

SYS2041 – Électronique numérique

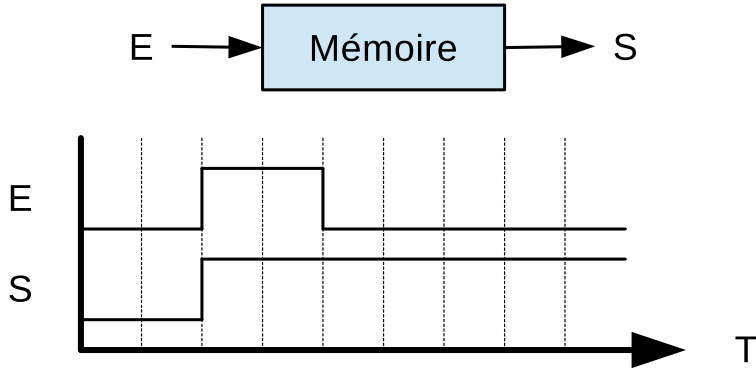
Cours 7 : Circuits séquentiels

Alexandre BRIÈRE

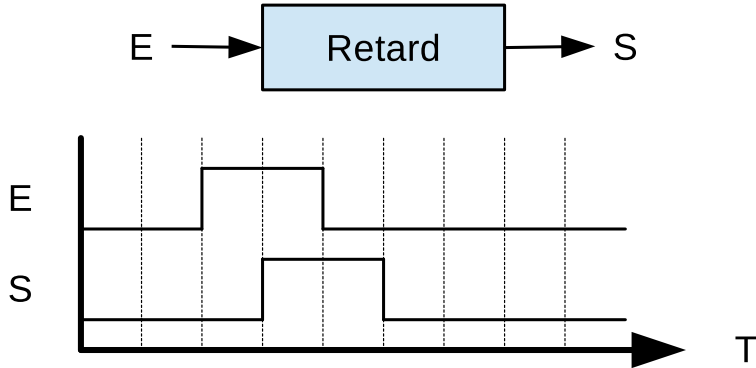


- Les circuits présentés jusqu'ici ne font pas intervenir le temps
 - ▶ Circuits « purement » combinatoires
 - ▶ Les sorties du circuit dépendent uniquement de ses entrées
- Comment prendre en compte la notion de temps ?
 - ▶ Nouvelle catégorie de circuits :
⇒ Circuits séquentiels
 - ▶ Les sorties du circuit dépendent de ses entrées ET de son état
⇒ L'état représente « l'histoire » du circuit, sa mémoire
 - ▶ Exemples :
 - Verrous
 - Bascules
 - Registres
 - Compteurs

