

**Objectifs**

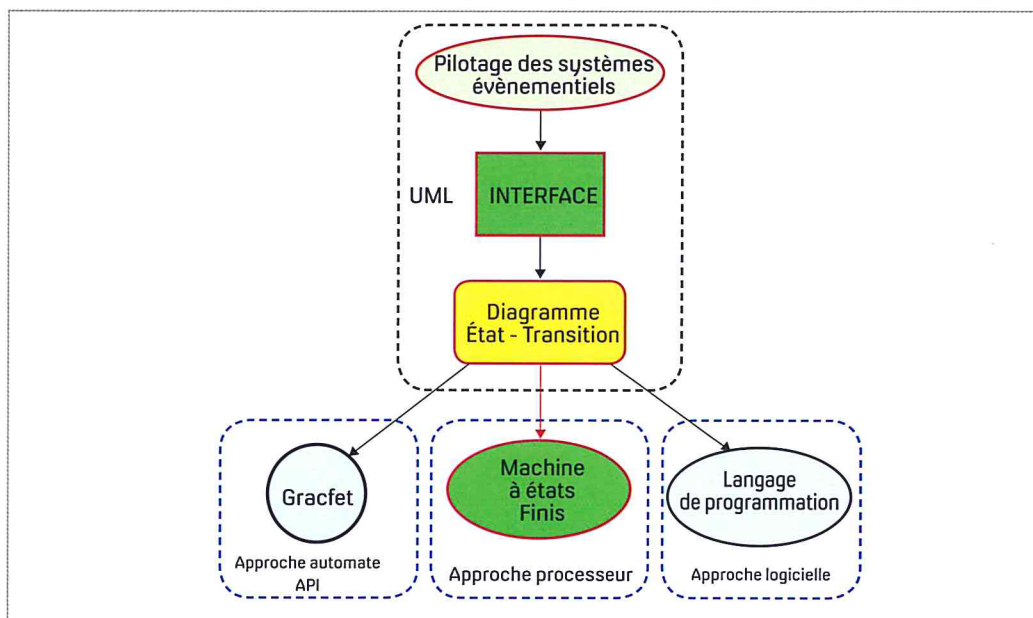
- Décrire un processus de commande événementiel sous la forme d'un diagramme d'états
- Décrire un processus de commande à événements sous la forme d'une machine à états finis (MAE)
- Programmer une cible (automates ou processeurs) à partir d'une MAE

**18****PILOTAGE  
DES SYSTÈMES ÉVÉNEMENTIELS****1** **Domaine d'application**

Le domaine d'application du traitement événementiel des processus s'étend de la conception automatique en électronique au protocole de communication en passant par les domaines comme la biologie ou l'intelligence artificielle. Le pilotage des systèmes par événement peut aussi trouver des applications dans les systèmes neuronaux ou linguistiques.

**2** **Présentation de la synthèse logique**

Il existe plusieurs méthodes permettant de réaliser un circuit de pilotage d'un système à partir d'un cahier des charges ou d'une description d'un processus.



**Fig. 1** Représentation fonctionnelle de la programmation événementielle

Cette description fait apparaître la nécessité d'associer des étapes de développement pour établir le circuit final de commande.

Un diagramme états-transitions est une représentation graphique utilisée en génie logiciel pour représenter des automates déterministes. Cette représentation fait partie du modèle UML. Ce mode de description présente l'avantage d'être directement transposable en algorithme puis en langage évolué.

Les éléments constituant un diagramme d'état transitions sont :

- ▶ un événement ;
- ▶ une condition de garde ;
- ▶ une liste d'actions.

Le pilotage automatique d'un avion de ligne permet d'atteindre une économie de carburant d'environ 10 % par rapport à un pilote expérimenté. L'asservissement des commandes concerne trois paramètres : le cap, la vitesse et l'altitude.

