

Introduction

Formation Systèmes à Evénements Discrets

1ère édition
Janvier 2024



1 Qu'est-ce qu'un Système à Événements Discrets (SED) ?

2 Définitions

- Événement
- Etat

3 Du contexte et des exemples

- Astronomie
- Jeu d'échec
- Processus administratif
- Systèmes industriels
- Systèmes de transport

4 But et déroulé de la formation

Qu'est-ce qu'un Système à Événements Discrets (SED) ?

1. Qu'est-ce qu'un SED ?

Commençons par demander à ChatGPT :

"Un système à événements discrets (SED) est un type de système dynamique où les changements d'état ne se produisent qu'à des moments spécifiques et distincts dans le temps, appelés événements. Contrairement aux systèmes à temps continu, où les changements d'état se produisent de manière continue, les systèmes à événements discrets évoluent par sauts à des instants définis. [...]"

Dans cette réponse, deux concepts à voir en priorité : **événement** et **état**

1 Qu'est-ce qu'un Système à Evénements Discrets (SED) ?

2 Définitions

- Evénement
- Etat

3 Du contexte et des exemples

- Astronomie
- Jeu d'échec
- Processus administratif
- Systèmes industriels
- Systèmes de transport

4 But et déroulé de la formation

Définitions - Evénement

2. Définitions - Événement 1/4

Selon le livre de référence "Introduction to Discrete Event Systems" (C. G. Cassandras and S. Lafortune) :

"[...] we will not attempt to formally define what an "event" is. It is a primitive concept with a good intuitive basis. We only wish to emphasize that an event should be thought of as occurring instantaneously [...]"

2. Définitions - Événement 2/4

Quelques définitions d'un **événement** dans différents dictionnaires :

- tout ce qui se produit, arrive ou apparaît (Larousse)
- ce qui arrive et qui a de l'importance pour l'être humain (Le Robert)
- fait qui se produit à un moment donné (l'internaute.fr et le-dictionnaire.com)
- fait qui survient à un moment donné (Wiktionnaire)
- ce qui survient, ce qui arrive, en un temps et en un lieu déterminés (Académie française)
- tout phénomène se produisant en un point et à un instant donnés (Académie française [Physique])

2. Définitions - Événement 3/4

Sans oublier ChatGPT :

" Un **événement** peut être défini de différentes manières en fonction du contexte. [...]

En général : Un événement est un fait ou un phénomène qui se produit à un moment particulier dans le temps et dans un lieu donné. [...]

Dans le domaine scientifique : En physique, un événement est souvent considéré comme un point unique dans l'espace-temps. [...]"

2. Définitions - Événement 4/4

Ce que nous pouvons conserver dans cette formation sur les SED

Définition

Un **événement** est un phénomène qui se produit à un instant donné en un espace déterminé

Propriété

Un événement est **instantané** c'est-à-dire qu'il ne dure pas dans le temps

Remarque : Il est toujours possible de trouver une certaine granularité du temps pour que l'événement ne dure pas ; cette échelle de temps dépend du système étudié

Définitions - Etat

2. Définitions - Etat 1/2

Selon le dictionnaire de l'Académie française, la définition du mot "état" est la "disposition dans laquelle se trouve une personne, une chose, une affaire". Avant de définir l'état, il faut donc déterminer l'état de quoi ?

Définitions informelles

Un **ystème** est un ensemble d'éléments interagissant entre eux et avec leur environnement afin de réaliser une fonction

Un **modèle** est une représentation d'un système afin de réaliser un objectif donné

Remarque : Un système n'est pas systématiquement associé à du "matériel" (exemple d'un système économique ou du comportement humain)

Définition

L'**état** d'un modèle est la valeur de l'ensemble de ses variables à un instant donné

Ce que nous retrouvons dans ChatGPT :

"Dans le contexte des systèmes dynamiques, un "état" fait référence à la condition ou à la configuration particulière dans laquelle un système se trouve à un moment donné. L'état d'un système est généralement caractérisé par un ensemble de variables qui capturent les aspects pertinents du système à un instant précis. [...]"

