

Étude de laboratoire - SLEA

Binôme A11
SIMON Léo, LEVY-FALK Hugo
Supélec, promo 2020

24 janvier 2018

Table des matières

I	Objectifs de ce TL	2
II	Étude préliminaire	2
1	Saisie du schéma du montage	2
2	Affectation des entrées et sorties	2
3	Définition des vecteurs de simulation	2
4	Simulation fonctionnelle	3
5	Simulation temporelle	3
6	Analyse temporelle	3
7	Programmation	3
III	Traitement d'un bouton poussoir	5
8	Synthèse avec une machine de MOORE	5
9	Synthèse avec une machine de MEALY	6
IV	Diviseur de fréquence	7
10	Structure du diviseur	8
11	Détermination du premier rapport de division	8
12	Compteur	8
13	Diviseur par 2	9
14	Réalisation du diviseur	9
V	Partie opérative et séquenceur	11
15	Chemin de données	11
16	Séquenceur	12
VI	Réalisation du chronomètre	14

Première partie

Objectifs de ce TL

Deuxième partie

Étude préliminaire

Afin de prendre en main le logiciel de simulation Quartus, on simule un décodeur BCD vers 7 segments.

1 Saisie du schéma du montage

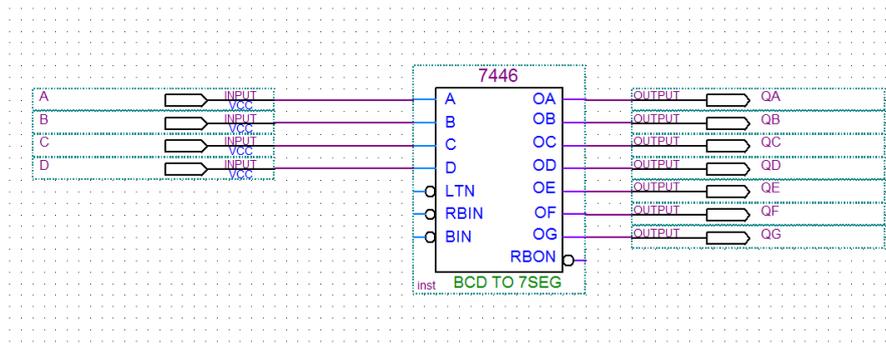


FIGURE 1 – Schéma saisi

La figure 1 montre le montage que nous simulerons. On commence par le compiler le projet une première fois, en utilisant le mode `smart compilation`.

2 Affectation des entrées et sorties

En consultant la documentation de la carte ALTERA disponible sur moodle.supelec.fr, on repère les numéros des entrées correspondants aux micro-interrupteurs à la page 12 et les numéros des sorties correspondants à l'afficheur numéro 1. On crée la table d'assignation reproduite à la figure 2.

	Node Name	Direction	Location
1	A	Input	PIN_33
2	B	Input	PIN_34
3	C	Input	PIN_35
4	D	Input	PIN_36
5	QA	Output	PIN_6
6	QB	Output	PIN_7
7	QC	Output	PIN_8
8	QD	Output	PIN_9
9	QE	Output	PIN_11
10	QF	Output	PIN_12
11	QG	Output	PIN_13
12	<<new node>>		

FIGURE 2 – Assignation des I/O

3 Définition des vecteurs de simulation

On crée un fichier `decodeur.vwf` dans lequel on spécifie les chronogrammes imposés aux entrées. Après avoir lancé la simulation on obtient les chronogrammes de la figure 3.

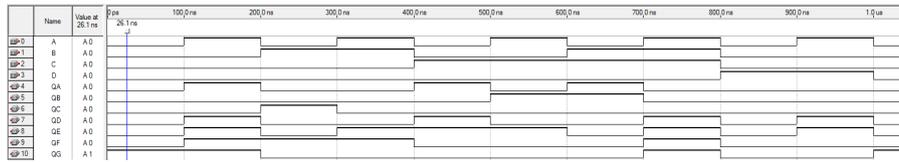


FIGURE 3 – Chronogramme obtenu par simulation fonctionnelle

4 Simulation fonctionnelle

On a lancé une simulation fonctionnelle, il n’y a pas d’aléas. D’autre part, page 9 de la documentation nous informe sur l’afficheur 7 segments.

Each LED segment of the display can be illuminated by driving the connected EPM7128S device I/O pin with a logic 0. Figure 4 shows the name of each segment.

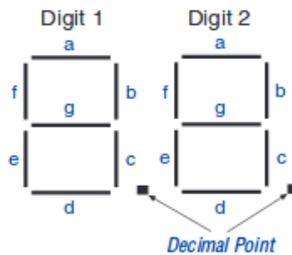


FIGURE 4 – Figure 4 de la documentation.

On vérifie ainsi que le chronogramme correspond à l’affichage des chiffres de 0 à 9.

5 Simulation temporelle

On lance ensuite une simulation temporelle. La figure 5 montre l’apparition d’aléas dûs aux temps de propagation.

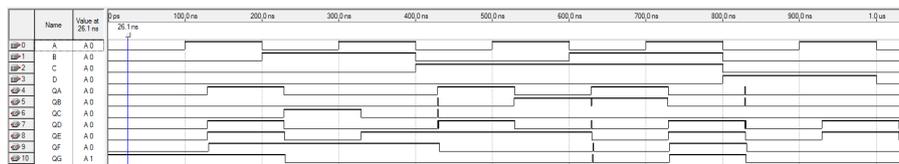


FIGURE 5 – Simulation temporelle

6 Analyse temporelle

L’analyse temporelle donne le temps de propagation entre les entrées et les sorties. La figure 6 montre que le temps de propagation est d’environ 30 ns.

