# LES AUTOMATES

## 1. AUTOMATES SYNCHRONES

### 1.1 Généralités

On appelle automate un opérateur séquentiel dont l'état et les sorties futurs sont fonction des entrées et de l'état présent de l'automate (Figure 1). Un automate utilise des bascules non transparentes pour mémoriser l'état présent et des opérateurs combinatoires pour générer les sorties et l'état futur. L'utilisation de bascules non transparentes est nécessaire à cause du rebouclage des sorties des bascules sur les entrées à travers des circuits combinatoires.

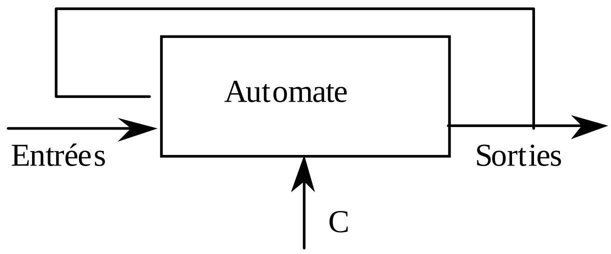


**Figure 1 : Automate synchrone**

Les automates sont dits synchrones lorsque le passage d'un état (état présent) à l'état suivant (état futur) a lieu sur une transition d'un signal appelé horloge commun à toutes les bascules de l'automate.

Il y a 2 types d'automates :

- Automate de Moore (Figure 2) : l'état futur est fonction de l'état présent et des entrées. Les sorties sont fonction de l'état présent.

- Automate de Mealy (Figure 3) : l'état futur est fonction de l'état présent et des entrées. Les sorties sont fonction de l'état présent et des entrées.

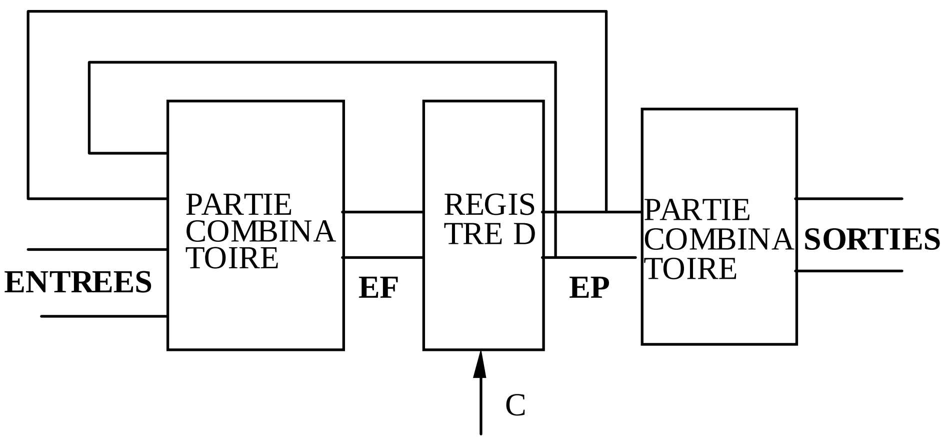


**Figure 2 : Automate de Moore**

Il y a équivalence entre les deux types d'automates : tout automate de Moore peut être transformé en automate de Mealy et réciproquement. L'automate de Mealy a toujours moins d'états que l'automate de Moore correspondant.