Remarque : L'**évolution** d'un modèle correspond à son changement d'état lorsqu'un *événement* se produit

1 Qu'est-ce qu'un Système à Evénements Discrets (SED) ?

2 Définitions

- Evénement
- Etat

3 Du contexte et des exemples

- Astronomie
- Jeu d'échec
- Processus administratif
- Systèmes industriels
- Systèmes de transport

4 But et déroulé de la formation

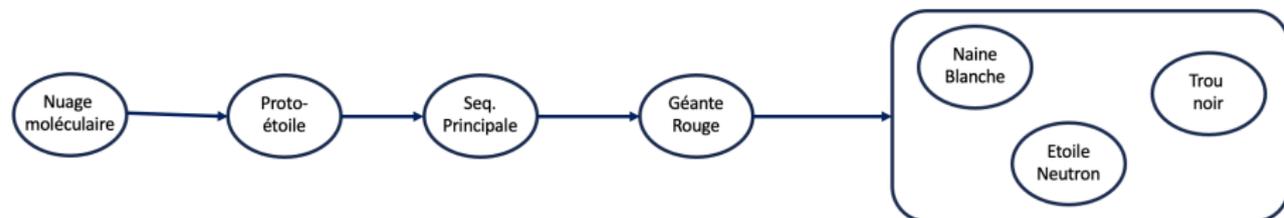
Du contexte et des exemples - Astronomie

3. Du contexte et des exemples - Astronomie

L'événement est la survenue **instantanée** d'un phénomène

- Cela oblige à faire une abstraction du fonctionnement du système
- Un intérêt est d'extraire le comportement séquentiel

Considérons un système à temps long : la vie d'une étoile

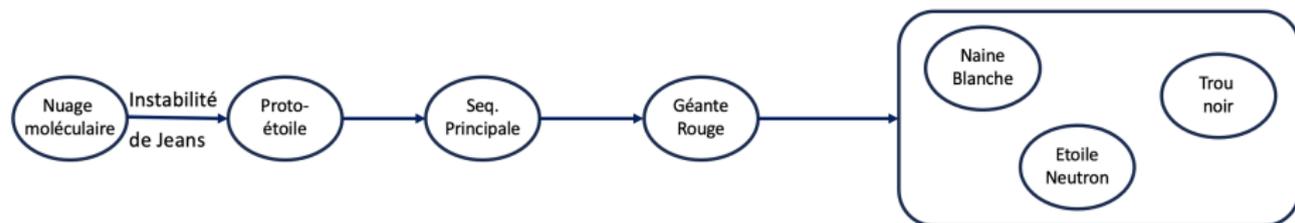


Si la connaissance exacte et précise de chaque étape n'est pas forcément connue, il est néanmoins possible de décrire les événements produisant l'enchaînement de ces étapes

3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

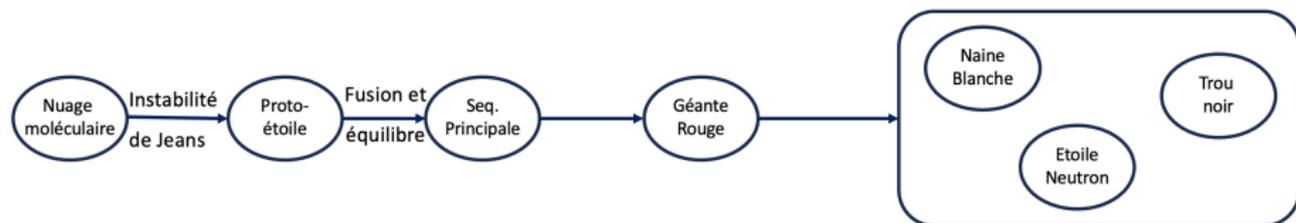
- Nuage moléculaire se transforme en proto-étoile due à une instabilité et provoquant un effondrement gravitationnel



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

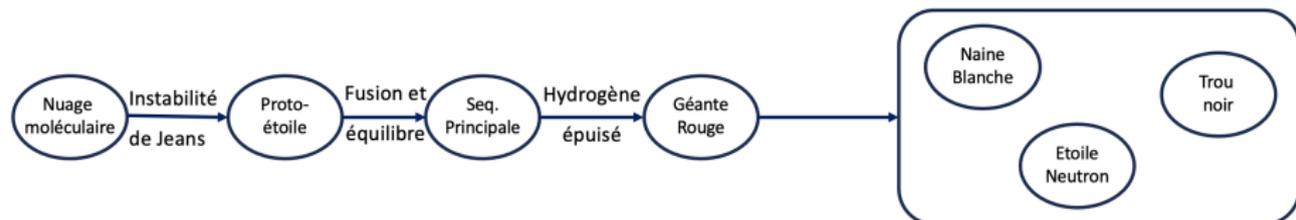
- Proto-étoile : accumulation de masse, augmentation de la densité et de la température, initiation de la fusion nucléaire