7 Programmation

On programme la carte et on vérifie le fonctionnement en changeant l’état des interrupteurs, comme le montre les figures 7 et 8.

tpd					
	Slack	Required P2P Time	Actual P2P Time	From	To
1	N/A	None	31.300 ns	D	QF
2	N/A	None	31.100 ns	A	QF
3	N/A	None	31.000 ns	B	QF
4	N/A	None	30.700 ns	A	QG
5	N/A	None	30.700 ns	C	QF
6	N/A	None	30.600 ns	D	QG
7	N/A	None	30.600 ns	B	QG
8	N/A	None	30.600 ns	C	QG
9	N/A	None	29.600 ns	D	QC
10	N/A	None	29.600 ns	D	QA
11	N/A	None	29.500 ns	D	QB
12	N/A	None	29.400 ns	A	QE
13	N/A	None	29.400 ns	A	QD
14	N/A	None	29.300 ns	C	QE
15	N/A	None	29.300 ns	C	QD
16	N/A	None	29.300 ns	B	QC
17	N/A	None	29.300 ns	C	QC
18	N/A	None	29.300 ns	B	QA
19	N/A	None	29.300 ns	C	QA
20	N/A	None	29.200 ns	B	QB
21	N/A	None	29.100 ns	A	QC
22	N/A	None	29.100 ns	C	QB
23	N/A	None	29.100 ns	A	QA
24	N/A	None	29.000 ns	B	QE
25	N/A	None	29.000 ns	B	QD
26	N/A	None	28.900 ns	A	QB

FIGURE 6 – Analyse temporelle.

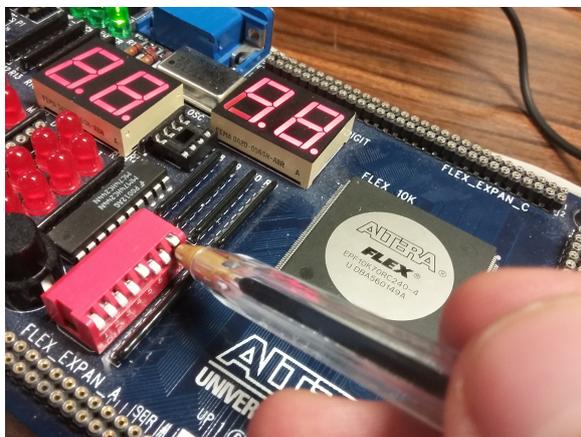


FIGURE 7 – Affichage du chiffre 9

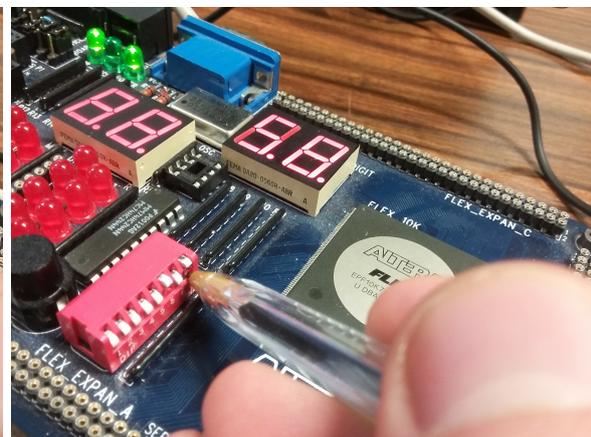


FIGURE 8 – Affichage du chiffre 5

Troisième partie

Traitement d'un bouton poussoir

Afin de détecter l'appui sur un bouton poussoir, on réalise un traitement de l'entrée associée. En effet il faut d'abord éliminer un éventuel bruit créé par les rebonds créés lors du changement de l'état du bouton et synchroniser le signal avec celui de l'horloge afin d'obtenir le signal BPS. Cette partie est réalisée avec une bascule D (on suppose donc que le bruit dure moins d'une période d'horloge). On souhaite ensuite passer la sortie à l'état haut pendant une période d'horloge sur front montant de BPS. On se propose de synthétiser cette partie avec une machine de MOORE puis avec une machine de MEALY.

8 Synthèse avec une machine de MOORE

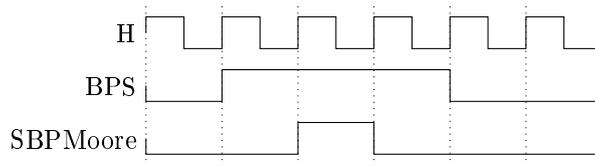


FIGURE 9 – Chronogramme recherché

On commence par résumer à l'aide d'un chronogramme le comportement recherché pour le système, représenté à la figure 9.

On souhaite réaliser une machine de MOORE, c'est à dire $S = g(E_p)$ et $E_S = f(E, E_p)$, avec S , E_p et E tels que représentés à la figure 10.

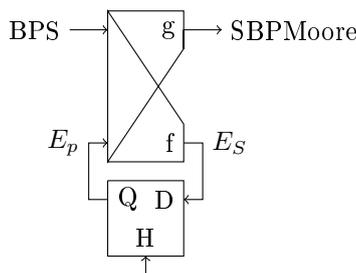


FIGURE 10 – Schéma général d'un système séquentiel synchrone

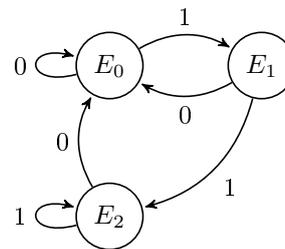


FIGURE 11 – Automate des états de la machine de MOORE

On synthétise ensuite le fonctionnement de la machine en dessinant le graphe des états, représenté à la figure 11. On obtient un graphe à trois états. Un premier état de repos, et deux autres permettant de passer la sortie au niveau 1 pendant un cycle d'horloge sur front montant de l'entrée.

