

## INITIATION A LA PRATIQUE DE L'ELECTRONIQUE

# COMPTEURS EN ANNEAU ET DE REGENER, ADDITIONNEURS BINAIRES

Les compteurs en anneau et de Regener sont des applications directes des registres à décalage. Un compteur en anneau est constitué par un registre à décalage dont la sortie est reliée à l'entrée. Avant le comptage, la dernière bascule doit être mise à l'état haut. Un compteur en anneau de N bascules peut compter jusqu'à N.

Un compteur de Regener (ou compteur Johnson) est également constitué par un registre à décalage, mais c'est la sortie inversée du dernier étage qui est reliée au premier. Avant le comptage, toutes les bascules sont remises à zéro. Un compteur de Regener composé de N bascules peut compter jusqu'à 2 N.

Les registres à décalage sont très largement utili-

sés dans les calculateurs. Avant d'en montrer quelques exemples dans ce domaine, nous donnons quelques notions sur les circuits arithmétiques. L'addition binaire est l'opération de base dans un calculateur. En binaire, la table d'addition se réduit à 4 lignes.

La multiplication binaire est une addition répétée. Le résultat final est égal à la somme des résultats partiels décalés vers la gauche.

La soustraction binaire est équivalente à une addition d'un nombre positif et d'un nombre négatif. La table de soustraction binaire compte 4 lignes.

La division binaire est une soustraction répétée. Les résultats partiels obtenus sont décalés vers la droite pour avoir le résultat final.

## Compteur en anneau

C'est une application directe des registres à décalage. Nous pouvons facilement le réaliser avec le montage que nous avons donné figure 11 dans *Le Haut-Parleur* du mois dernier.

Il suffit de brancher la sortie de la dernière bascule à l'entrée de la première.

Avant d'appliquer le signal CK, qui peut en l'occurrence être remplacé par une commande manuelle à travers un circuit anti-rebonds, il est nécessaire de mettre à l'état 1 la dernière bascule, et à l'état zéro les autres.

Nous avons représenté sur la figure 1 le schéma de ce compteur qui comprend cinq bascules D. Avant la mise en fonctionnement, la sortie CLR des bascules 1 à 6 est mise momentanément à zéro volt, tandis que pour la cinquième bascule, c'est sa sortie P qui

est portée à ce niveau. Les voyants V1 à V4 sont donc éteints et V5 allumé (fig. 2). La sortie de la dernière bascule est reliée à l'entrée de la première (pointillé sur la figure).

La première impulsion appliquée sur T (ou CK) fait passer à l'état 1 la première bascule tandis que les autres sont à l'état zéro. Les impulsions suivantes font passer ce « un » successivement sur chaque bascule comme indiqué sur la figure 2. La table de vérité est donnée figure 3. Ce compteur, composé de 5 bascules, peut compter jusqu'à 5. Il y a ambiguïté par le fait qu'au départ, le voyant de la dernière bascule est allumé. Un comptage décimal est obtenu avec 10 bascules.

## Compteur de Regener

Ce compteur porte le nom de celui qui l'a inventé et appliqué le premier. Il

est souvent appelé « compteur Johnson », et dans la littérature anglaise on lui donne aussi le nom de « twisted-ring », « switched tail » ou « Möbius counter ».

Ce compteur diffère du précédent par le fait que ce n'est pas la sortie Q, mais la sortie  $\bar{Q}$  de la dernière bascule qui est reliée à l'entrée de la première (fig. 4).

On remet initialement toutes les bascules à zéro, la sortie  $\bar{Q}$  de la dernière est alors à l'état haut. A chaque impulsion reçue, les étages basculent successivement puis rebasculeront à nouveau (fig. 5). La table de vérité est donnée figure 6. Ce compteur, composé de 5 bascules, peut compter jusqu'à 10.

