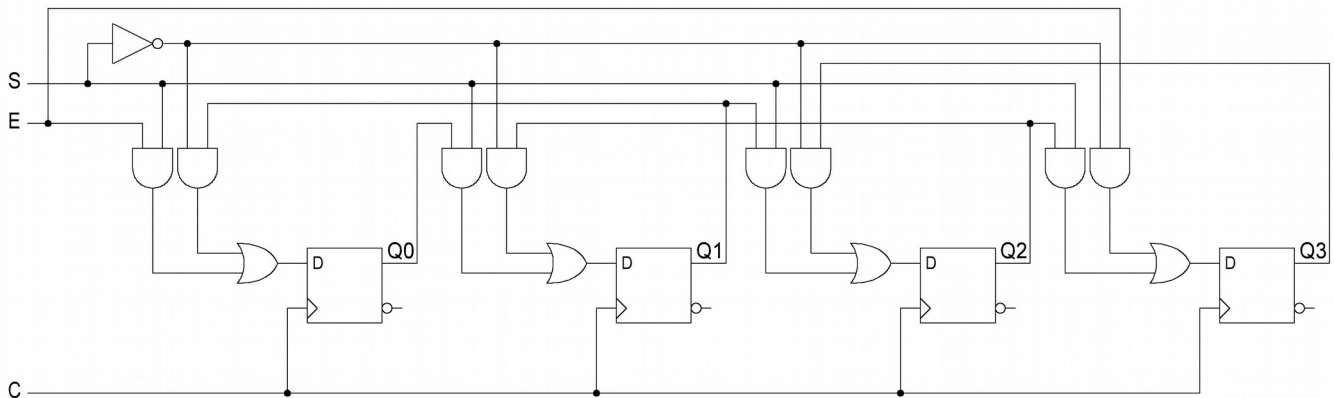
- Prolonger les valeurs initiales de $Q0$ et $Q1$ jusqu'au prochain front montant ;
- En déduire les valeurs de $J0$, $K0$, $J1$ et $K1$ jusqu'à ce front montant ;
- En déduire les valeurs de $Q0$ et $Q1$ jusqu'au prochain front montant ;
- Et ainsi de suite.

5. Remplissez le chronogramme en fonction du montage suivant :

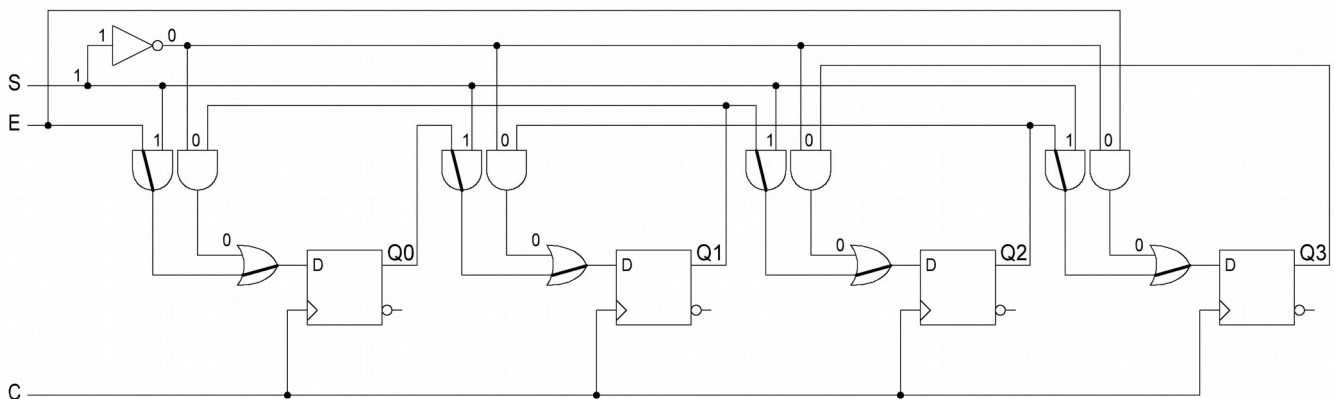


Exercice 7

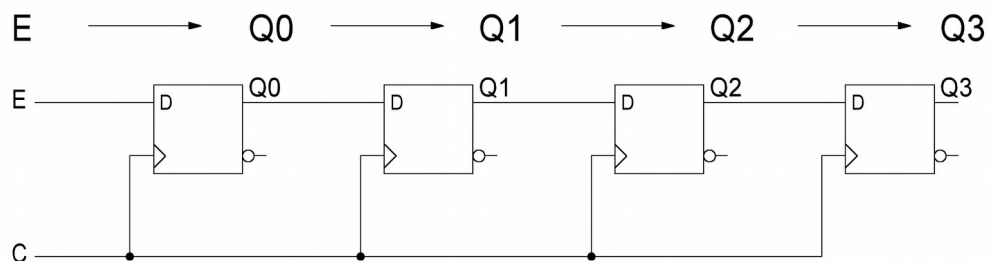
Complétez le chronogramme du circuit ci-dessous ($E = 0$).