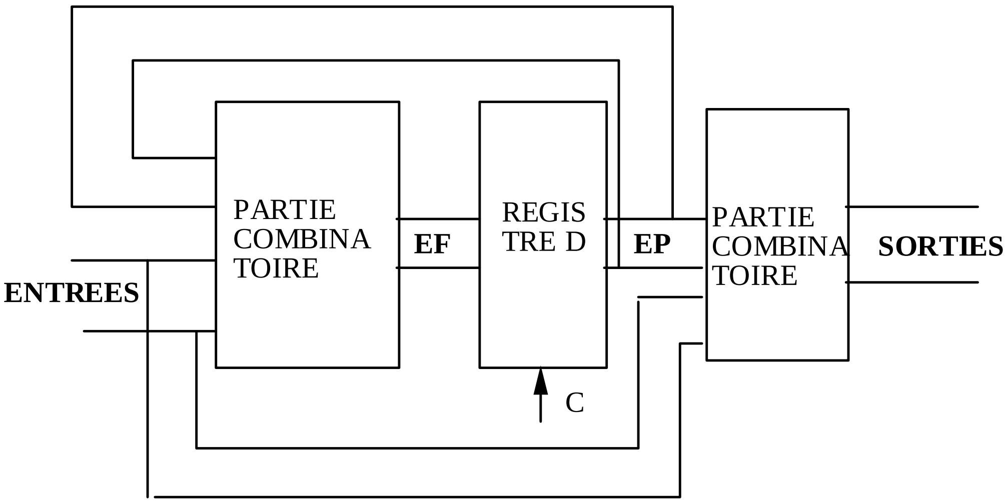


**Figure 3 : Automate de Mealy**

## 1.2 Différences Moore – Mealy

La différence entre l'automate de Moore et l'automate de Mealy est présentée via un exemple de réalisation d'automate.
Soit un automate synchrone avec une entrée E et une sortie S tel que la sortie S passe à 1 lorsque l'entrée reçoit successivement les bits 0 et 1 (reconnaissance de la séquence 01).

### 1.2.1 Version Moore

Le graphe de transition est donné par la Figure 4, où chaque état est représenté par un couple Etat/Sortie. A/0 signifie que l'état est A et la sortie associée est 0. La valeur de l'entrée est donnée sur les arêtes du graphe (transition entre un état et l'état suivant). Le diagramme de transition est donné par la Table 1.

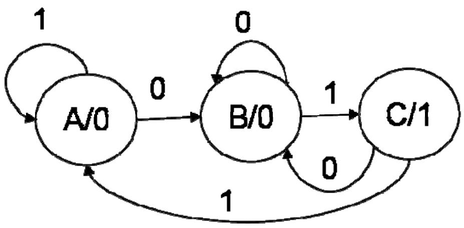


**Figure 4 : Graphe de transition pour détecter la séquence 01 (Moore).**

| X | EP | EF | Z |
|---|---|---|---|
| 0 | A | B | 0 |
| 0 | B | B | 0 |
| 0 | C | B | 1 |
| 1 | A | A | 0 |
| 1 | B | C | 0 |
| 1 | C | A | 1 |

**Table 1 : Diagramme de transition pour la séquence 01 (Moore)**

Avec le codage A (00), B (01) et C (10), le diagramme de transition codé est

| E | Q1 | Q0 | D1 | D0 | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

On obtient les expressions suivantes

$D_0 = \overline{E}$

$D_1 = E.Q_0$

$S = Q_1$

Le schéma correspondant est donné en Figure 5. Pour cet automate particulier, on remarquera que la version Mealy (voir paragraphe suivant) est un sous ensemble de la version Moore).

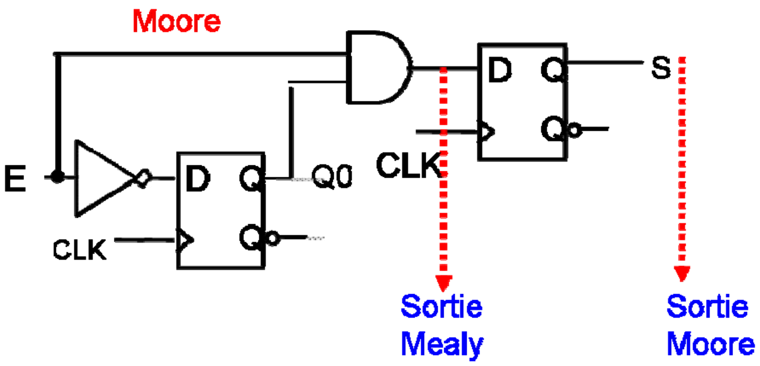


**Figure 5 : Automate de Moore pour la détection de la séquence 01**

### 1.2.2 Version Mealy

Le graphe de transition est donné par la Figure 6, où les arêtes du graphe (transition entre états) contiennent le couple E/S (Entrée / Sortie). Le diagramme de transition est donné par la Table 2 et le diagramme codé par la Table 3.