Ces compteurs seront expérimentés avec le schéma de câblage prévu pour une plaque de connexion, schéma donné le mois dernier. Pour réaliser le

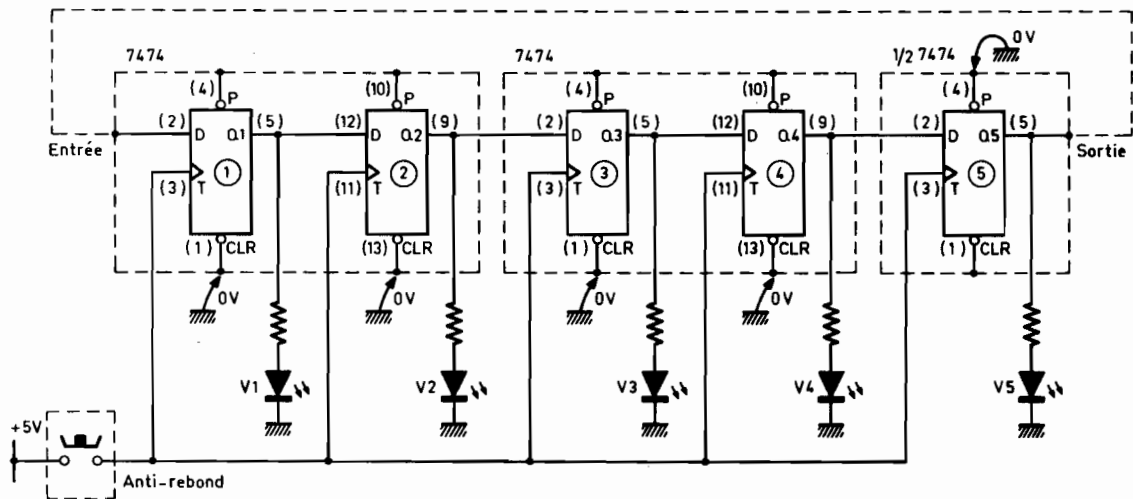


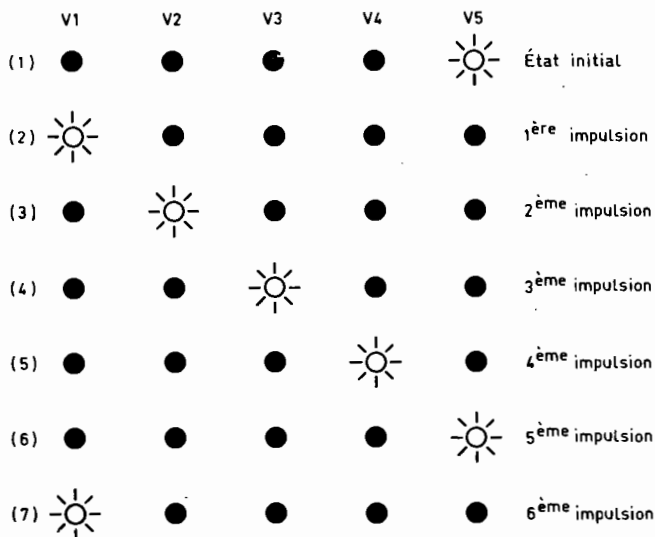
FIGURE 1. - Le compteur en anneau est constitué d'un registre à décalage dont la sortie est reliée à l'entrée. Avant l'application de la première impulsion à compter (sur les entrées T), toutes les bascules doivent être à l'état zéro, sauf la dernière qui est mise à l'état 1.

compteur en anneau classique, la sortie (broche 5 du dernier circuit) est connectée à l'entrée du montage (broche 2 du premier circuit intégré). On déconnecte de la ligne RAZ la broche n° 1 du dernier circuit, et la dernière

bascule est mise à l'état travail en branchant temporairement la broche 4 à la masse. Le compteur est prêt, il comptera les impulsions appliquées aux entrées CK (ou T).

Pour réaliser le compteur de Rege-

ner, toutes les commandes CLR (ou R) doivent être branchées à la ligne RAZ. L'entrée du registre à décalage doit être connectée à la sortie  $\bar{Q}$  de la dernière bascule (broche 6 du dernier circuit intégré).



	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Etat initial	0	0	0	0	1
1 <sup>re</sup> impulsion	1	0	0	0	0
2 <sup>e</sup> impulsion	0	1	0	0	0
3 <sup>e</sup> impulsion	0	0	1	0	0
4 <sup>e</sup> impulsion	0	0	0	1	0
5 <sup>e</sup> impulsion	0	0	0	0	1
6 <sup>e</sup> impulsion	1	0	0	0	0

FIGURE 3. - Table de vérité du compteur en anneau constitué de cinq bascules.