### 3 Approche SysML

Le diagramme permet de représenter des automates d'états finis, sous la forme de graphes d'états. Les états sont reliés par des arcs de flèches orientés décrivant des transitions. Ainsi les diagrammes d'états-transitions permettent de montrer les changements d'état d'un objet ou d'un composant soumis à des événements provenant d'autres objets ou composants.

#### Les états-transitions

Un état se caractérise par sa durée et sa stabilité.

Une transition est le plus souvent déclenchée par un événement mais peut se dérouler de manière automatique, elle se déroule de façon instantanée.

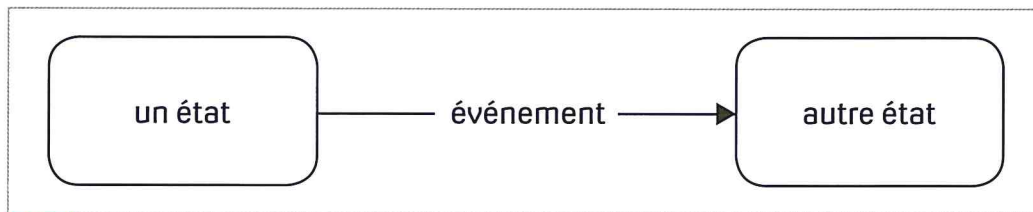


Fig. 2 État-transition SysML

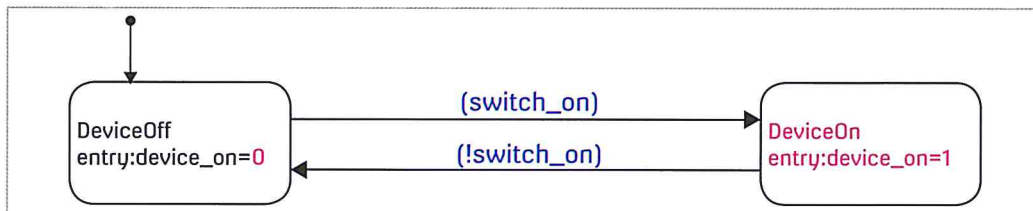


Fig. 3 Modélisation Matlab/Simulink « Marche/Arrêt d'un système »

### 4 Pilotage événementiel asynchrone

**Ballon-sonde expérimental : description du système de largage de la nacelle secondaire par la chaîne principale.**

Largage sous parachute de la nacelle secondaire à 800 mètres d'altitude par la chaîne de vol principale. La nacelle secondaire effectue des prises de vue photos en vue d'établir une cartographie de l'aire de lancement, elle est aussi équipée d'un système de signalisation sonore et lumineuse pour la récupération.

