

## Introduction aux systèmes à événements discrets

1. Introduction aux systèmes à événements discrets
2. Langages et automates
3. Réseaux de Petri
4. Commande supervisée des SED

### Système

Un système est une association d'éléments qui peuvent être matériels, logiciels ou bien encore humains en interaction grâce à des flux d'énergie, d'information ou de matière, qui remplissent une ou plusieurs fonctions.

Un système est un ensemble composé d'éléments qui interagissent pour remplir une fonction particulière dans un environnement donné en respectant un ensemble de règles et de contraintes.

### Signaux analogiques ou continus

Ce sont des signaux qui varient de façon continue dans le temps selon une loi mathématique ou un phénomène physique quelconque.

### Signaux logiques

Ce sont des signaux discontinus qui ne peuvent prendre que deux valeurs (tout ou rien). Ce sont les signaux de la logique binaire.

### Systèmes continus

Dans les systèmes continus, les signaux traités sont de type analogique ou échantillonné. Des équations différentielles et aux différences (états continu, à temps continu ou discret), et des modèles fréquentiels sont utilisés pour modéliser les systèmes continus.

### Systèmes à événement discrets

Un système à événements discrets (SED) est un système à espace d'état discret dont les transitions entre états sont associées à l'occurrence d'événements discrets. L'espace d'état est discret signifie que les états sont dénombrables (en particulier ils peuvent être en nombre fini, mais pas toujours). Les événements sont discrets implique que le temps n'est pas pensé comme continu. Dans cette classe de systèmes, on retrouve, par exemple :

- ateliers de production manufacturière, notamment dans leur version ateliers flexibles modernes ;
- les systèmes de transport ;
- les systèmes informatiques.

### Exemple :

Prenons l'exemple d'une machine pouvant se trouver dans trois états distincts : repos, panne et occupé. L'évolution de cette machine est illustrée dans la figure ci-dessous. Dans son état initial, la machine est supposée être au repos. Lorsqu'elle reçoit l'événement  $\alpha$ , "commencer une opération", à l'instant  $t_1$ , elle passe à l'état "occupé". De même, l'occurrence des événements  $\lambda$ , "panne", et  $\gamma$ , "réparer la machine", aux instants  $t_2$  et  $t_3$  respectivement, entraîne un passage à l'état de panne, suivi d'un retour à l'état de repos. Par exemple, à l'instant  $t_5$ , l'événement  $\beta$ , "fin de l'opération", permet à la machine de revenir de l'état "occupé" à l'état "repos".

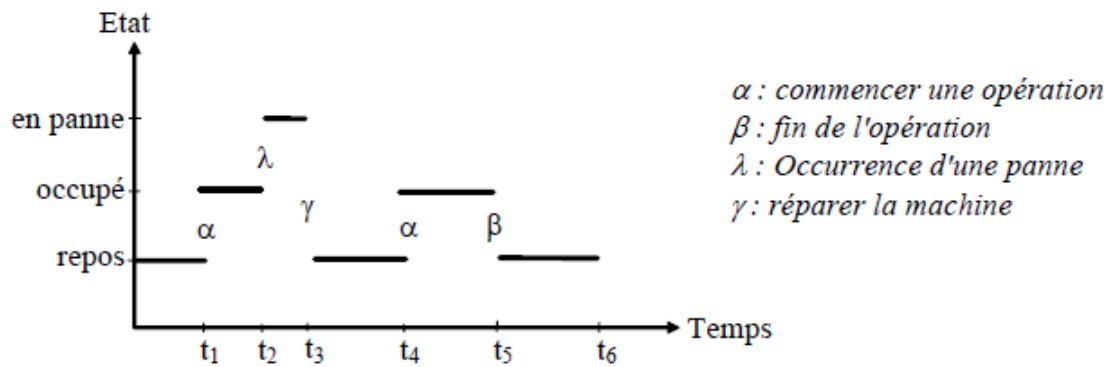


Figure 1: Trajectoire décrite par une machine à trois états

### Systèmes hybrides

Les méthodes d'analyse classiques prennent en compte un seul aspect à la fois, l'aspect continu ou l'aspect discret (événementiel). Cependant, la plupart des systèmes réels sont composés de sous-systèmes continus (moteurs, procédés chimiques, ...) qui sont démarrés, reconfigurés et arrêtés par une commande logique, à état discrets (ordinateur, automate programmable). Alors, l'évolution d'un système réel est à la fois continue et événementielle. Pour garantir le bon fonctionnement d'un ensemble automatisé réel il est nécessaire de prendre en compte simultanément les aspects continus et événementiels (discrets) de sa dynamique. Les systèmes dynamiques hybrides ont été introduits pour répondre à cette demande.

### Systèmes à événement discrets combinatoires/séquentiels

- Systèmes combinatoire : les sorties ne dépendent que des entrées.
- Systèmes séquentiels : les sorties dépendent des entrées et des états antérieurs du système.

### Systèmes à événement discrets asynchrones/synchrones

- Systèmes asynchrones : tout changement sur l'environnement est immédiatement signalé au système et suppose un traitement immédiat.
- Systèmes synchrones : les informations qui arrivent au système sont planifiées dans le temps et sont traitées immédiatement (une horloge permet de synchroniser les instants d'évolution du système).