FIGURE 2. - Visualisation des cinq bascules du compteur en anneau.

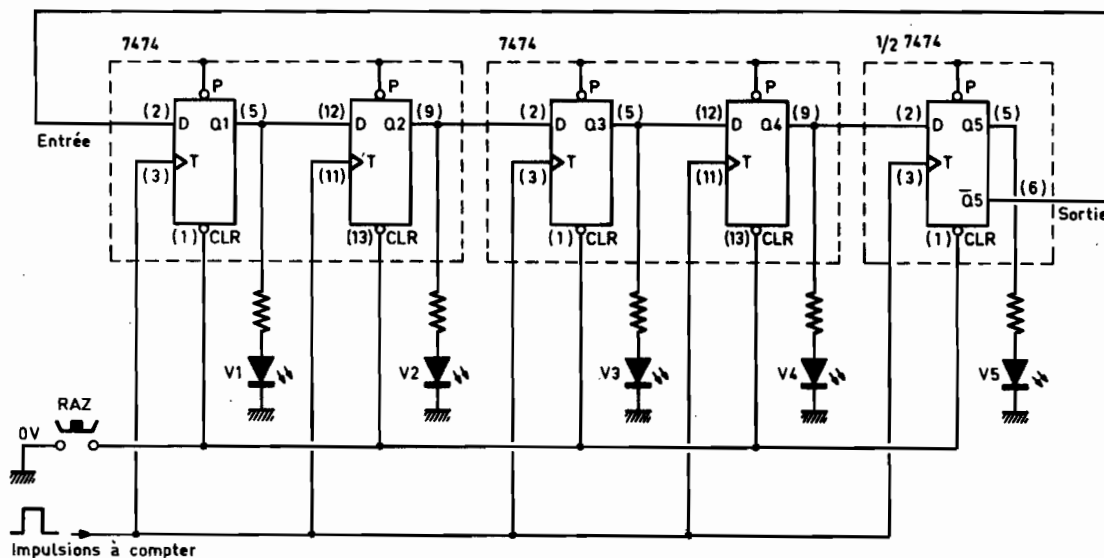
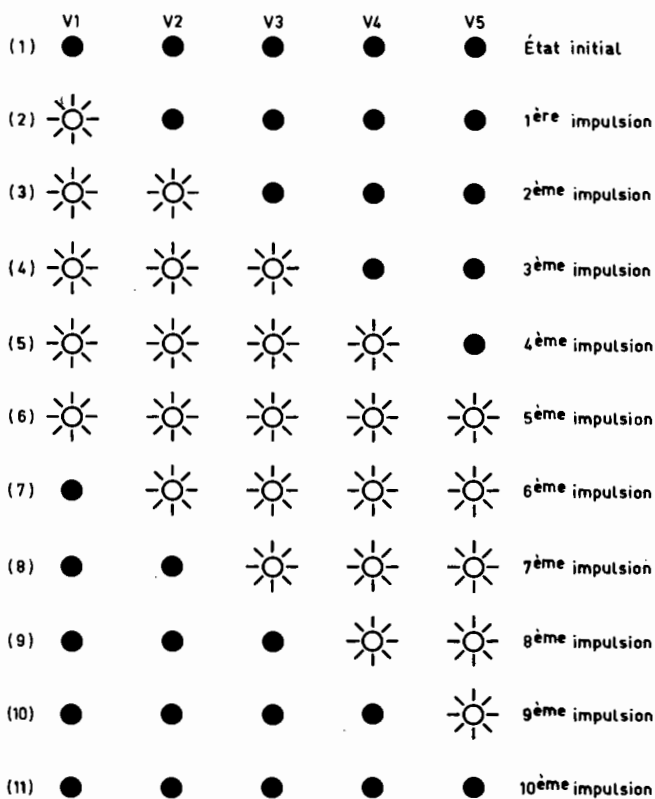


FIGURE 4. – Compteur de Regener. Il est aussi constitué d'un registre à décalage, mais c'est  $\bar{Q}$  de la dernière bascule qui est relié à l'entrée. Avant la mise en route, toutes les bascules sont remises à zéro.