On peut alors écrire le tableau des états (table 2), en utilisant le codage des états reproduit dans la table 1 (on pose $E_p = (y_1, y_0)$).

	y_1	y_0
E_0	0	0
E_1	0	1
E_2	1	0

TABLE 1 – Codage des états de la machine de MOORE

	BPS		
E_p	0	1	S
E_0	E_0	E_1	0
00	00	01	
E_1	E_0	E_2	1
01	00	10	
E_2	E_0	E_2	0
10	00	10	

TABLE 2 – Tableau des états de la machine de MOORE

On peut ensuite synthétiser l'état suivant E_S et la sortie S en fonction de BPS , y_0 et y_1 . On réalise pour cela trois tableaux de KARNAUGH (tables 3, 4 et 5).

		y_1y_0			
	BPS	00	01	11	10
0		0	0	-	0
1		1	0	-	0

TABLE 3 – Tableau de KARNAUGH pour la variable Y_0

		y_1y_0			
	BPS	00	01	11	10
0		0	0	-	0
1		0	1	-	1

TABLE 4 – Tableau de KARNAUGH pour la variable Y_1

		y_1y_0			
	BPS	00	01	11	10
0		0	1	-	0
1		0	1	-	0

TABLE 5 – Tableau de KARNAUGH pour la variable S

On peut alors obtenir l'équation de chaque variables.

$$Y_0 = BPS \cdot \bar{y}_0 \cdot \bar{y}_1 \tag{1}$$

$$Y_1 = BPS \cdot (y_0 + y_1) \tag{2}$$

$$S = y_0 \tag{3}$$

Enfin, on vérifie que le fonctionnement est celui attendu par simulation, ce que montrent les figures 12 et 13.

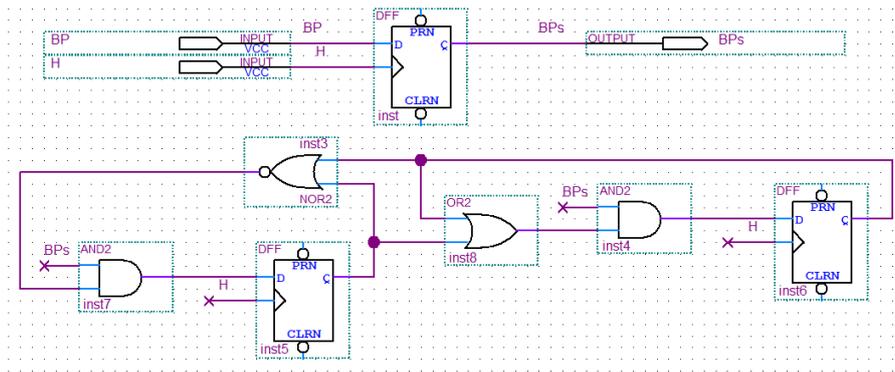


FIGURE 12 – Schéma du montage

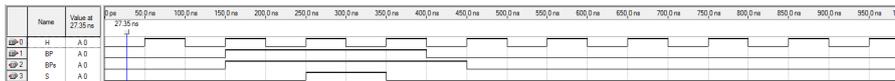


FIGURE 13 – Chronogramme de la simulation

9 Synthèse avec une machine de MEALY

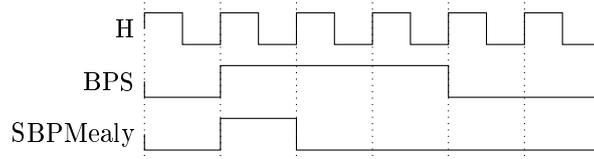


FIGURE 14 – Chronogramme recherché

On commence par résumer à l'aide d'un chronogramme le comportement recherché pour le système, représenté à la figure 14.

On souhaite réaliser une machine de MEALY, c'est à dire $S = g(E, E_p)$ et $E_S = f(E, E_p)$, avec S , E_p et E tels que représentés à la figure 15.

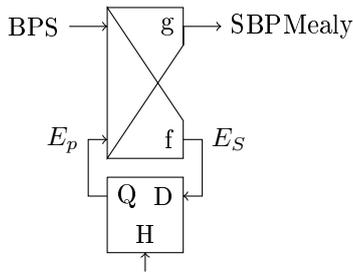


FIGURE 15 – Schéma général d'un système séquentiel synchrone

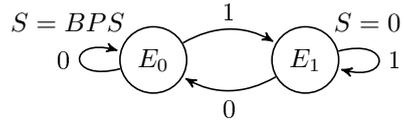


FIGURE 16 – Automate des états de la machine de MOORE

On synthétise ensuite le fonctionnement de la machine en dessinant le graphe des états, représenté à la figure 16. On obtient un graphe à deux états. Un premier état de repos qui permet de passer la sortie à l'état un dès que le bouton poussoir est enfoncé, et un autre permettant empêchant la sortie de rester au niveau haut plus d'un cycle d'horloge lors de l'appui.

On peut ensuite synthétiser l'état suivant E_S et la sortie S en fonction de BPS et E_p . On réalise pour cela deux tableaux de KARNAUGH (tables 6, 7).

		E_p	
	BPS	0	1
0		0	1
1		0	1

TABLE 6 – Tableau de KARNAUGH pour la variable E_S

		E_p	
	BPS	0	1
0		0	1
1		0	0

TABLE 7 – Tableau de KARNAUGH pour la sortie

On peut alors obtenir l'équation de chaque variables.

$$E_S = BPS \tag{4}$$

$$S = BPS \cdot \bar{E}_p \tag{5}$$

Enfin, on vérifie que le fonctionnement est celui attendu par simulation, ce que montrent les figures 17 et 18.