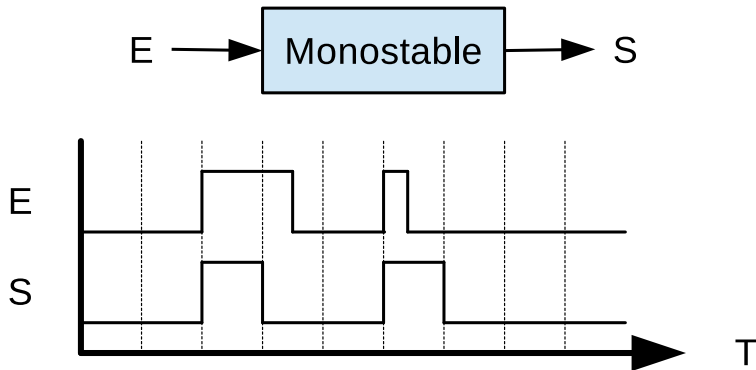
Prise en compte du temps : Mémorisation



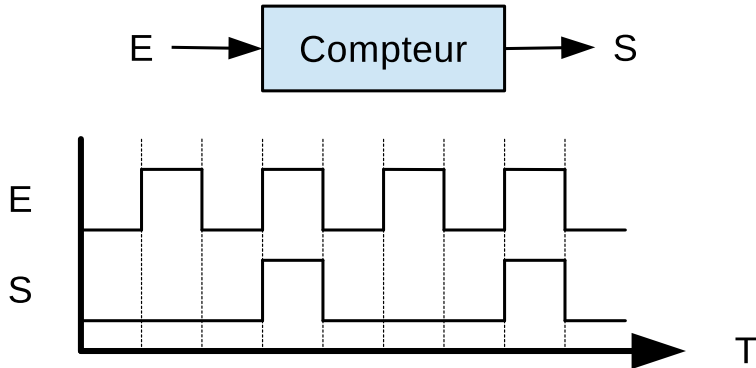
Prise en compte du temps : Retard



Prise en compte du temps : Monostable



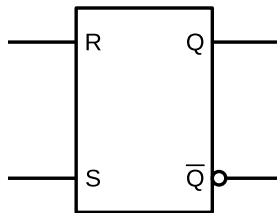
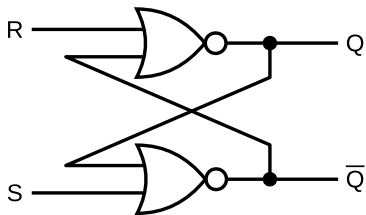
Prise en compte du temps : Compteur



- Synchrone à un évènement extérieur
 - ▶ Les changements d'état des entrées ne peuvent être pris en compte qu'à des instant précis
- Asynchrone
 - ▶ Les changements d'état des entrées sont pris en compte immédiatement

- Verrou RS
- Verrou RS à validation
- Verrou D

Le verrou RS (Reset-Set)



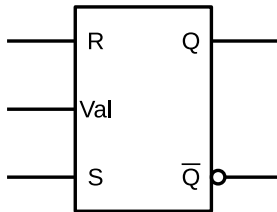
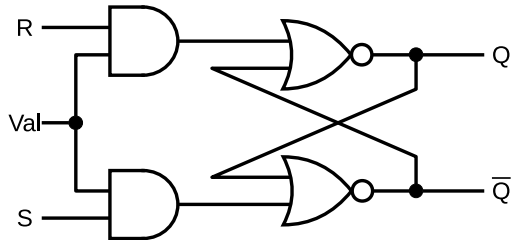
Attention, il n'y a que 2 états initiaux possibles :

$$Q = 0 \text{ et } \bar{Q} = 1$$

$$Q = 1 \text{ et } \bar{Q} = 0$$

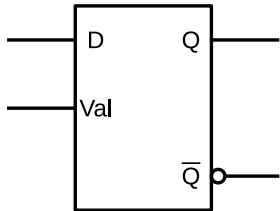
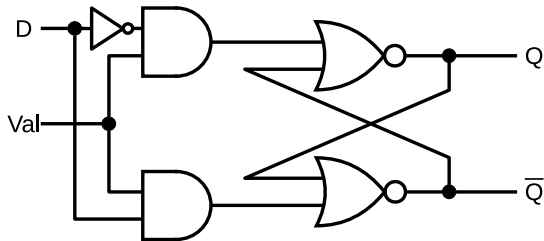
Le verrou RS à validation

Le verrou ne prend en compte R et S que si un signal Val est à 1



Le verrou D (Data)

Le verrou n'a plus qu'une entrée D (Data) et un signal Val (Validation)



- Bascule D
- Bascule JK

La bascule D

Permet de mémoriser D sur un front montant d'horloge

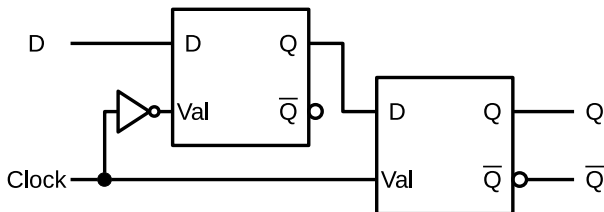


FIGURE – Construction d'une bascule D à partir de verrous D

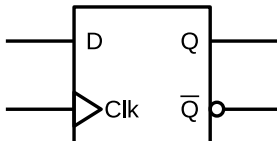


FIGURE – Symbole d'une bascule D

Code VHDL d'une bascule D

```
entity bascule is
  port (D, Clk : in std_logic;
        Q      : out std_logic);
end entity bascule;

architecture Behavioral of bascule is
begin
  process(D, Clk) is
  begin
    if Clk='1' and Clk'event then
      Q <= D;
    end if;
  end process;
end architecture Behavioral;
```