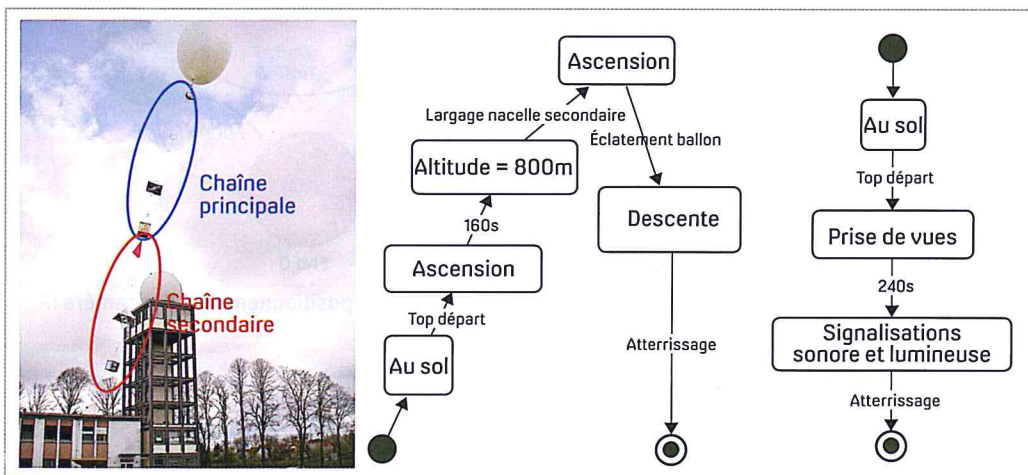


Fig. 4 Représentation du déroulement d'un vol avec nacelle secondaire

INFORMATIONS

## 5 Pilotage événementiel synchrone

### a Pilotage du système de surveillance vidéo du Robovolc

La caméra infrarouge est montée sur le support du rotor du moteur pas à pas. La commande SENS permet de faire pivoter sur l'axe horizontal la caméra de droite à gauche. Un autre moteur du même type effectue la même opération sur l'axe vertical (non étudié). L'horloge CMF permet d'augmenter la vitesse de rotation du moteur. Deux capteurs « fin de course droite » (FDCD) et « fin de course gauche » (FDCG) servent de butées pour arrêter le moteur.