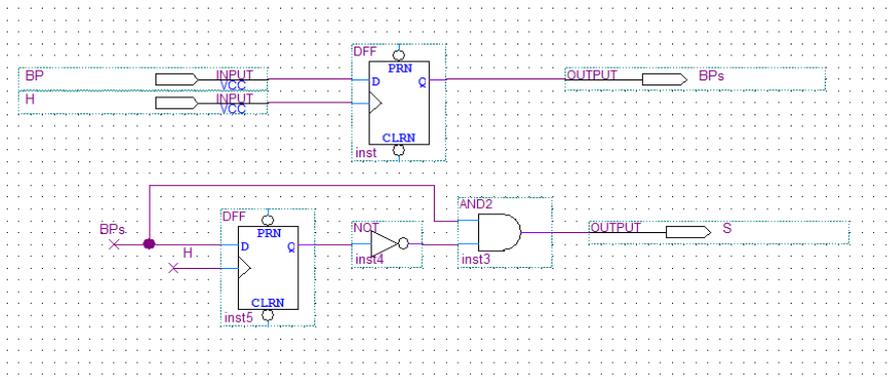


FIGURE 17 – Schéma du montage

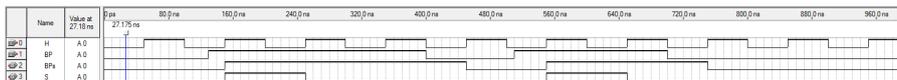


FIGURE 18 – Chronogramme de la simulation

Quatrième partie

Diviseur de fréquence

Le quartz de la carte délivre un signal d'horloge à 27.175MHz. On souhaite baisser cette fréquence à 100Hz afin de faciliter le comptage pour le chronomètre et d'offrir une expérience proche du temps réel à l'utilisateur.

10 Structure du diviseur

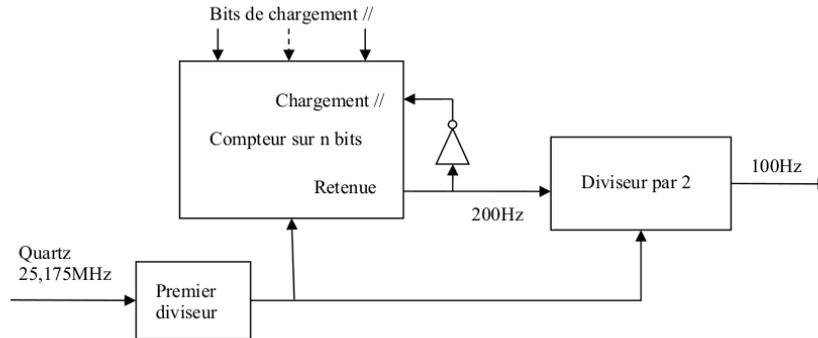


FIGURE 19 – Schéma du diviseur de fréquence.

11 Détermination du premier rapport de division

On cherche dans un premier temps à déterminer le rapport de division de fréquence que doit offrir le premier diviseur. On synthétise la première division de fréquence par la figure 20, avec α le rapport de division du premier diviseur.

$$25\ 175\ 000\ Hz \xrightarrow{\frac{1}{\alpha}} f_1 \xrightarrow{\frac{1}{\beta}} 200\ Hz$$

FIGURE 20 – Synthèse de la réduction de fréquence.

On souhaite de plus que β soit entier. Puisqu'il n'y a qu'un nombre réduit de possibilités pour le premier diviseur, on va chercher parmi les différentes valeurs possibles de α celle qui donne β entier. On a la relation $\alpha \times \beta = \frac{251\ 750}{2}$. À l'aide d'un tableur (figure 21), on détermine $\alpha = 5$ et $\beta = 25\ 175$.

alpha	2	4	8	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
beta	62938	31469	15734,38	7867,1875	125875	62937,5	41958,33333	31468,75	25175	20979,16667	17982,14286	15734,375	13986,11111	12587,5

FIGURE 21 – Utilisation d'un tableur pour déterminer α

12 Compteur

On va ensuite réaliser la division de fréquence d'un facteur β à l'aide d'un compteur 16 bits (réalisé par mise en cascade de deux compteurs 8 bits 8count). On détermine la valeur x jusqu'à laquelle le compteur 16 bits doit compter :

$$x = \frac{256 \times 256}{=65\ 536=\text{val. max de comptage}} - \beta$$

On va donc compter jusqu'à $40\ 361_{(10)} = 1001\ 1101\ 1010\ 1001_{(2)}$.



FIGURE 22 – Chronogramme du comportement recherché

13 Diviseur par 2

Afin d’avoir un rapport cyclique de $\frac{1}{2}$ on utilise un diviseur par deux en sortie. Le fonctionnement recherché est résumé par le chronogramme de la figure 22.

On synthétise alors le graphe des états correspondant (figure 23).

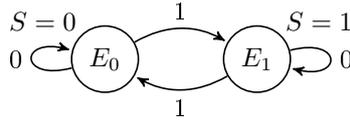


FIGURE 23 – Automate des états de la machine de MOORE

On réalise le tableau des états (table 8) et on en déduit l’équation de la sortie en fonction de l’entrée E .