### Modélisation des SED

Un modèle est une approximation, une vue partielle plus ou moins abstraite de la réalité afin de l'appréhender plus simplement, selon un point de vue et qu'il est établi pour un objectif donné. Il peut être exprimé par des outils mathématiques, des symboles, des mots, des graphes.

La plupart des SED présentent les caractéristiques communes suivantes :

- Parallélisme : de nombreux événements peuvent se dérouler simultanément et indépendamment dans diverses parties du système.
- Synchronisation : l'accomplissement de certains événements nécessite la disponibilité simultanée de plusieurs ressources ou la vérification simultanée de plusieurs conditions. La fin d'un événement entraîne l'apparition simultanée de plusieurs autres événements.
- Concurrence : certains événements excluent l'apparition simultanée d'autres événements. Par exemple, une machine ne peut travailler que sur une seule pièce à la fois.

Différents outils de modélisation et d'analyse des SED ont été développés selon l'application envisagée. Ainsi, la théorie des SED peut être divisée en deux grandes approches :

- Approche logique qui ne s'intéresse qu'à l'occurrence des événements ou l'impossibilité de cette occurrence et à la succession de ces événements, mais pas à la date précise de ces occurrences, autrement dit, pas aux aspects de performances.
- Approche quantitative qui s'adresse à l'aspect évaluation de performance (mesurée par le nombre d'événements survenant dans un laps de temps donné), voire à l'optimisation des performances.

Les modèles SED peuvent être utilisés à différents niveaux :

- Spécification. Avant de concevoir un système, il faut déterminer ce qu'on veut lui faire faire, que doit être sa réponse dans certain nombre de situations-type, etc. ?
- Conception, architecture. Une fois spécifié le comportement fonctionnel du système, il faut le concevoir, notamment du point de vue de son architecture : composants, agencement et articulations, mécanismes de synchronisation et d'exécution.
- Validation logique. Il faut ensuite vérifier que le système ainsi conçu répond bien aux spécifications désirées, et qu'il n'engendre pas d'autres comportements indésirables.
- Evaluation de performance. A cette étape, la notion de temps intervient. On cherche alors à répondre à des questions du type : combien d'événements d'un type donné se produisent en une heure, à quelle date de produira le nième événement, etc. ?
- Ordonnancement. L'ordonnancement a pour but d'établir des politiques de priorité, de routage, etc. destinées à résoudre les problèmes posés par les phénomènes de concurrence.

### **Différents modèles pour les SED**

Il existe plusieurs formalismes de modélisation et d'analyse des SED, parmi lesquels on cite : les automates finis, les réseaux de Petri, grafcet, et l'algèbre des dioïdes.

### **Langages et Automates**

Un des moyens formels pour étudier le comportement logique des SED est basé sur la théorie des langages et des automates. Ces modèles reviennent à spécifier des ensembles d'états et des transitions entre ces états.

### **Réseaux de Petri**

Les réseaux de Petri (RdP), sont un outil graphique permettant de modéliser, visualiser et analyser des évolutions des SED. Ils sont utilisés pour modéliser, analyser et concevoir des systèmes à événements discrets. Les réseaux de Petri ont, par rapport aux automates, l'avantage d'être un modèle beaucoup plus général, bénéficiant de structures beaucoup plus riches, s'adaptant parfaitement à la description de certains types de SED.

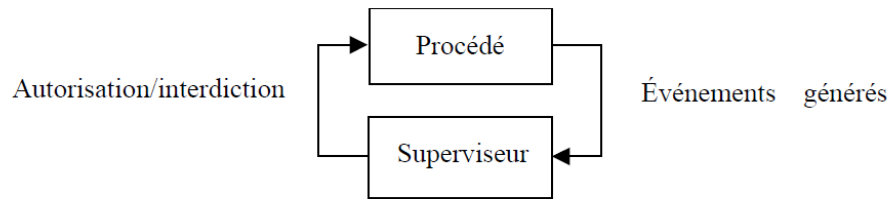
### **Grafcet**

Le Grafcet (Graphe Fonctionnel de Commande Etape/Transition) est un graphe qui permet de décrire facilement les fonctionnalités d'un automatisme logique.

### **Algèbre des dioïdes**

La structure algébrique de dioïde permet de modéliser et d'évaluer les performances de certains systèmes à événements discrets. L'étude des SED dans l'algèbre des dioïdes, consiste à modéliser le système étudié en premier lieu par un réseau de Petri, puis à établir les équations récurrentes modélisant leur comportement dynamique dans l'algèbre des dioïdes.

## Commande supervisée des SED



Dans ce schéma, Le procédé est un SED couplé à un superviseur, représenté lui aussi par un SED. Le superviseur évolue conformément aux événements issus du procédé. Le superviseur intervient sur l'évolution du procédé par l'intermédiaire de lois de contrôle qui définissent l'ensemble des événements autorisés à partir de l'état dans lequel se trouve le procédé. Le couplage procédé/superviseur doit assurer le respect de spécifications données par le cahier des charges.

L'objectif principal de cette théorie est de synthétiser une commande aussi permissive que possible par rapport aux spécifications souhaitées, tout en évitant le blocage et les états interdits.

**Remarque :** Le rôle du superviseur consiste strictement à restreindre le fonctionnement du procédé.