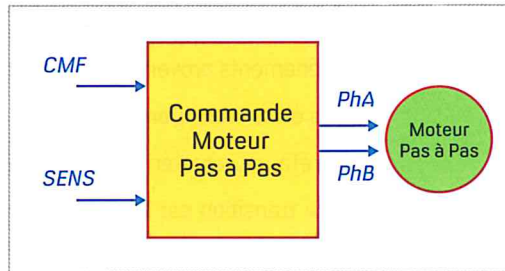


Fig. 5 Schéma fonctionnel de pilotage événementiel

### b Chronogrammes de fonctionnement et machine à états finis

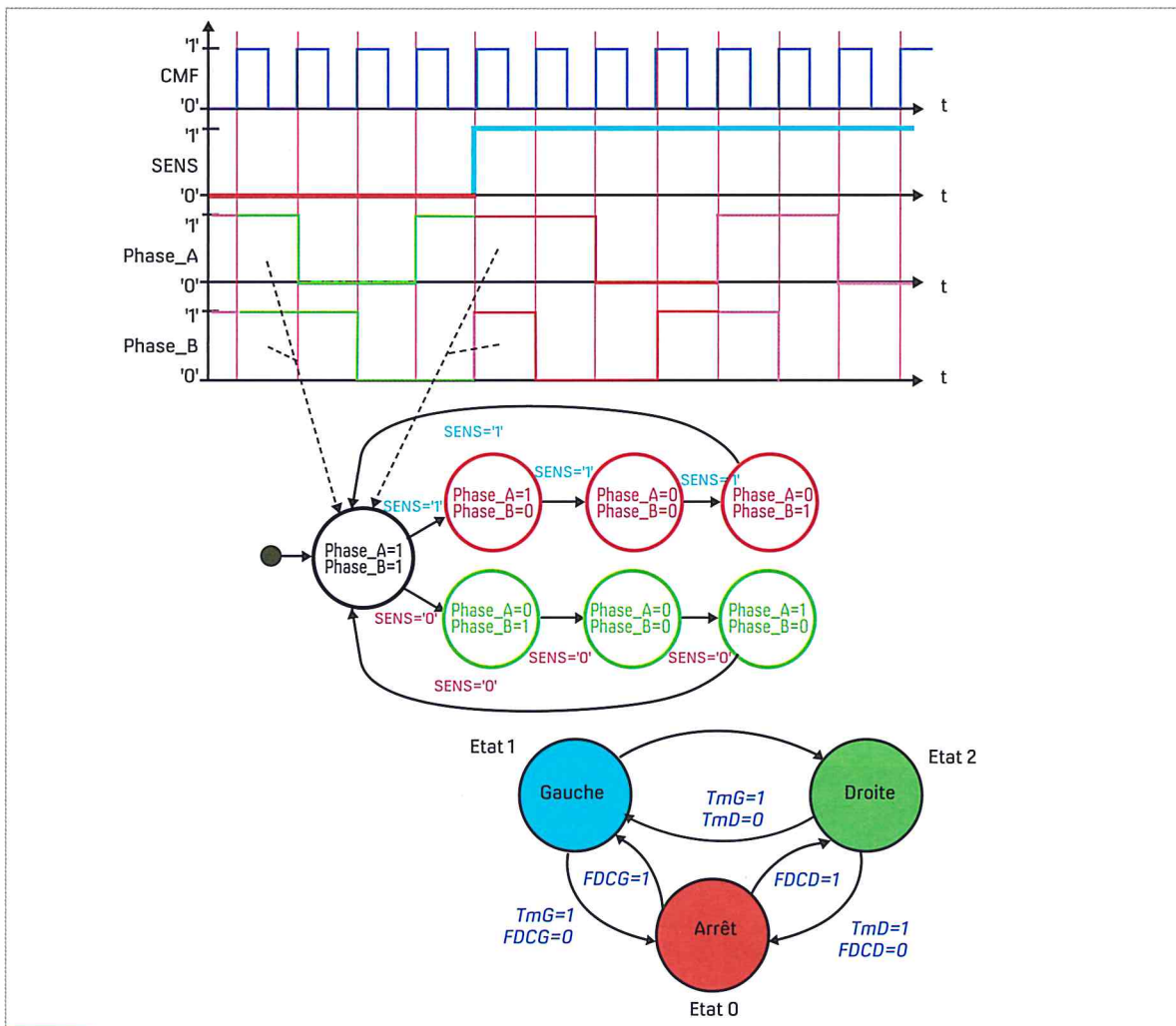


Fig. 6 Diagrammes d'états de gestion du moteur pas à pas et du positionnement de la caméra IR

À chaque état stable du chronogramme de fonctionnement lui correspond un état fini de machine.

On parcourt le chronogramme d'un état initial à un état final. Le déroulement de la séquence de fonctionnement peut être asynchrone (seulement déclenché sur l'événement d'entrée), mais peut être aussi synchronisé sur l'horloge (non représenté sur le diagramme d'état).

## 6 Organisation du contrôle des opérations

Pour élaborer une fonction de type arithmétique ou logique, on peut faire appel :

- ▷ à la logique combinatoire, sans fonction de mémorisation ;
- ▷ à la logique séquentielle, possédant une fonction de mémorisation.

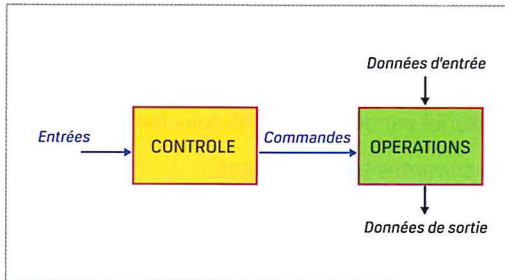


Fig. 7 Synoptique de commande d'une fonction numérique

L'un des moyens les plus efficaces d'assurer le contrôle des opérations est l'utilisation des **machines à état ou MAE** (en anglais : FSM pour *Finite State Machine*).

Cette méthode d'élaboration de la commande est un séquenceur, automate fini. Elle permet la génération de signaux de contrôle dans un processus à commander.

## 7 Commande des dispositifs numériques

La vitesse d'exécution est un des paramètres résultant de l'architecture de conception du système numérique.