E_p	Entrée		S
	0	1	
0	0	1	0
1	1	0	1

TABLE 8 – Tableau des états du diviseur par 2

On a ainsi :

$$S = \bar{E}_p \cdot E + E_p \cdot \bar{E}$$

On reconnaît l’équation d’une bascule T. On utilisera donc cette bascule pour réaliser le diviseur par deux.

14 Réalisation du diviseur

On modélise d’abord le schéma dans Quartus (figure 24).

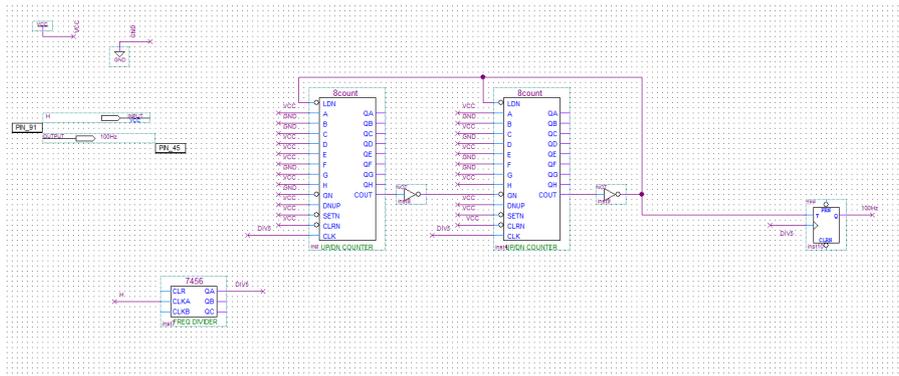


FIGURE 24 – Schéma réalisé dans Quartus

Puis on vérifie à l’oscilloscope que l’on obtient bien un signal à 100 Hz en sortie (figure 25).

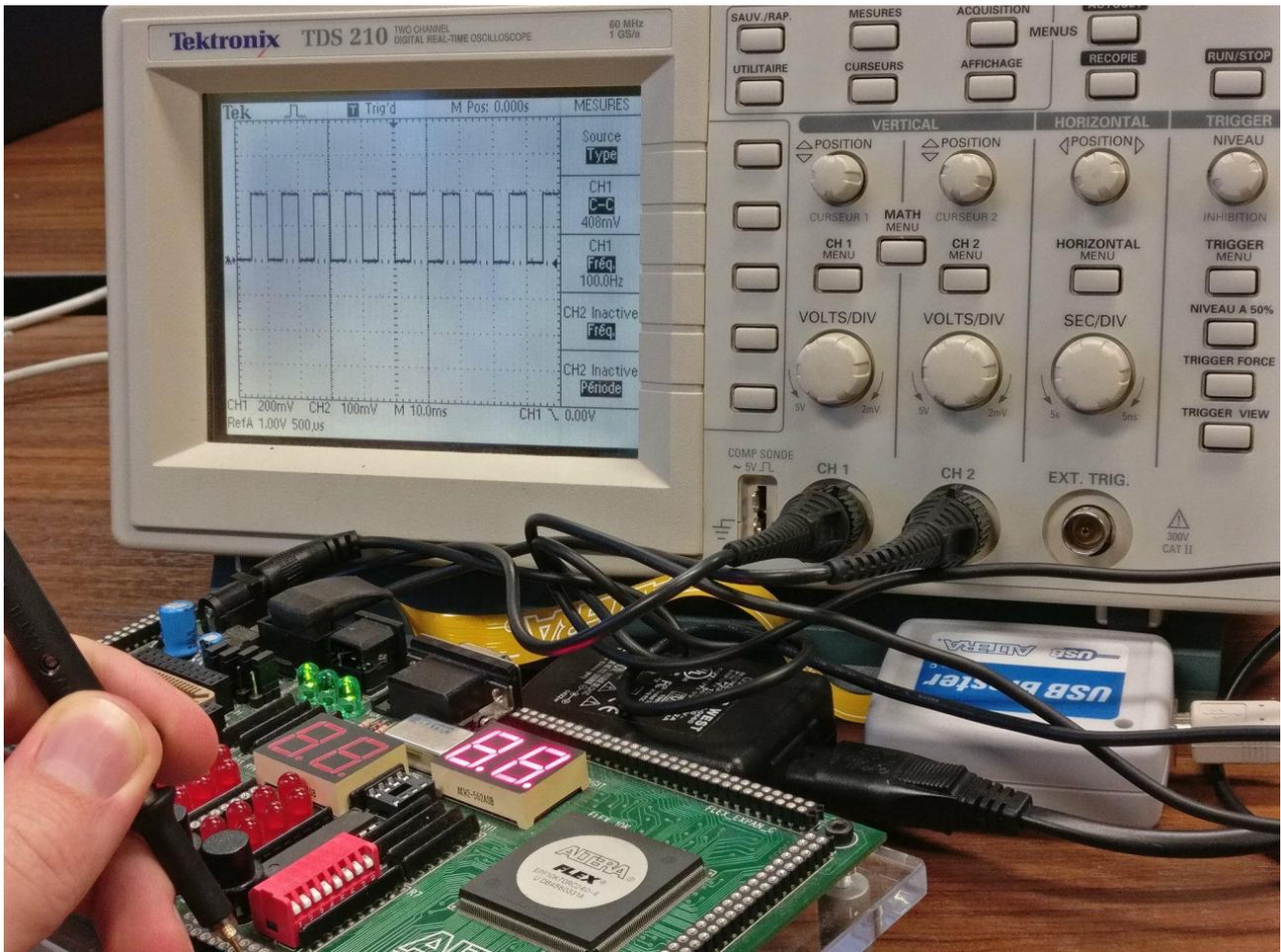


FIGURE 25 – Mesure à l'oscilloscope

Cinquième partie

Partie opérative et séquenceur

Cette partie vise à synthétiser la partie opérative et le séquenceur. La figure 26 montre l'interfaçage de ces deux parties.