La bascule JK

J	K	Clk	Q_{t+1}	$\overline{Q_{t+1}}$
0	0	\uparrow	Q_t	$\overline{Q_t}$
0	1	\uparrow	0	1
1	0	\uparrow	1	0
1	1	\uparrow	$\overline{Q_t}$	Q_t

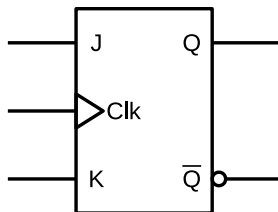


FIGURE – Symbole d'une bascule JK

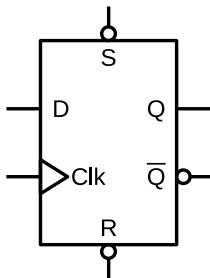
Code VHDL d'une bascule JK

```
entity bascule_JK is
    port( J, K, Clk : in std_logic;
          Q,       : inout std_logic );
end bascule_JK;

architecture behavioral of bascule_JK is
begin
    process(J, K, Clk)
        variable TMP : std_logic;
    begin
        TMP := Q;
        if (Clk='1' and clk'event) then
            if(J='1' and K='1') then
                TMP := not TMP;
            elsif(J='0' and K='1') then
                TMP := '0';
            else
                TMP := '1';
            end if;
        end if;
        Q <= TMP;
    end process;
end architecture;
```


Bascules à entrées asynchrones

Les bascules peuvent aussi dépendre d'entrées asynchrones



D	S	R	Clk	Q_{t+1}	$\overline{Q_{t+1}}$
0	1	1	\uparrow	0	1
1	1	1	\uparrow	1	0
X	0	1	X	1	0
X	1	0	X	0	1
X	0	0	X	X	X

Exemples d'applications

- Registre 4 bits
⇒ stocker une donnée sur 4 bits
- Diviseur de fréquence
⇒ générer une horloge de fréquence inférieure
- Compteur
⇒ générer un signal tout les N cycles
- Registre à décalage
⇒ stocker une donnée sur 4 bits
⇒ chargement et lecture en parallèle ou en série

Une maison est hantée par un fantôme qui chante et un qui rit sur lesquels il est possible d'agir en jouant de l'orgue ou en brulant de l'encens.

Chaque minute, chaque bruit est présent ou absent et ce que chacun d'eux fera la minute suivante dépend de la minute présente de la façon suivante :

- le chant conserve le même état sauf si pendant la minute présente l'orgue jouait sans que le rire ne se fasse entendre, dans ce cas le chant prendra l'état opposé ;
- quant au rire, si l'encens brûlait, il se fera entendre ou non selon que le chant résonnait ou non (de sorte que le rire imite le chant avec une minute de retard). Toutefois si l'encens ne brûlait pas, le rire fera le contraire de ce que faisait le chant.

On peut brûler de l'encens en permanence.

On ne peut pas jouer de l'orgue en permanence.

On ne peut pas changer à la fois l'état de l'encens et celui de l'orgue.

On entend maintenant le rire et le chant, comment les faire cesser ?

- [1] Sébastien GAGEOT et Franck CRISON :
SYS2041 : Systèmes numériques (ESIEA - Campus de Laval).
- [2] Julien DENOULET, Bertrand GRANADO et Farouk VALETTE :
2E200 : Électronique Numérique, Combinatoire et Séquentielle (Faculté des Sciences et Ingénierie de Sorbonne Université).
- [3] Thomas FLOYD :
Systèmes numériques.
Éditions Reynald Goulet, 2018.