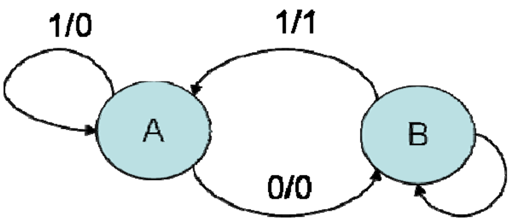


**Figure 6 : Graphe de transition pour la séquence 01 (Mealy)**

| E | EP | EF | S |
|---|---|---|---|
| 0 | A | B | 0 |
| 0 | B | B | 0 |
| 1 | A | A | 0 |
| 1 | B | A | 1 |

**Table 2 : Diagramme de transition (Mealy)**

| E | Q | D | S |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

**Table 3 : Diagramme de transition codé (Mealy)**

Les équations correspondantes sont

$D = \overline{E}$

$S = E.Q$

Le schéma correspondant est donné en Figure 7

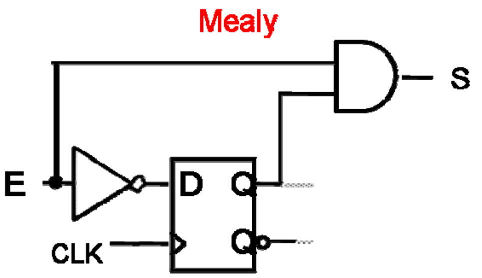


**Figure 7 : Automate de Mealy pour détecter la séquence 01.**

## 2. UN EXEMPLE D'AUTOMATE SYNCHRONE

### 1.3 .Énoncé du problème

L'automate synchrone contrôle les feux à un carrefour (Figure 8) entre une grande route et un chemin. Sur le chemin, des détecteurs repèrent la présence ou non d'une automobile en attente du feu vert.

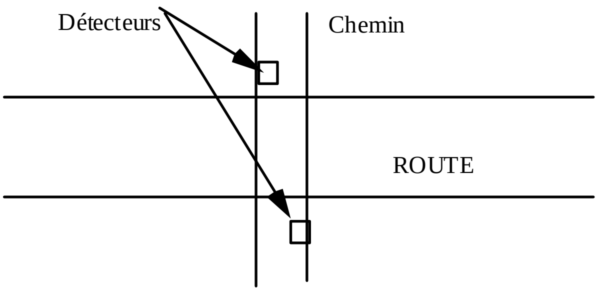


**Figure 8 : Carrefour contrôlé par automate**

Soit A la variable booléenne associée à la présence d'une automobile (A = 1 si présence, et A = 0 sinon). Le feu ne peut passer au rouge sur la route que s'il s'est écoulé au moins un temps appelé "temps long" pendant lequel un véhicule attend sur le chemin. Le feu ne peut être rouge sur la route plus longtemps que cette durée "temps long", même si des véhicules sont présents sur le chemin. Il y a un temps appelé "temps court" qui correspond à la durée du feu orange.
Soit TC la variable booléenne associé au temps court, telle que TC = 1 si le temps écoulé depuis la dernière remise à zéro du compteur est supérieur à "temps court" et TC = 0 sinon.
Soit TL la variable booléenne associé au temps long, telle que TL = 1 si le temps écoulé depuis la dernière remise à zéro du compteur est supérieur à "temps long" et TL = 0 sinon.
Avec la version Moore de l'automate pour laquelle les états internes sont associés aux sorties, les états internes sont

- RV (Feux Route Verts et Feux Chemin Rouges)
- RO (Feux Route Oranges et Feux Chemin Rouges)
- CV (Feux Route Rouges et Feux Chemin Verts)
- CO (Feux Route Rouges et Feux Chemin Oranges)

## 1.4 Graphe de transition et diagramme d'état.

Le graphe de transition est donné en Figure 9.