	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>
Etat initial	0	0	0	0	0
1 <sup>re</sup> impulsion	1	0	0	0	0
2 <sup>e</sup> impulsion	1	1	0	0	0
3 <sup>e</sup> impulsion	1	1	1	0	0
4 <sup>e</sup> impulsion	1	1	1	1	0
5 <sup>e</sup> impulsion	1	1	1	1	1
6 <sup>e</sup> impulsion	0	1	1	1	1
7 <sup>e</sup> impulsion	0	0	1	1	1
8 <sup>e</sup> impulsion	0	0	0	1	1
9 <sup>e</sup> impulsion	0	0	0	0	1
10 <sup>e</sup> impulsion	0	0	0	0	0

FIGURE 6. – Table de vérité du compteur de Regener.

FIGURE 5. – Visualisation des cinq bascules du compteur de Regener (pouvant compter de 1 à 10).

Entrée	Sortie	Capacité	Type	Remarques	Horloge	Nombre de broches
Série	Parallèle	5 bits	7496	Egalement convertisseur parallèle/série Remise à zéro asynchrone		16
		8 bits	74164			14
Série	Série	8 bits	7491	Circuit de validation à l'entrée		14
Parallèle	Parallèle	4 bits	7495	Possède également une entrée série  Bidirectionnel Bidirectionnel Bidirectionnel		14
		4 bits	74195			16
		4 bits	74178			14
		4 bits	74194			16
		8 bits	74198			24
8 bits	74199	24				
Parallèle	Série	4 bits	7494	Chargement asynchrone Egalement convertisseur série/parallèle Sorties complémentaires Possède également une entrée série		16
		5 bits	7496			16
		8 bits	74165			16
		8 bits	74166			16

### Registres à décalage et compteurs intégrés

Nous donnons sur le tableau I une sélection de registres à décalage intégrés TTL. En ce qui concerne les registres simples (sans décalage), appelés bascules de stockage ou encore LATCH, leur nombre étant restreint, nous n'avons pas jugé utile de les faire apparaître sur un tableau. Nous citerons seulement le 7475 et le 74175, registres à 4 cellules (4 bits), ainsi que le 74174, registre 6 bits. Ces registres sont évidemment à entrée et sortie parallèles.

Afin de compléter nos précédents articles sur les compteurs, nous avons joint (tableau II) une liste de compteurs binaires et décimaux. Rappelons qu'une bascule peut être considérée aussi bien comme un compteur binaire que comme un diviseur par 2. Groupés par 4, on obtient un compteur 4 bits pouvant compter jusqu'à 16 (2<sup>4</sup>), ou un diviseur par 16. De nombreux circuits intégrés TTL sont des diviseurs autres que par 2 ou par 10 ; par exemple, le 7493 est un diviseur par 16 (diviseur par 2 + diviseur par 8).

### Addition binaire

L'addition binaire est l'opération de base dans un calculateur. Les trois autres opérations peuvent être réalisées

TABLEAU I. - Sélection de registres à décalage intégrés TTL.

Fonction	Type	Caractéristiques sommaires	Nombre de broches
Compteur binaire	7493*	4 bits, asynchrone (diviseur par 2 + diviseur par 8)	14
	74161*	4 bits, synchrone	16
	74163	4 bits, synchrone	16
	74197	4 bits, asynchrone	14
Compteur BCD	74160	Synchrone	16
	74162	Synchrone	16
	74176	Asynchrone	14
	74490	Double compteur BCD, asynchrone	16
Compteur décimal	7490	Asynchrone (diviseur par 2 + diviseur par 5)	14
Compteur/décompteur	74190	BCD synchrone	16
	74191*	Binaire 4 bits, synchrone	16
	74192	BCD synchrone	16
	74193	Binaire 4 bits synchrone	16
Diviseur (autre que par 2 ou par 10)	7490	Diviseur par 2 + diviseur par 5, asynchrone	14
	7492	Diviseur par 2 + diviseur par 6, asynchrone	14
	7493	Diviseur par 2 + diviseur par 8, asynchrone	14
	74290	Diviseur par 2 + diviseur par 5, asynchrone	14
	74293	Diviseur par 2 + diviseur par 8, asynchrone	14
	74390	Diviseur par 2 + diviseur par 5, asynchrone	16
	74393	Double diviseur par 16, asynchrone	14
* Description détaillée dans le Haut-Parleur de juillet 1985			

TABLEAU II. - Sélection de compteurs intégrés TTL.

par des additions. Une soustraction, par exemple, est équivalente à l'addition d'un nombre positif et d'un nombre négatif. La multiplication est une addition répétée. Quant à la division c'est une soustraction répétée.