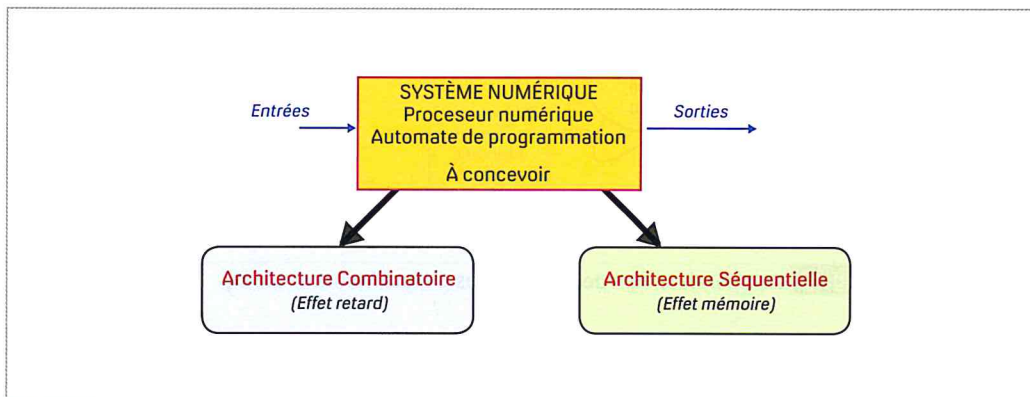


Fig. 8 Architecture des systèmes numériques à commander

L'architecture séquentielle des processus peut se distinguer en deux catégories, les systèmes synchrones où l'horloge cadence les transitions et valide les événements, et les systèmes asynchrones où l'horloge est absente et où les états dépendent simplement des changements d'état des entrées et de l'état du système.

L'architecture combinatoire est dépourvue d'horloge permettant le cadencement des événements et des changements d'états

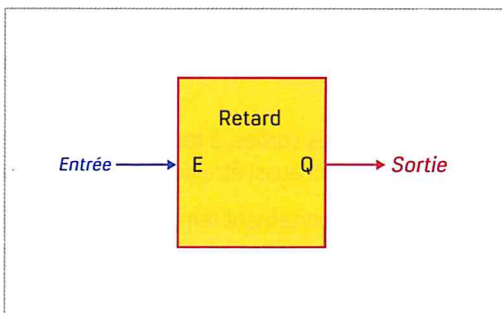


Fig. 9a Architecture combinatoire

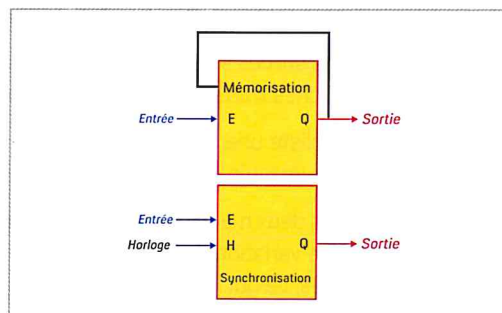


Fig. 9b Architecture séquentielle

## 8 Machine à nombre fini d'états

Cette représentation participe à un système dynamique où le système peut se trouver à chaque instant dans une position parmi un nombre fini d'états.

Les cycles du processus sont effectués lors de transitions déclenchées éventuellement par une horloge de synchronisation.

Il existe deux moyens pour établir une description de commande à travers une machine d'état.

Chaque valeur du registre d'état est représentée par une « bulle ».

Le déroulement du processus est représenté par des transitions sous forme de flèches.

La transition est active si les conditions suivantes sont satisfaites :

- ▶ le processus se trouve dans un état de départ considéré ;
- ▶ la condition sur l'entrée est vraie ;
- ▶ il y a apparition du front d'horloge.