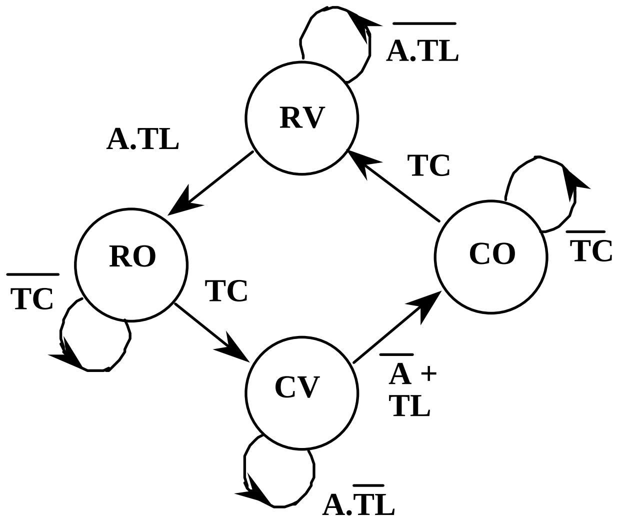


**Figure 9 : Graphe de transition**

La table de transition est donnée en Table 4. Les codes utilisés pour la table de transition et les sorties sont données respectivement par les Table 5 et Table 6. La Table 7 donne la version codée de la table de transition.

| État présent | Entrées | État futur | Sorties | | Compteur |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | FR | FC | RAZ |
| Route Vert | $\overline{A}$ | Route Vert | V | R | OUI |
| | A et TL=0 | Route Vert | V | R | NON |
| | A et TL=1 | Route Orange | V | R | OUI |
| Route Orange | TC=0 | Route Orange | O | R | NON |
| | TC=1 | Chemin Vert | O | R | OUI |
| Chemin Vert | $\overline{A}$ | Chemin Orange | R | V | OUI |
| | A et TL=0 | Chemin Vert | R | V | NON |
| | A et TL=1 | Chemin Orange | R | V | OUI |
| Chemin Orange | TC=0 | Chemin Orange | R | O | NON |
| | TC=1 | Route Vert | R | O | OUI |

**Table 4 : Diagramme de transition**

| État présent | | |
|---|---|---|
| $Q_1$ | $Q_0$ | |
| 0 | 0 | Route Vert |
| 0 | 1 | Route Orange |
| 1 | 0 | Chemin Vert |
| 1 | 1 | Chemin Orange |

**Table 5 : Codage des états de l'automate**

| Couleur des feux | | |
|---|---|---|
| $F_1$ | $F_0$ | |
| 0 | 0 | Vert |
| 0 | 1 | Orange |
| 1 | 1 | Rouge |

**Table 6 : Codage des sorties de l'automate**

### 1.4.1 Implantation matérielle.

L'automate correspondant au diagramme de transition est implanté avec des bascules et des portes logiques. L'implantation avec des bascules D donne les expressions suivantes des entrées $D_0$ et $D_1$ des bascules (état futur) en fonction des termes produit qui dépendent de l'état présent $Q_1$,$Q_0$ et des entrées A,TC,TL.

$D_0 = m_2 + m_3 + m_6 + m_7 + m_8$

$D_1 = m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8$

où $m_i$ correspond aux termes produit (mint) de la table 7.

$D_1 = Q_0.\overline{TC} + \overline{Q_0}.A.TL + Q_1.\overline{Q_0}.\overline{A}$

$D_0 = Q_1.\overline{Q_0} + Q_1.Q_0.\overline{TC} + \overline{Q_1}.Q_0.TC$

$FR_1 = Q_1$

$FR_0 = Q_0 + Q_1$

$FC_1 = \overline{Q_1}$

$FC_0 = Q_0 + \overline{Q_1}$

$RAZ = m_0+m_2+m_4+m_6+m_7+m_9$

$RAZ = TC.\,Q_0 + (\overline{A} + TL)\overline{Q_0}$

Le schéma global de l'automate est donné en Figure 10. Il combine un aspect Moore (les sorties $FR_0$, $FR_1$, $FC_0$ et $FC_1$ sont fonction uniquement de l'état présent de l'automate) et un aspect Mealy (la sortie RAZ est fonction de l'état présent et des entrées de l'automate).