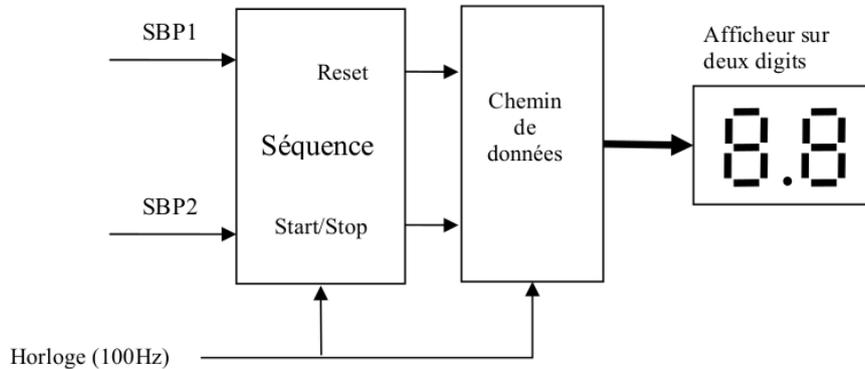


FIGURE 26 – Séquenceur et chemin de données

15 Chemin de données

On souhaite réaliser le chemin de données du chronomètre. Cette partie devra décompter le temps à partir du signal à 100Hz de l'horloge, et l'afficher sur les afficheurs 7 segments de la carte. De plus elle acceptera deux entrées : une pour réinitialiser le chronomètre et une autre pour autoriser ou stopper le décompte du temps.

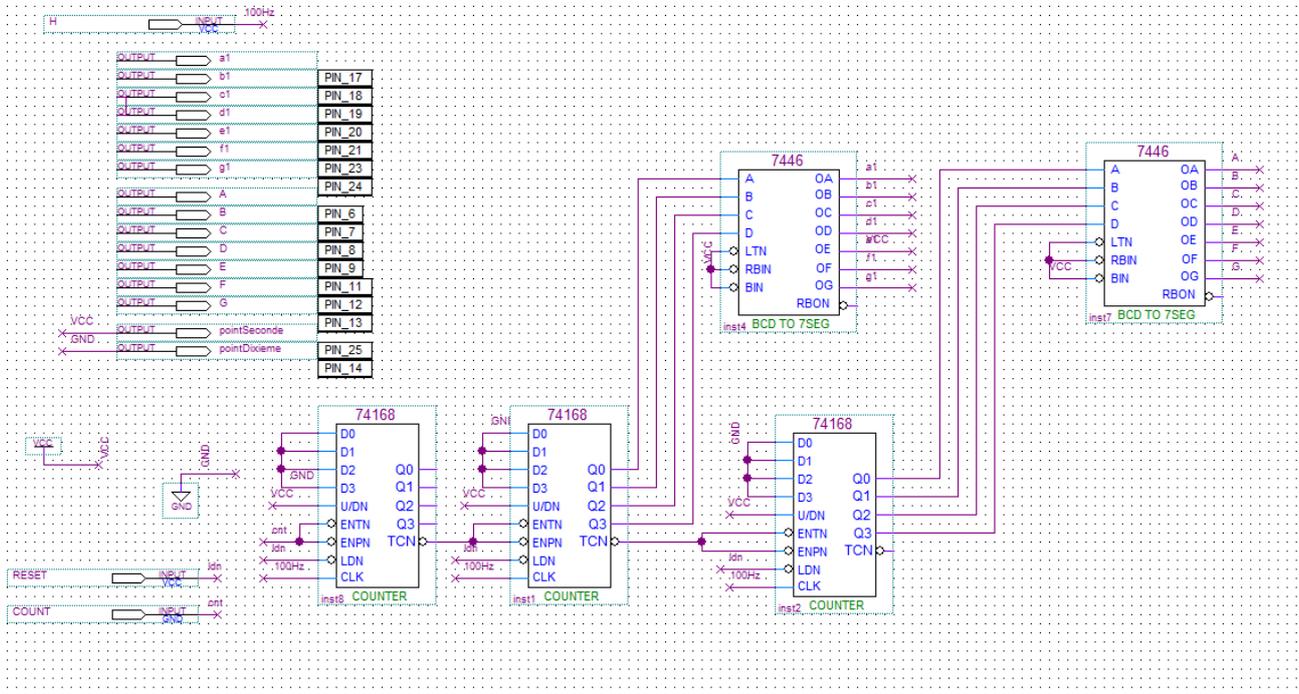


FIGURE 27 – Schéma réalisé dans Quartus

Pour réaliser le décompte du temps, on utilise une association de compteurs similaire à celle du diviseur de fréquence. Le composant utilisé est le 74168. On utilise 3 compteurs afin d'obtenir le décompte des centièmes de secondes (non affiché), des dixièmes de secondes et des secondes. On utilise des décodeurs 7446 pour piloter les afficheurs 7 segments. Le décompte est autorisé par le passage à l'état bas de l'entrée COUNT du chemin de données (reliée à ENTPN et ENPN du premier compteur 74168). On peut réinitialiser la valeur du chronomètre

en passant l'entrée RESET à l'état bas (reliée au chargement parallèle des compteurs). On obtient le schéma de la figure 27.

Afin de tester cette partie du montage, on introduit dans le bloc l'horloge à 100Hz réalisée précédemment et on fixe les valeurs de COUNT et RESET. Après téléchargement sur la carte, on vérifie que l'on obtient bien un décompte des secondes et des dixièmes de secondes (figure 28).

