Architecture des ordinateurs

Corrigé du TD 6 : Circuits séquentiels

Arnaud Giersch, Benoît Meister et Frédéric Vivien

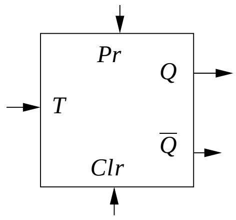
1. **Bascules** *T*

   On considère une bascule dont la table de vérité est la suivante. On considère que ε est petit par rapport à un cycle d'horloge.

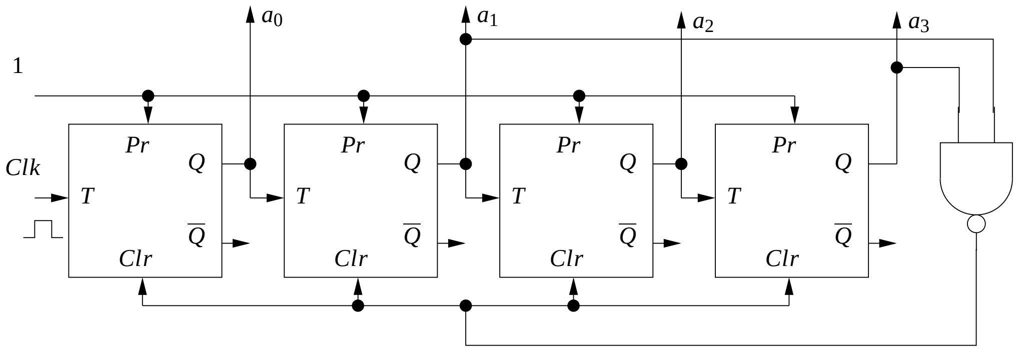
Pr	Clr	T	$Q_{t-\varepsilon}$	$\overline{Q_{t-\varepsilon}}$	Q_t	$\overline{Q_t}$
0	0	x	y	$\overline{y}$	#	#
0	1	x	y	$\overline{y}$	1	0
1	0	x	y	$\overline{y}$	0	1
1	1	0	y	$\overline{y}$	$\overline{y}$	y
1	1	1	y	$\overline{y}$	y	$\overline{y}$

   Dans cette table, les entrées *Pr* et *Clr* signifient respectivement `Preset` et `Clear` ; elles sont actives sur niveau bas. L'entrée *T* reçoit un signal d'horloge et est active sur niveau bas. Les variables *x* et *y* prennent indifféremment les valeurs 0 ou 1. Le symbole # signifie qu'il est impossible de déterminer la valeur logique de la variable auquel il se réfère. La présence du symbole # correspond au cas où les deux signaux *Pr* et *Clr* sont simultanément actifs, ce qui est interdit.

   Ce type de bascule est appelée **bascule T** (« *T* » pour *time*). À l'instar d'une bascule *D*, l'activation d'une bascule *T* peut se faire sur les fronts montants ou descendants du signal d'entrée. Cela permet qu'il n'y ait qu'un changement d'état par cycle d'horloge (Q_t dépend de $Q_{t-\varepsilon}$ et non de Q_{t-1}). Ici, l'activation de notre bascule *T* se fera sur front descendant. Une telle bascule est représentée de la manière suivante.

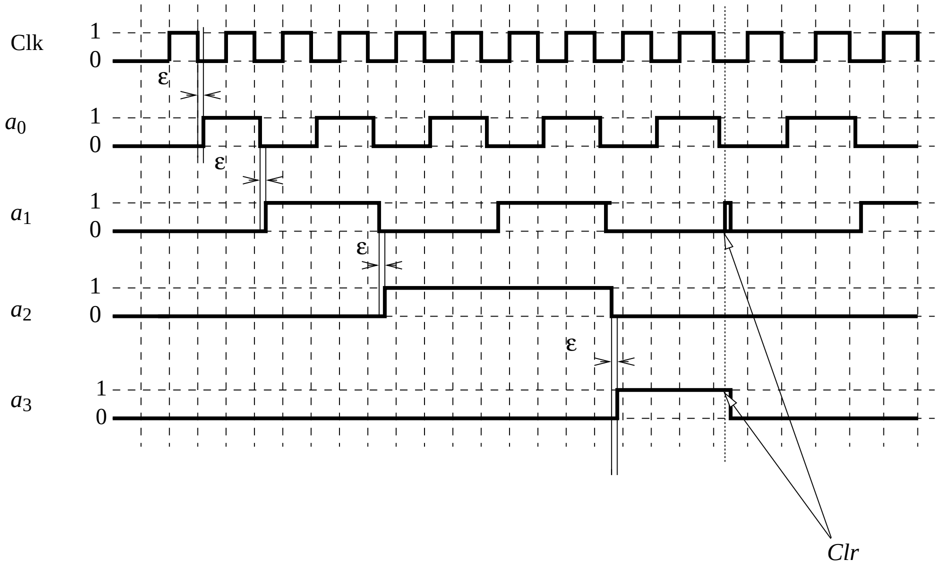


   On considère à présent le dispositif constitué de quatre bascules T montées en cascade selon le schéma ci-dessous.