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

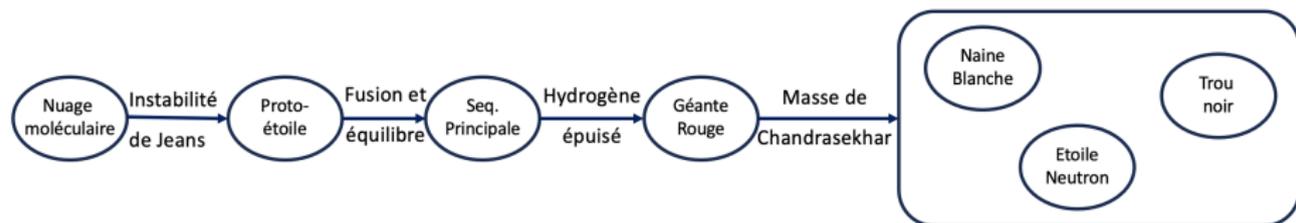
- Séquence principale : C'est une étoile dont la vie dépend de sa masse. Quand l'hydrogène est épuisé, elle se met à se dilater (100x)



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

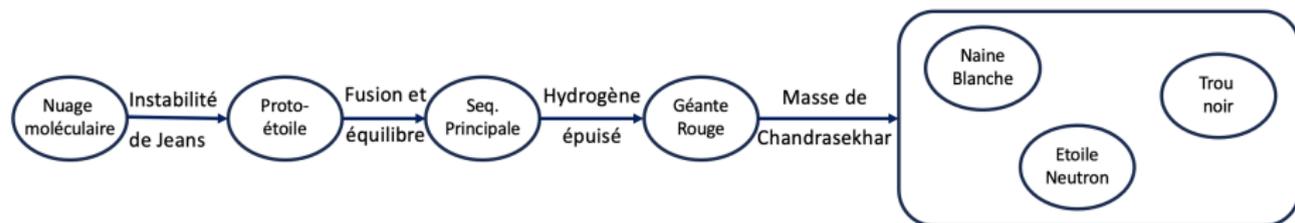
- La géante rouge va, par fusion, se structurer en coquille, et un effondrement se produit lorsque sa masse $> 1,4$ masse solaire



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

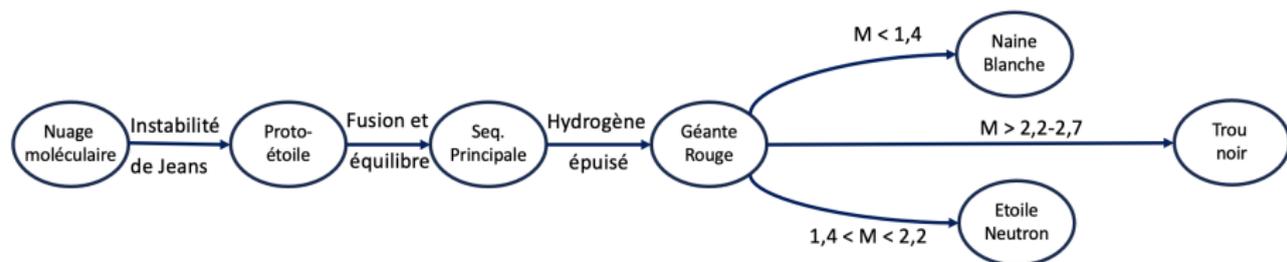
- Lors de la fusion :
 - Si la masse reste $< 1,4$ masse solaire \rightarrow Naine blanche
 - Si la masse reste $> 1,4$ masse solaire et $< 2,2-2,7$ masse solaire \rightarrow Etoile à neutrons
 - Si la masse reste $> 2,2-2,7$ masse solaire \rightarrow Trou noir