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

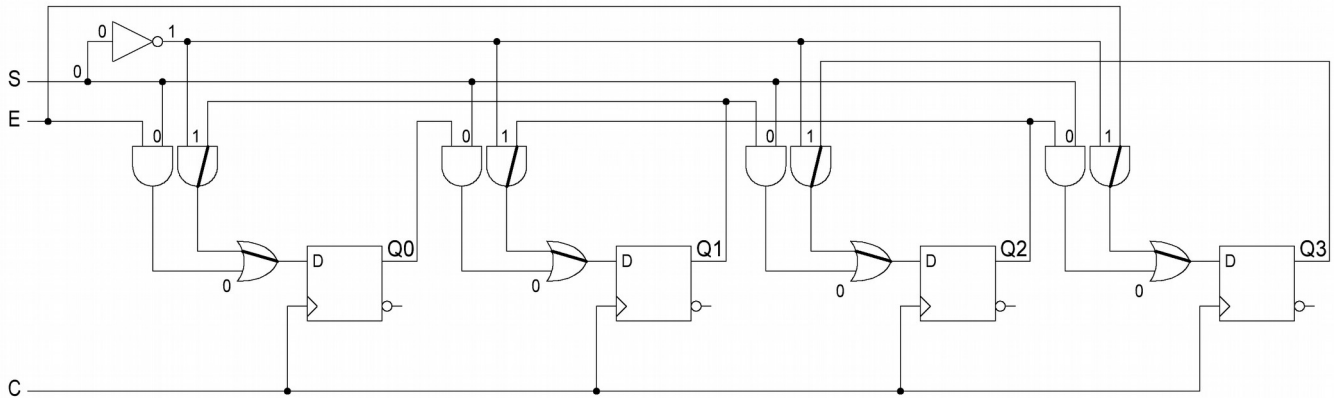


On constate que le 1 de l'entrée S se propage sur un certain nombre de portes ET. Ces dernières peuvent dès lors être remplacées par un fil. L'inverseur, en haut du montage, propage un 0 sur les autres portes ET. Ce 0 est alors recopié sur les entrées des portes OU. Or, un 0 sur l'entrée d'une porte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

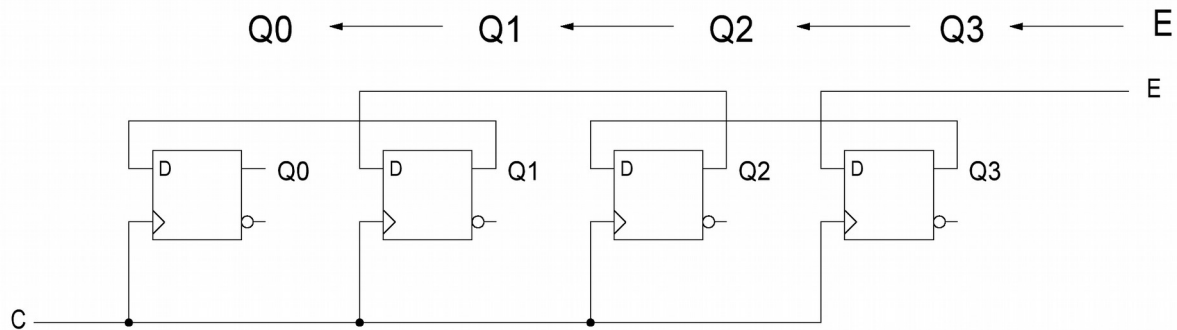


À chaque front montant de l'horloge d'une bascule D, sa sortie Q recopie son entrée D . Chaque sortie est donc recopiée sur la suivante : **il s'agit d'un registre à décalage sur 4 bits**. $Q0$ étant le poids faible, **le décalage s'effectue vers la gauche**. Le nouveau bit entrant dans $Q0$ est E .

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 . 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.