   (a) Compléter le chronogramme suivant en supposant que le temps de traversée d'une bascule T est ε et que le temps de traversée d'une porte logique NAND est négligeable (par rapport à ε).

Correction :



Quelques explications relatives à ce chronogramme :

– *Au départ, toutes les sorties a_i sont au niveau 0. Comme les sorties a_1 et a_3 sont à 0, l'entrée Clear de toutes les bascules T est à 1 (inactive). De plus, notons que l'entrée Preset de chaque bascule T est toujours fixée à 1.*
– *Au premier passage de l'horloge au niveau bas, la sortie a_0 est inversée (l'inversion se faisant sur les front descendants). On a donc : $a_0 = 1$.*
– *Au second front descendant, a_0 repasse à 0, ce qui constitue un front descendant à l'entrée de la deuxième bascule. Sa sortie, a_1, passe donc au niveau 1.*
– *Une bascule change de niveau à chaque fois que son entrée reçoit un front descendant. La sortie a_0 produira donc un front descendant au bout de deux fronts descendants reçus en entrée. De même, la sortie a_1 changera de niveau à chaque front descendant produit par a_0, et produira un front descendant au bout de deux fronts descendants produits par a_0. Ainsi de suite pour a_2, et a_3. Finalement, a_0 change de niveau après 2 changements de niveau de l'horloge, a_1 change de niveau après 2 changements de niveau de a_0 (donc après 4 changements de niveau de l'horloge), et ainsi de suite (a_3 : 8 changements de niveau d'horloge, a_4 : 16 changements).*

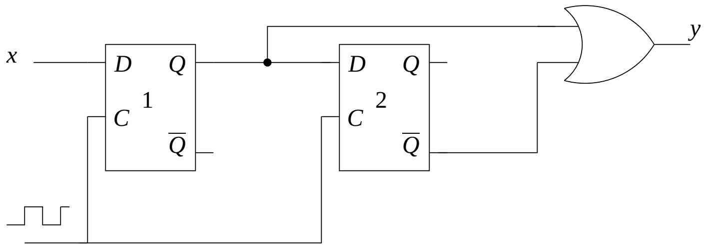
(b) Quelle est la signification de la représentation décimale du nombre binaire $a_3a_2a_1a_0$? Quelle est la fonction du dispositif ?

Correction : *La sortie $a_3a_2a_1a_0$ compte le nombre de cycles d'horloge sur 4 bits. Mais la porte nand met les signaux Clear de toutes les bascules à 0 (actifs) lorsque a_1 et a_3 sont égaux à 1. L'activation de tous les Clear met toutes les sorties a_i à 0. Ce cas arrive pour la première fois lorsque $a_3a_2a_1a_0 = 10$. Comme $a_3a_2a_1a_0 = 10$ est alors remis à 0, ceci n'arrive* **que** *lorsque $a_3a_2a_1a_0 = 10$. La sortie $a_3a_2a_1a_0$ compte donc le nombre de cycles d'horloge reçus en entrée, modulo 10.*

2. **Feux de circulation**
On veut faire un circuit gérant les feux de circulation d'un croisement entre deux routes, de directions Nord/Sud et Est/Ouest. Les feux, qui sont soit rouges (signal de valeur 0) soit verts (signal de valeur 1), passent alternativement d'une couleur à l'autre. Lorsqu'un piéton souhaite traverser le croisement, il appuie sur un bouton pour faire passer *tous* les feux au rouge.

(a) Modéliser le bouton pour les piétons à l'aide de deux bascules D : lorsque le piéton appuie sur le bouton, cela fait passer son entrée *x* de la valeur 1 à la valeur 0 pendant un temps supérieur à un cycle d'horloge. *x* revient ensuite à la valeur 1. A la pression du bouton, sa sortie *y* doit produire un signal à 0 pendant un cycle d'horloge puis revenir à 1 (sa valeur normale). On supposera dans tout l'exercice que le temps de passage des portes logiques est négligeable devant la durée d'un cycle, et que les bascules se déclenchent sur front descendant.