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

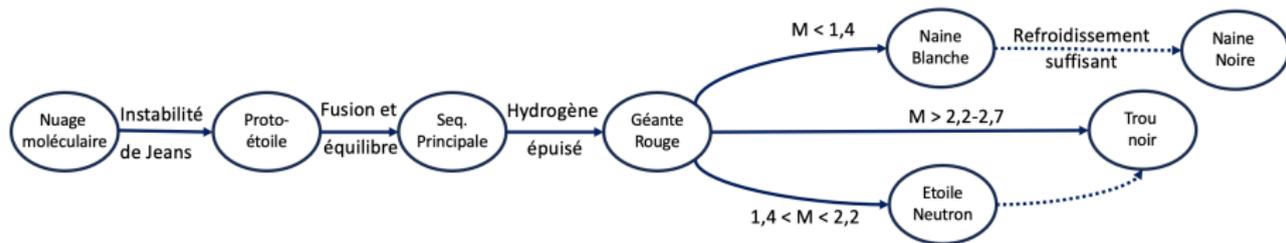
- Lors de la fusion :
 - Si la masse reste $< 1,4$ masse solaire \rightarrow Naine blanche
 - Si la masse reste $> 1,4$ masse solaire et $< 2,2-2,7$ masse solaire \rightarrow Etoile à neutrons
 - Si la masse reste $> 2,2-2,7$ masse solaire \rightarrow Trou noir



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

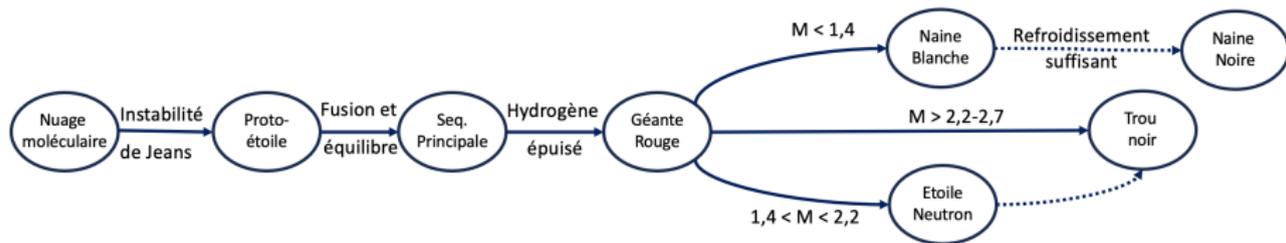
- L'évolution dépendra également de l'évolution de sa masse et de sa température



3. Du contexte et des exemples - Astronomie

La vie d'une étoile

- *Nuage moléculaire ... Proto-étoile ... Séquence principale ... Géante rouge ... Fusion ... Evolution masse et température*



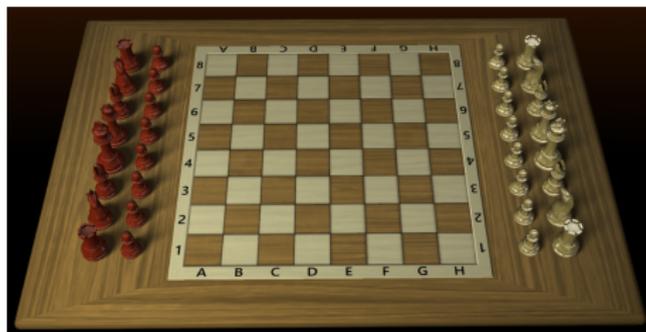
L'événement est la survenue **instantanée** d'un phénomène

Du contexte et des exemples - Jeu d'échec

3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 1/7

Le **système** "jeu d'échec" est composé d'un échiquier de 64 cases (8 lignes x 8 colonnes) et de 32 pièces (2 x 16) :

- 8 pions blancs / 8 pions noirs
- 2 fous blancs / 2 fous noirs
- 2 cavaliers blancs / 2 cavaliers noirs
- 2 tours blanches / 2 tours noires
- 1 reine blanche / 1 reine noire
- 1 roi blanc / 1 roi noir



Dans cet exemple, les pièces blanches sont *dorées*, les noires sont *rouges*

3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 2/7

La position des pièces sur l'échiquier représente l'**état** du système

- Au début, les pièces sont disposées selon un ordre parfaitement établi par les règles du jeu : il s'agit de l'**état initial**