En binaire, il s'agit seulement d'additionner deux bits, ce qui simplifie considérablement la table d'addition. Celle-ci tient en quatre lignes :

- 0 + 0 = 0
- 0 + 1 = 1
- 1 + 0 = 1
- 1 + 1 = 10

Les trois premières lignes sont identiques dans les deux systèmes (décimal et binaire). La dernière ligne doit se lire non pas « un plus un égale dix », mais « un plus un égale un zéro » ou mieux « un plus un égale zéro avec retenue un ».

Dans le système décimal, lorsque nous effectuons l'addition 9 + 1, le résultat est zéro dans la colonne des unités (10<sup>0</sup>) et un dans celle des dizaines (10<sup>1</sup>).

De même dans le système binaire, en additionnant 1 + 1, nous avons zéro dans la colonne des unités (2<sup>0</sup>) et un dans la colonne de rang supérieur (2<sup>1</sup>).

Effectuons l'addition 11 + 7 en binaire :

$$(11)_{10} = (1011)_2$$

$$(7)_{10} = (0111)_2$$

On pose l'opération comme en décimal :

$$\begin{array}{r} 1011 \\ + 0111 \\ \hline \end{array}$$

L'addition de la colonne de droite donne 0 avec retenue 1. Celle-ci est reportée sur la deuxième colonne en partant de la droite.

$$\begin{array}{r} 1 \\ 1011 \\ + 0111 \\ \hline 0 \end{array}$$

Cette colonne se décompose en 1 + 1 = 10, 10 + 1 = 11, la retenue de la deuxième colonne est reportée sur la troisième, et le résultat final est :

$$\begin{array}{r} 111 \\ 1011 \\ + 0111 \\ \hline 10010 \end{array}$$

La somme (10010)<sub>2</sub> est bien équivalente à (18)<sub>10</sub>.

## Multiplication binaire

Nous avons dit que la multiplication est une addition répétée. Pour multiplier 7 par 3, il suffit d'additionner 3 fois 7, ce qui est simple si les quantités à multiplier sont petites, mais ce qui devient fastidieux pour les grosses valeurs, et surtout s'il s'agit d'une addition en système binaire. Mais cette difficulté n'est rien pour l'ordinateur, qui peut effectuer les opérations les plus complexes en une fraction de seconde.

Prenons, pour illustrer l'exemple, la multiplication en binaire de (1010)<sub>2</sub> par (101)<sub>2</sub>, soit en décimal : 10 × 5.

Il suffit de placer le multiplicateur en dessous du multiplicande, comme pour une multiplication décimale :

$$\begin{array}{r} 1010 \\ \times 101 \\ \hline \end{array}$$

La multiplication de 1010 par 1 est égale à 1010 et la multiplication de 1010 par 0 est égale à 0000. On déplace chaque fois le résultat intermédiaire vers la gauche.

$$\begin{array}{r} 1010 \\ 1010 \\ 0000 \\ 1010 \\ \hline 110010 \end{array}$$

Le produit (110010)<sub>2</sub> est bien égal à (50)<sub>10</sub>.

En pratique, les lignes constituées seulement de zéros, comme ici la deuxième, ne sont pas inscrites.

La technique consiste donc d'abord à décaler d'un rang vers la gauche les résultats intermédiaires (utilisation d'un registre à décalage), puis d'additionner ces résultats.