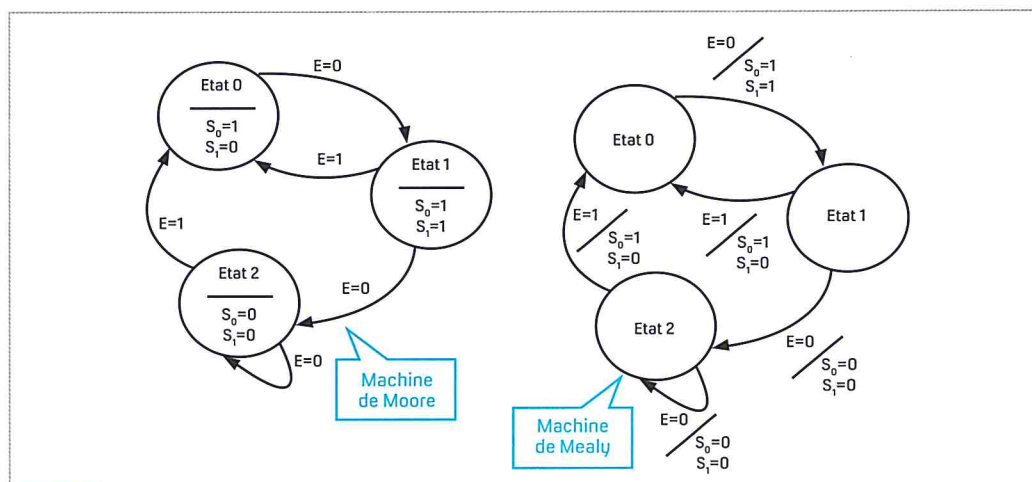


Fig. 10 Comparaison des deux machines d'états Moore et Mealy

### a La machine de Moore

Les sorties dépendent des états courants. La fonction combinatoire traite les entrées de l'état précédent des sorties et alimente la fonction combinatoire pour l'élaboration des états de sorties.

**L'horloge conditionne les changements d'état de la machine de Moore.**

Dans une **machine de Moore**, les sorties changent d'état de manière **synchrone** sur le front d'horloge.

### b La machine de Mealy

La sortie peut changer d'état lors d'un changement de la sortie de manière indépendante de l'horloge.

**La machine de Mealy est asynchrone.**

Les sorties s'actualisent après l'évolution des entrées. Les valeurs des sorties sont représentées sur les flèches transitions du diagramme.

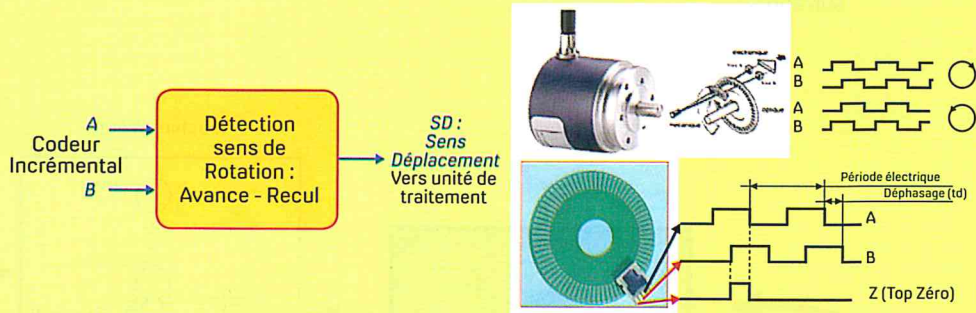
Il existe une équivalence fonctionnelle et sur les entrées sorties, à toute machine de Moore correspond une machine de Mealy et réciproquement. Elles peuvent aussi être déduites l'une de l'autre.

Les deux machines n'ont cependant pas le même comportement temporel. Dans une machine de Mealy, une variation de l'entrée entraîne immédiatement une variation en sortie au temps de retard des portes près, ce qui lui permet d'être plus rapide que la machine de Moore.

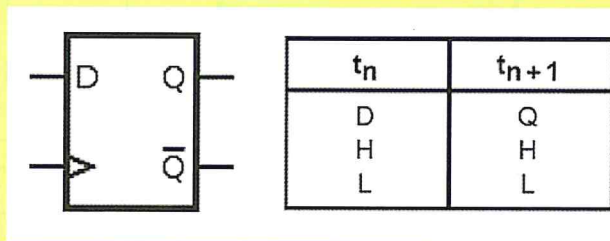
La machine de Moore, quant à elle, doit attendre le front d'horloge pour actualiser les états et les sorties.