Démarrage du jeu d'échec



3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 3/7

- A chaque coup joué, l'état du système change
- Le jeu peut s'arrêter (échec et mat)... ou non (par exemple lorsqu'il ne reste plus que les deux rois sur l'échiquier) : il existe un ou plusieurs **état/s final/aux**... ou aucun

Un état du jeu d'échec



Echec et mat



3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 4/7

Le déplacement d'une pièce sur une case (vide ou occupée¹) correspond à un **événement**

- L'**occurrence** d'un événement permet de changer l'état du système et provoque alors son **évolution**
- Une succession d'occurrences d'événements est une **séquence d'événements**



Déplacement
E2 → E4
depuis l'état
initial



1. Le déplacement d'une pièce sur une case occupée correspond à la sortie du jeu de la pièce adverse qui occupait la case suivi du déplacement de la pièce qui prend sa place

3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 5/7

Quelques remarques

A la suite d'une séquence d'événements, le système se retrouve dans un certain état



Séquence réalisée à partir de l'état initial
 $E2 \rightarrow E4$; $G8 \rightarrow F6$;
 $B1 \rightarrow C3$; $D7 \rightarrow D5$;
 $D2 \rightarrow D3$; $F6 \rightarrow E4$;
 $D3 \rightarrow E4$; $C8 \rightarrow E6$



Ce n'est pas la seule séquence qui permet d'atteindre cet état...

3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 6/7

Quelques remarques

L'état atteint suite à l'occurrence d'un événement dépend de l'état antérieur du système



Déplacement
 $E2 \rightarrow E4$
depuis l'état
initial



Déplacement
 $E2 \rightarrow E4$
depuis un
autre état



3. Du contexte et des exemples - Jeu d'échec 7/7

Quelques remarques

- Le nombre d'états du système "jeu d'échec" est très grand ² mais il est **fini** ; idem pour le nombre de passages d'un état à un autre
- En revanche le nombre de séquences d'événements réalisées à partir de l'état initial est **infini**



2. Le nombre de parties possibles en suivant la règle du jeu est estimé à 10^{123} . Le nombre de positions légales est estimé à plus de 10^{46}

Du contexte et des exemples - Processus administratif

3. Du contexte et des exemples - Processus administratif 1/4

Le **système** "chaîne d'inscription" correspond au processus administratif de l'inscription d'un.e étudiant.e à l'Université



3. Du contexte et des exemples - Processus administratif 2/4

inscription en ligne de l'étudiant (saisie du dossier et paiement de la cotisation CVEC (Contribution Vie Etudiante et Campus))

dépôt de pièces justificatives par l'étudiant.e sur une plateforme dédiée

vérification par l'administration des pièces déposées

dans les 24h, l'étudiant.e reçoit un mail pour accéder son espace numérique de travail

si tout est ok, envoi d'un mail à l'étudiant.e avec les informations pour le démarrage de l'année

si problème avec les pièces déposées, envoi d'un mail personnalisé à l'étudiant.e pour le signaler

rebouclage sur l'étape de vérification tant que le problème n'est pas résolu

Analyse du processus du point de vue de la communication entre l'administration et l'étudiant.e

- Les actions en ligne réalisées des deux côtés (début et fin d'inscription en ligne, début et fin de vérification des pièces...) et les échanges entre les deux parties (mails automatiques, personnalisés...) correspondent aux **événements**
- Le statut du dossier de l'étudiant.e (initialisation du dossier, en attente de pièces justificatives, pièces en cours de vérification...) correspond à l'**état**

D'autres objectifs/points de vue pourraient être proposés pour analyser le reste du processus

- Comment se passe la vérification des documents ?
- Quelles sont les étapes du paiement en ligne ?
- Que se passe-t-il si une erreur, une panne se produit ?
- ...

Cela nécessiterait alors de prendre en compte d'autres événements et d'autres états...