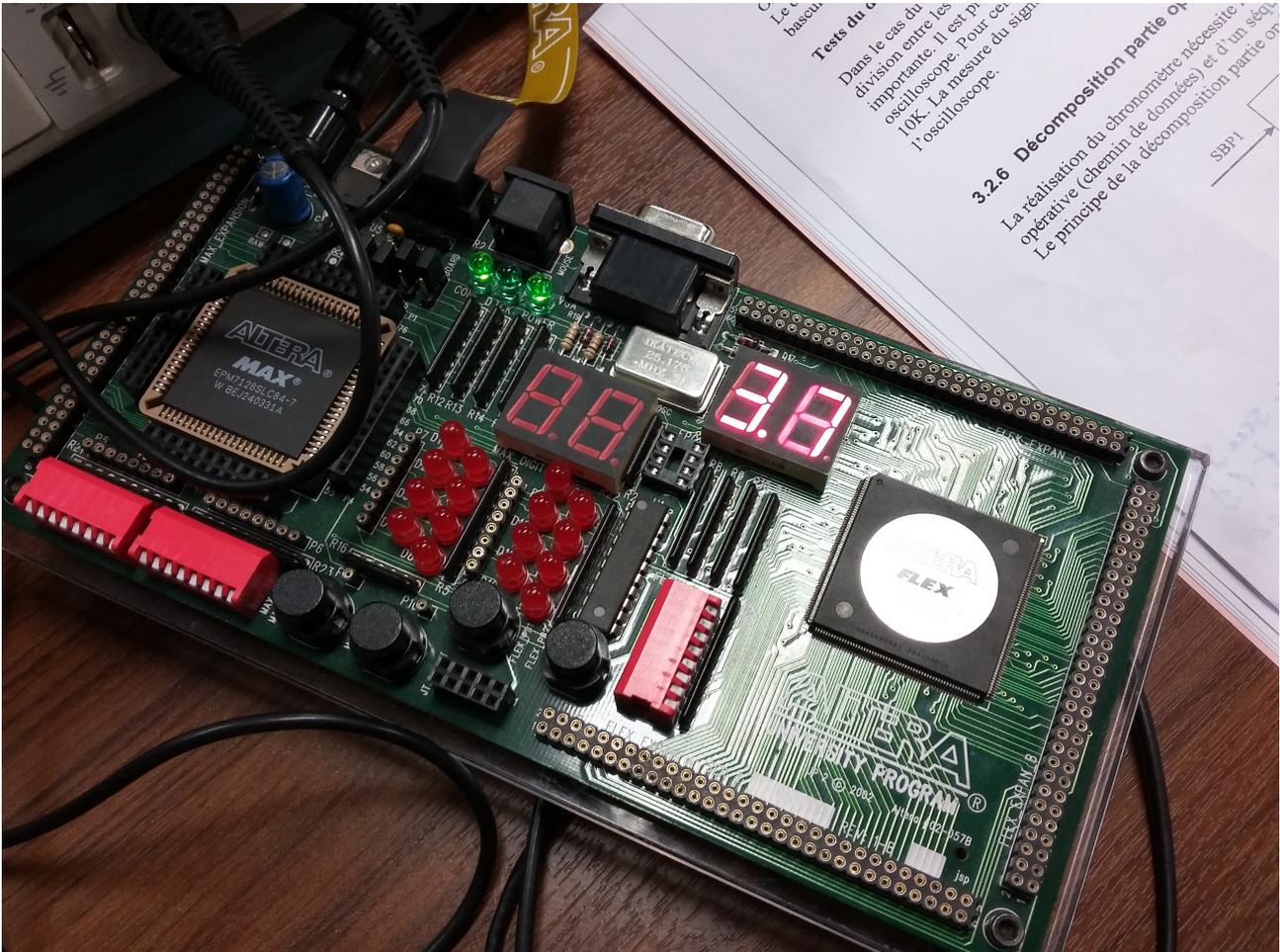


FIGURE 28 – Test du chemin de données

16 Séquenceur

On souhaite maintenant réaliser le séquenceur. Il prendra deux entrées : *SPB1* et *SBP2*, et deux sorties : *COUNT* et *RESET* qui viendront s'interfacer avec le chemin de données. On cherche le comportement suivant :

- Si l'on appuie sur *BP1* le signal *RESET* est actif (passage à zéro) ;
- Le bouton *BP2* permet de naviguer entre les modes comptage et décomptage (passage de *COUNT* à 1 ou 0).

On synthétise ce comportement en une machine de MEALY comme le montre le graphe des états en figure 29.

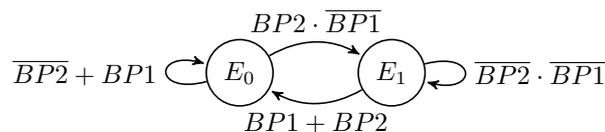


FIGURE 29 – Automate des états de la machine de MOORE

L'état E_0 correspond à un état d'attente et E_1 de comptage.

Puis on synthétise les transitions dans le tableau binaire des états représenté en table 9 (puisque'il n'y a que deux états, on se permettra de confondre E_P avec son codage sur un bit). On synthétise également l'état des

		<i>BP1 BP2</i>			
<i>E_p</i>		00	01	11	10
	0	0	1	0	0
	1	1	0	0	0

TABLE 9 – Tableau de KARNAUGH pour l'état suivant

		<i>BP1 BP2</i>			
<i>E_p</i>		00	01	11	10
	0	1	1	1	1
	1	0	0	0	0

TABLE 10 – Tableau de KARNAUGH pour *COUNT*

		<i>BP1 BP2</i>			
<i>E_p</i>		00	01	11	10
	0	1	1	0	0
	1	1	1	0	0

TABLE 11 – Tableau de KARNAUGH pour *RESET*

sorties (tables 10 et 11).