**ACTIVITÉ 1** Calcul de la vitesse de déplacement du Robovolc via un codeur incrémental

Le Robovolc possède un système d'indication de sens de déplacement (Avant/Arrière) et de calcul de vitesse de déplacement composé d'un codeur optique incrémental placé sur l'axe de transmission. On se propose d'étudier la fonction sens de déplacement.



On donne la table de fonctionnement de la bascule D.



À chaque front montant de l'horloge, la sortie non complémentée recopie l'état de l'entrée.

1. Montrer que l'on peut assurer cette fonction en utilisant une bascule D.
2. Tracer le chronogramme de sortie en fonction des deux signaux A et B.
2. Établir la machine à états finis de ce dispositif.

**9 Synthétisation et solution de mise en œuvre**

**a Les composants cibles**

Les outils de développement et de simulation propriétaire ou générique permettent la description des processus de commandes événementiels et l'implémentation dans des cibles matérielles.

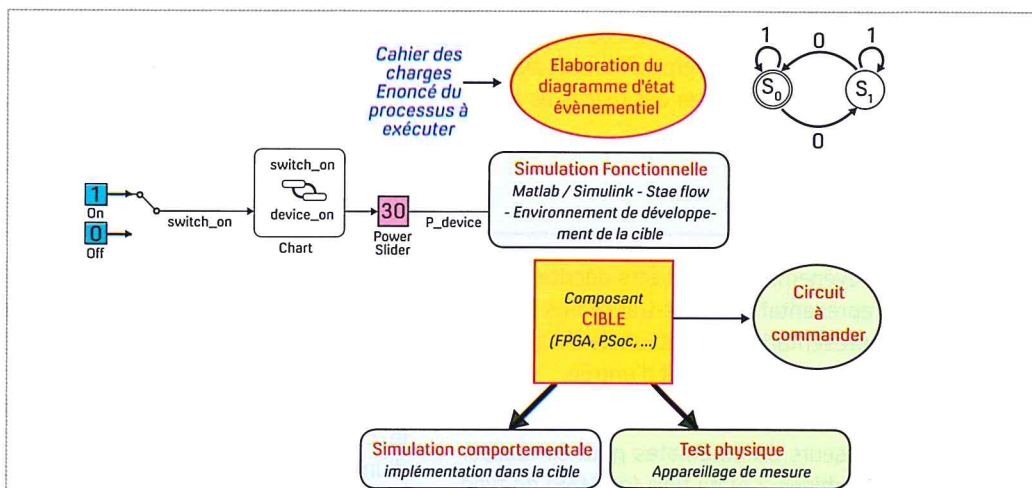


Fig. 11 Élaboration, simulation et implémentation d'un processus de commande événementiel via une MAE

Les cibles matérielles sont de type numérique et peuvent avoir un fonctionnement prédominant asynchrone ou synchrone.

INFORMATIONS

## b Les automates programmables

Le comportement des circuits électriques R, L, C linéaires et celui des systèmes mécaniques masses, ressort avec frottements visqueux sont représentés par des équations différentielles semblables.

Il est possible de passer d'un circuit électrique à un système mécanique en assimilant les grandeurs suivantes :