Du contexte et des exemples - Systèmes industriels

3. Du contexte et des exemples - Système industriel 1/4

Robot de distribution des médicaments à la pharmacie des Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG)



Figure – Lien vers la vidéo YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=pjCbG-t1U4E>

Robot de distribution des médicaments à la pharmacie des Hopitaux Universitaires de Genève (HUG)

Pour un pilotage du système :

- Besoin de définir tous les éléments du système (système d'enregistrement des demandes, bras robotisés, tapis intérieurs et extérieurs...) et les interactions entre ces éléments...
- Evénements : validation informatique d'une demande de médicaments, débuts et fins de mouvements de chaque élément, ...
- Etats : demande de médicaments en cours, bras 1 en mouvement, bras 1 en saisie de médicament, tapis en marche...

3. Du contexte et des exemples - Système industriel 3/4

Mise en palette dans un système de production via le simulateur FactoryIO³

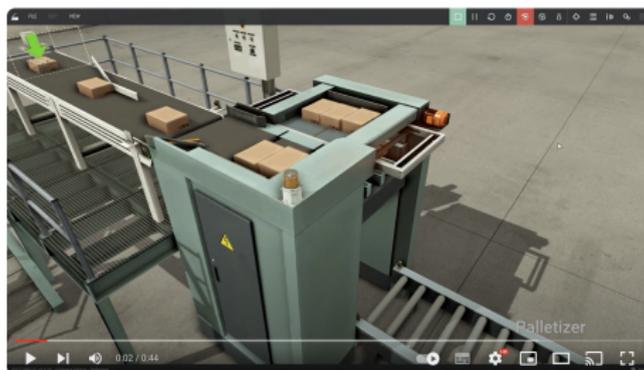


Figure – Lien vers la vidéo YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=ZpwXXEYDZsY>

3. <https://factoryio.com/>

Mise en palette dans un système de production via le simulateur FactoryIO

Pour un comptage du nombre de palettes réalisées :

- Événements : fin de mise en palette...
- Etats : palette en cours, palette terminée...

Du contexte et des exemples - Systèmes de transport

3. Du contexte et des exemples - Système de transport

- Des trains sur des voies ferroviaires avec des tronçons, des passages à niveaux, des intersections avec des voies de circulation...
- Des convoyeurs sur des tapis dans des systèmes de production, de logistique, de traitement de bagages...

Ce type d'exemple sera traité régulièrement tout au long de la formation

1 Qu'est-ce qu'un Système à Evénements Discrets (SED) ?

2 Définitions

- Evénement
- Etat

3 Du contexte et des exemples

- Astronomie
- Jeu d'échec
- Processus administratif
- Systèmes industriels
- Systèmes de transport

4 But et déroulé de la formation

But et déroulé de la formation

4. But de la formation

Dans cette formation sur les Systèmes à Événements Discrets, nous montrons comment obtenir des **modèles** en passant par l'étude

- de formalismes "à événements discrets" et de certaines de leurs extensions
- de modèles et de méthodes de modélisation
- d'utilisations possibles de ces formalismes selon des objectifs précis

Toujours se poser les questions : quel est l'objectif de la modélisation ?
Quel est l'état ? Que représente l'événement ? Quel formalisme utiliser ? ...

4. Déroulé de la formation

Formalismes abordés

- Formalismes "classiques" : automate, réseau de Petri, logique booléenne
- Quelques extensions temporelles : automate temporisé, réseau de Petri temporel et temporisé, graphe d'événements temporisés, (max,+)

Utilisations possibles

- Commander un système pour qu'il accomplisse un comportement désiré : **contrôle-commande**
- Vérifier qu'un état n'est jamais atteint car il s'agit d'un état dangereux : **vérification**
- Trouver l'origine d'une panne : **diagnostic** ; prévoir les prochaines défaillances : **pronostic** ; se protéger des intrusions : **opacité**

4. Déroulé de la formation

Pour terminer cette formation, nous verrons également quelques exposés de doctorant.e.s sur leurs travaux de thèse afin d'avoir un aperçu des activités de recherche actuelles dans ce domaine

Bonne formation !

Références bibliographiques

-  Cassandras, C. G. and Lafortune, S. (2008).
Introduction to Discrete Event Systems.
Springer.

Equipe pédagogique

Auteur.rice.s : Pascal Berruet, Gregory Faraut, Euriell Le Corronc, Pascale Marangé

Intervenant.e.s : Pascal Berruet, Gregory Faraut, Euriell Le Corronc