| Entrées | | | EP | | EF | | Sorties | | | | | Mint. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | TC | TL | $Q_1$ | $Q_0$ | $D_1$ | $D_0$ | RAZ | $FR_1$ | $FR_0$ | $FC_1$ | $FC_0$ | |
| 0 | Ø | Ø | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | Ø | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | Ø | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Ø | 0 | Ø | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| Ø | 1 | Ø | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 1 | Ø | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| 1 | Ø | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 |
| 0 | Ø | Ø | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7 |
| Ø | 0 | Ø | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 8 |
| Ø | 1 | Ø | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 9 |

**Table 7 : Diagramme de transition après codage des états et des sorties**

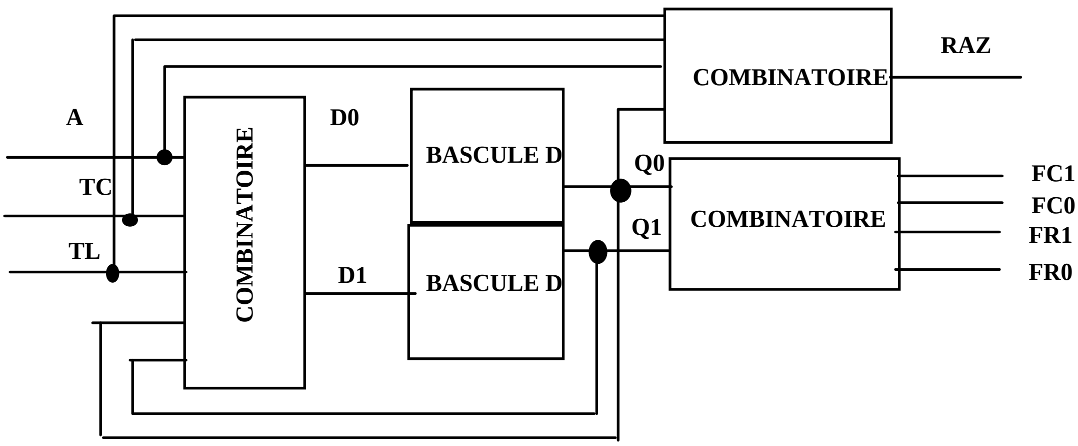


**Figure 10 : Automate pour le contrôleur de feux**

Les entrées TC et TL sont des sorties de comparateurs (Figure 11)

 

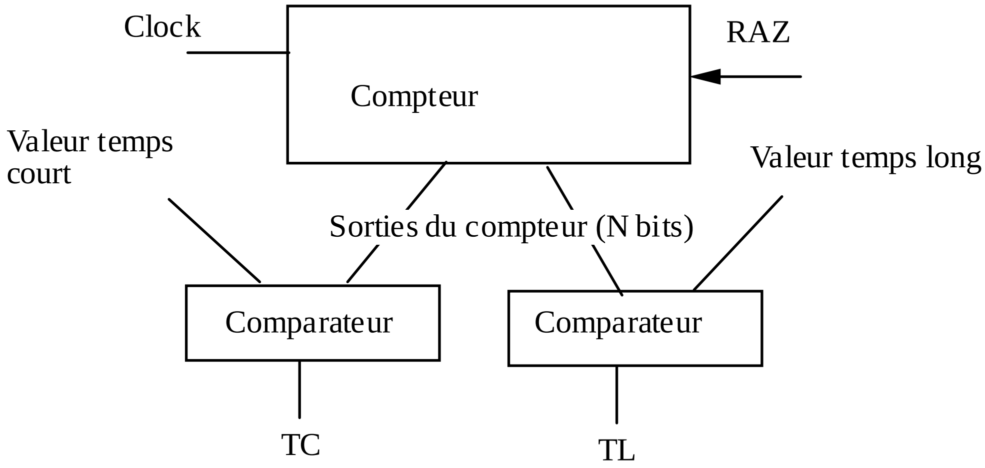


**Figure 11 : génération de TC et TL**