## Soustraction binaire

La table de soustraction binaire tient également en quatre lignes :

- 0 - 0 = 0
- 1 - 0 = 1
- 1 - 1 = 0
- 0 - 1 = 1 avec retenue 1

La retenue sera soustraite au rang supérieur. Soit à soustraire (001)<sub>2</sub> de (10)<sub>2</sub>. La soustraction est :

$$\begin{array}{r} 100 \\ - 001 \\ \hline 011 \end{array}$$

La soustraction de la colonne de droite donne 1 avec retenue 1. Cette retenue est soustraite de la colonne du milieu (égale ici à zéro), ce qui a pour résultat 1 avec retenue 1. Cette dernière est soustraite à la colonne de gauche, soit 1 - 1 = 0. Le résultat est (011)<sub>2</sub>.

## Division binaire

La division est une soustraction répétée. Soit à diviser 17 par 5. On enlève de 17 trois fois la quantité 5, il reste 2. Le résultat de cette division est donc :

$$3, \frac{2}{5} \text{ ou } 3,4$$

Le calculateur comptera le nombre de fois que la soustraction peut être faite, avant que le reste soit inférieur au diviseur.

## Application des registres à décalage

Reprenons l'exemple de l'addition binaire. Nous voulons additionner deux nombres de 4 bits. Le premier, qui est (1011)<sub>2</sub>, doit être enregistré dans cette mémoire temporaire qui est un registre, afin d'être ensuite envoyé à l'additionneur pour le traitement. Ce registre doit comporter au moins 4 bascules (4 cellules élémentaires) qui ont d'abord été remises à zéro.

Après l'envoi de la quatrième impulsion de commande, le nombre binaire est enregistré et est prêt à être envoyé à l'additionneur (fig. 7).

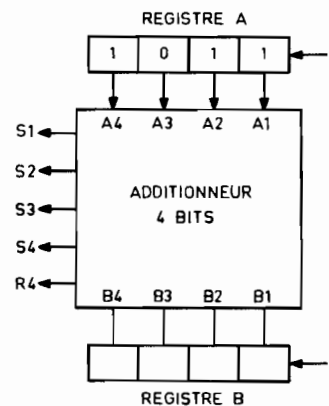


FIGURE 7. - Les deux nombres à additionner sont d'abord enregistrés dans les registres A et B.

Nous savons que si on décale un nombre binaire d'un rang vers la droite, on divise son équivalent décimal par deux. En décalant au contraire ce nombre binaire d'un rang vers la gauche, on multiplie son équivalent décimal par deux.

Considérons l'équivalent binaire de 6, cette valeur est enregistrée dans un registre à décalage (fig. 8). Si nous décalons le tout une fois vers la droite, nous avons bien une division par deux, puisque  $2^1 + 2^0 = 3$ . Un décalage d'un rang vers la gauche donne une multiplication par 2, puisque  $(1100)_2 = 12$ .

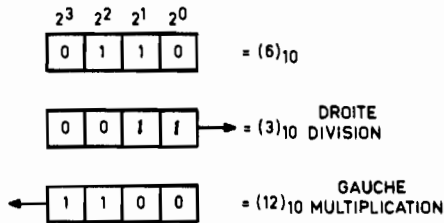


FIGURE 8. – Utilisation pour les calculs arithmétiques.

En prenant maintenant la quantité binaire  $(1111)_2$  avec le même registre, toute opération entraîne un débordement. Il faut alors adjoindre deux autres registres (fig. 9). Un décalage vers la droite divise bien la quantité par deux ( $4 + 2 + 1 + 1/2 = 7,5$ ). Deux décalages vers la gauche correspondent à

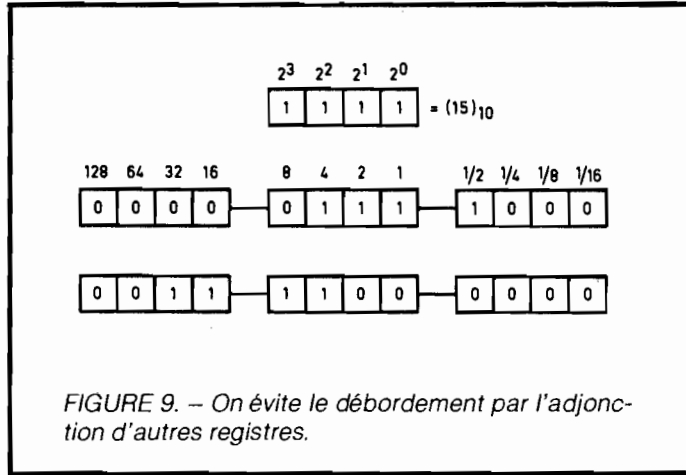


FIGURE 9. – On évite le débordement par l'adjonction d'autres registres.

une multiplication par 4 ( $32 + 16 + 8 + 4 = 60$ ).