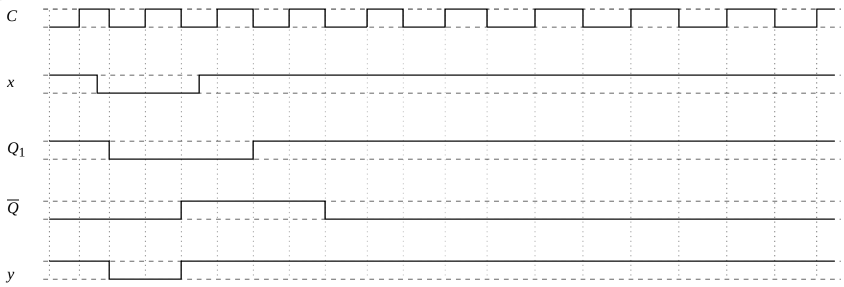
Correction :



Ce circuit se comporte comme un détecteur de front descendant (avec un not *en sortie) : Au départ,* $x = 1$, *et* $\overline{Q} = 0$, *donc y est à 1. Lorsque x passe à 0,* $y = 0$. *Mais* $\overline{Q}$ *passe à 1 au cycle suivant, et donc y repasse à 1. Lorsque x repasse à 1, y reste à 1.*

Montrer la validité du circuit à l'aide d'un chronogramme.

Correction :

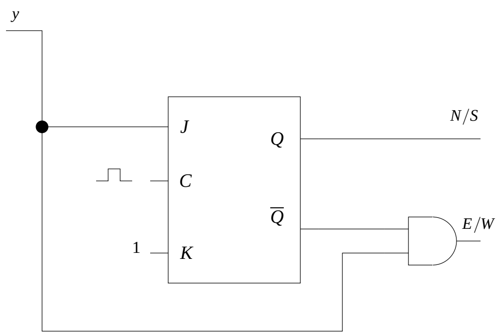


En pratique, la période de l'horloge associée au bouton est très petite (typiquement 20ms) devant le temps de passage du piéton (de l'ordre de la minute). Pour que la durée du signal corresponde à ce temps, un diviseur de fréquence est placé entre la sortie du bouton et l'entrée du reste du circuit. La période d'horloge considérée dans la suite est égale à ce temps, elle est donc elle aussi très grande devant celle de l'horloge associée au bouton.

(b) On veut à présent modéliser le circuit mettant tous les feux au rouge pendant un cycle, à la réception du signal donné par l'interrupteur. À l'aide d'une bascule JK dont l'horloge est synchronisée avec celle du bouton piéton, construire 3 circuits différents, distingués par le feu que l'on met au vert après le passage du piéton :

i. Celui de la direction Nord/Sud.

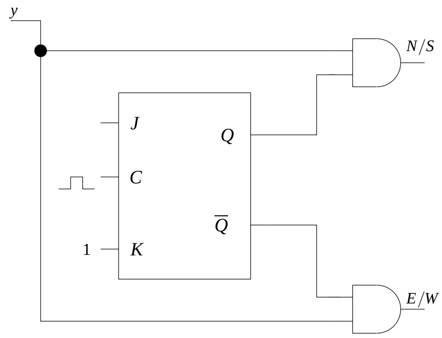
Correction :



- *Fonctionnement normal :* $y = 1 \Rightarrow J = K = 1$ *: à chaque cycle, la valeur de Q (et de* $\overline{Q}$*) est inversée. Les feux passent donc alternativement au vert puis au rouge.*
- *Lorsque le bouton est pressé, J passe à la valeur 0, ainsi qu'une entrée de la porte* and *A. A ce cycle d'horloge, Q prend la valeur 0. La porte* and *A place la valeur de sortie* E/W *à 0.*
- *Au cycle suivant, on a à nouveau* $J = K = 1$ *: Q prend la valeur 1* $\Rightarrow$ *l'axe N/S passe au vert.*

ii. Celui qui était vert avant qu'on appuie sur le bouton.

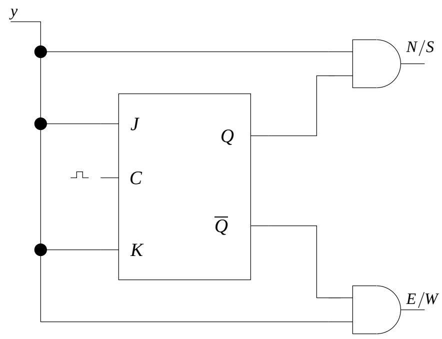
Correction :



Ici, les deux portes and *mettent la valeur des sorties N/S et E/W à 0 pendant un cycle. Toutefois, les sorties de la bascule JK continuent de changer de valeur une fois pendant ce cycle. Au cycle suivant, la valeur des sorties N/S et E/W est la même qu'avant le passage du piéton.*

iii. Celui qui était rouge avant qu'on appuie sur le bouton.

Correction :



Ici, les entrées J et K sont reliées à l'entrée y. Pendant que l'on annule les sorties N/S et E/W, les entrées J et K sont elles aussi mises á la valeur 0. Les valeurs de sortie Q et $\overline{Q}$ ne sont donc pas modifiées pendant ce temps, mais seulement au cycle suivant (lorsque J et K sont remises à 1). Les valeurs prises par les sorties N/S et E/W au cycle suivant sont donc l'inverse de ce qu'elles étaient avant le passage du piéton.