On peut alors en déduire les équations de l'état suivant et des sorties.

$$COUNT = \overline{E_P} \tag{6}$$

$$RESET = \overline{BP1} \tag{7}$$

$$E_S = \overline{BP1} \cdot (BP2 \oplus E_P) \tag{8}$$

$$\tag{9}$$

Enfin on réalise le montage sur Quartus (figure 30) et on le simule (figure 31).

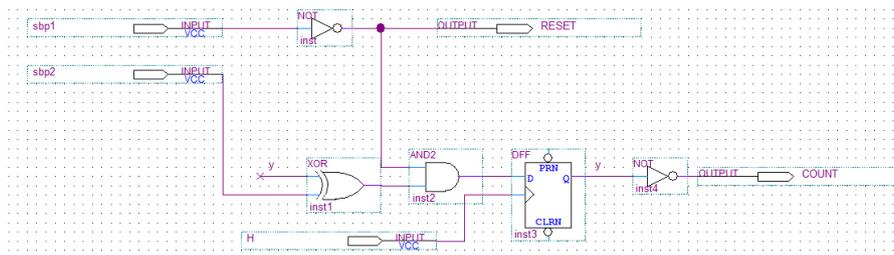


FIGURE 30 – Schéma du séquenceur

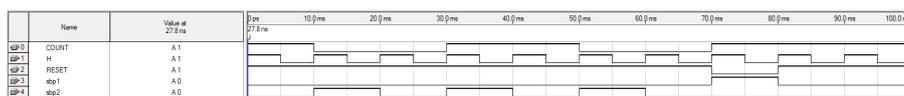


FIGURE 31 – Simulation fonctionnelle du séquenceur

Sixième partie

Réalisation du chronomètre

En assemblant les éléments synthétisés dans les parties précédentes, on obtient le schéma de la figure 32.

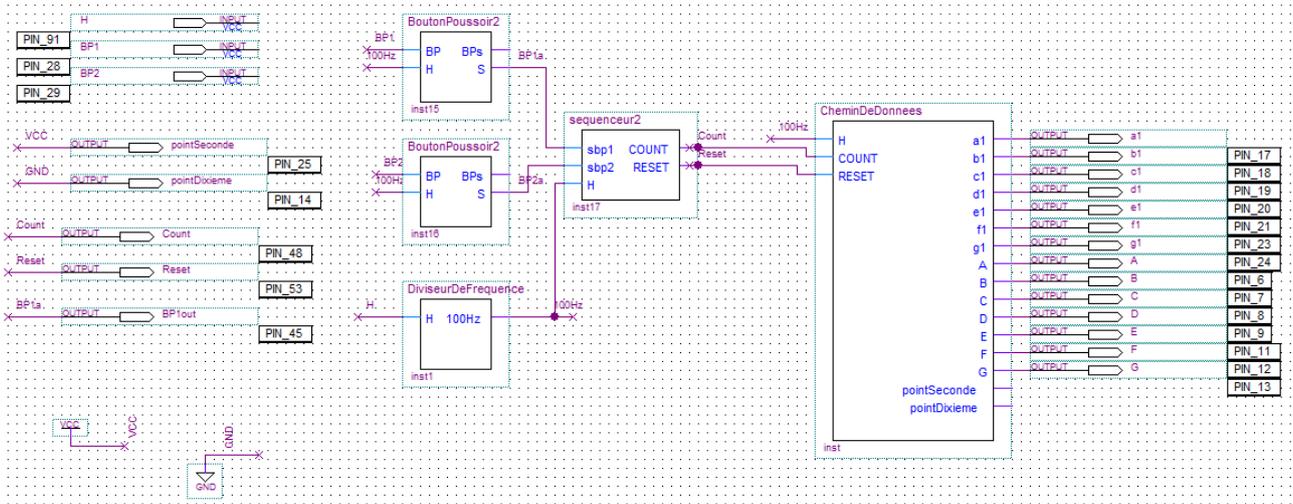


FIGURE 32 – Schéma du chronomètre

Table des figures

1	Schéma saisi	2
2	Assignation des I/O	2
3	Chronogramme obtenu par simulation fonctionnelle	3
4	Figure 4 de la documentation.	3
5	Simulation temporelle	3
6	Analyse temporelle.	4
7	Affichage du chiffre 9	4
8	Affichage du chiffre 5	4
9	Chronogramme recherché	5
10	Schéma général d'un système séquentiel synchrone	5
11	Automate des états de la machine de MOORE	5
12	Schéma du montage	6
13	Chronogramme de la simulation	6
14	Chronogramme recherché	6
15	Schéma général d'un système séquentiel synchrone	7
16	Automate des états de la machine de MOORE	7
17	Schéma du montage	7
18	Chronogramme de la simulation	7
19	Schéma du diviseur de fréquence.	8
20	Synthèse de la réduction de fréquence.	8
21	Utilisation d'un tableur pour déterminer α	8
22	Chronogramme du comportement recherché	9
23	Automate des états de la machine de MOORE	9
24	Schéma réalisé dans Quartus	9
25	Mesure à l'oscilloscope	10
26	Séquenceur et chemin de données	11
27	Schéma réalisé dans Quartus	11
28	Test du chemin de données	12
29	Automate des états de la machine de MOORE	12
30	Schéma du séquenceur	13
31	Simulation fonctionnelle du séquenceur	13
32	Schéma du chronomètre	14