Encore un exemple. Pour multiplier par 3 le contenu du registre de la figure 9, ce qui donnerait 45 en décimal, il faut premièrement envoyer au registre A de l'additionneur le contenu de notre registre :  $(1111)_2$ . Ensuite, par un décalage d'une fois vers la gauche, on obtient  $(11110)_2$ , soit  $(30)_{10}$ . Ce résultat partiel est envoyé au registre B de l'additionneur. Il ne reste plus qu'à recueillir à la sortie de l'additionneur le résultat, soit  $(101101)_2$ , soit encore  $(45)_{10}$ . Il va de soi que cet additionneur doit avoir une capacité d'au moins 6 bits.

### Exercice d'application

Le mois dernier, nous vous proposons de rechercher l'état à la sortie de 3 bascules d'un registre à décalage composé de trois JK dont le premier est monté en bascule D. Le signal appliqué à l'entrée série est donné figure 10.

A la fin de la septième impulsion d'horloge, l'état des bascules est :  $Q_A = 0$ ,  $Q_B = 0$  et  $Q_C = 1$  (fig. 10).

J.-B. P.

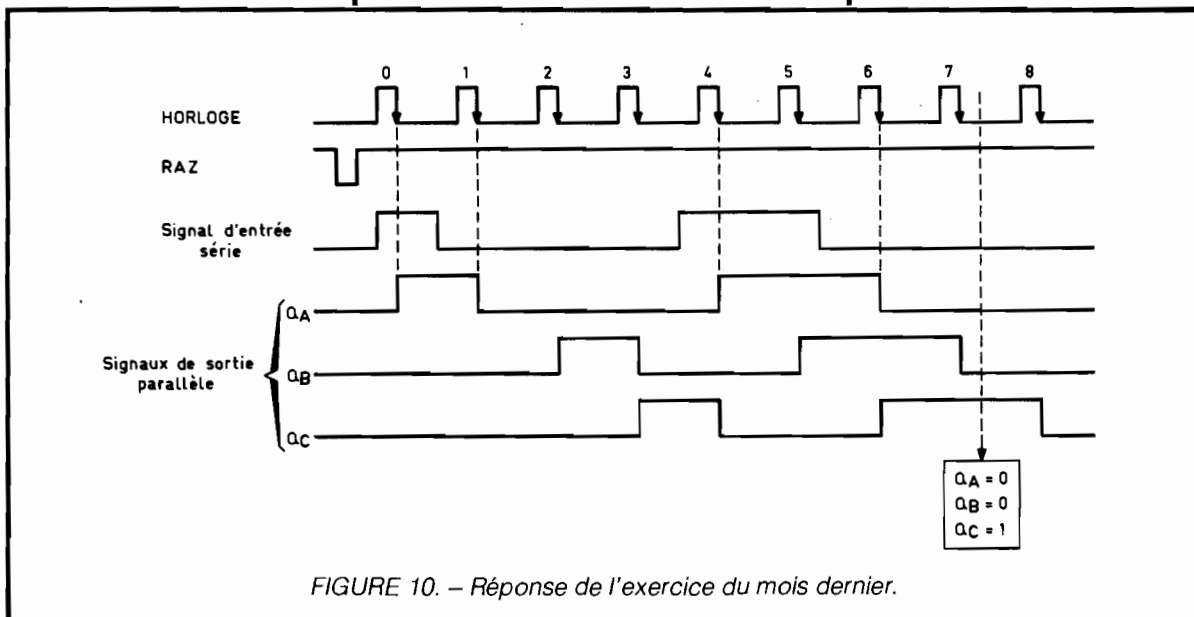


FIGURE 10. – Réponse de l'exercice du mois dernier.