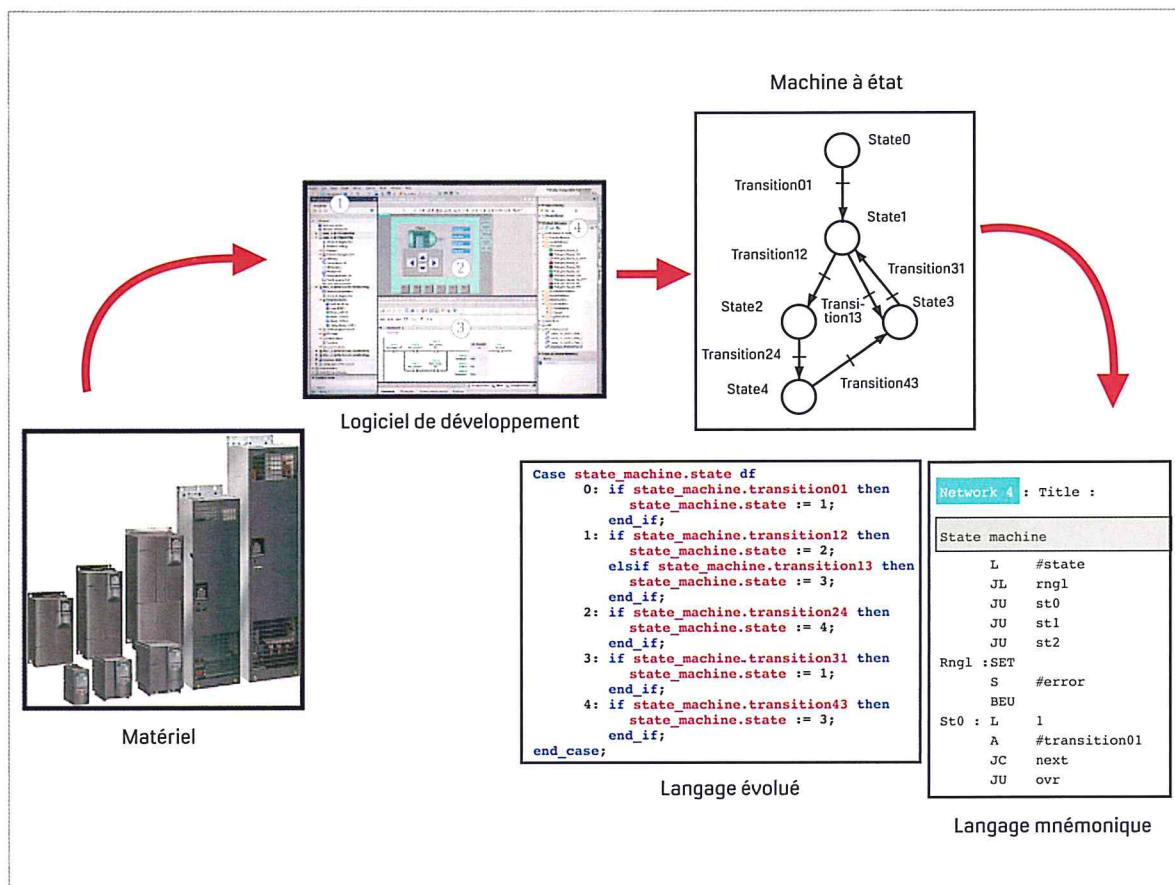


Fig. 12 Implémentation d'une MAE sur un automate programmable

Le logiciel de programmation STEP7 de Siemens propose une fonctionnalité supplémentaire permettant d'établir des graphes de fonctionnement séquentiels (GFS) ou grafcet implémentant des machines d'états. Le diagramme d'état est alors traduit en langage compréhensible par l'automate. Il est possible ainsi d'implémenter des machines à états dans un grafcet ou dans un schéma à relais.

## SYNTHÈSE

Un processus événementiel peut être décrit au travers d'une représentation états-transitions SysML. Dans cette représentation l'activation de chaque état est conditionnée par l'événement d'entrée.

La simulation ou l'implémentation dans des cibles de type processeurs ou automates peut se réaliser à l'aide des machines à états finis (ou MAE) de type asynchrone ou synchrone par rapport à l'horloge. L'événement d'entrée est alors pris en compte sur le front actif de l'horloge.

L'établissement d'un diagramme d'état sous la forme d'une Machine à États (MAE) peut s'effectuer à partir du chronogramme de fonctionnement décrivant le processus de pilotage. Chaque état de sortie correspond alors à une bulle matérialisant l'état fini. Dans le chronogramme de fonctionnement, le passage d'un état au suivant est déclenché par un événement (le plus souvent une horloge), cela se traduit sur le diagramme d'état par une transition reliant un état (bulle) au suivant.