

# Suivi de Situation

## AU311 - Opération et Supervision

Charles Lesire-Cabaniols (ONERA / DCSD)  
charles.lesire@onera.fr

3A-SEM - 2010-2011

Introduction

Systèmes à événements discrets

Systèmes hybrides

Suivi de l'activité de pilotage

## Introduction

Autonomie

Suivi de l'état

Suivi de situation

Systèmes continus

Systèmes à événements discrets

Systèmes hybrides

Suivi de l'activité de pilotage

# Autonomie

## Fonctions nécessaires

- ▶ Avant la mission :
  - ▶ Planification (véhicule)
  - ▶ Procédures (opérateur)
- ▶ En opération :
  - ▶ Supervision
  - ▶ (Re)Planification
  - ▶ Gestion des communications
  - ▶ Interfaces opérateur
  - ▶ Suivi de l'état

# Suivi de l'état

C'est quoi ?

- ▶ Suivi de l'état du véhicule
- ▶ Suivi de l'état de l'environnement
- ▶ Détection de pannes
- ▶ Diagnostic
- ▶ Évaluation de la situation
- ▶ Conscience de la situation
- ▶ Prédiction

# Conscience de situation

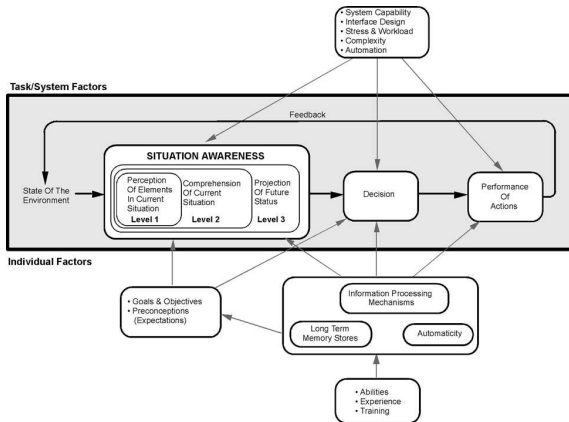
*Situation awareness involves being aware of what is happening around you to understand how information, events, and your own actions will impact goals and objectives, both now and in the near future.*

# Suivi de l'état

## Pourquoi faire ?

- ▶ Pour :
  - ▶ Décider
  - ▶ Réagir, Alerter
  - ▶ Replanifier, Reconfigurer
- ▶ Sur la base :
  - ▶ des tâches, activités, procédures
  - ▶ de l'état de santé du véhicule
  - ▶ des ressources disponibles (dont communication)
  - ▶ de l'état de l'environnement
  - ▶ des actions de l'opérateur

# Conscience de situation



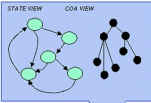
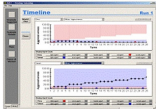
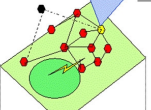
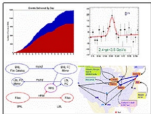
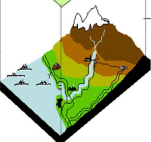

Place du Suivi de Situation chez l'opérateur (Endsley, 1995)



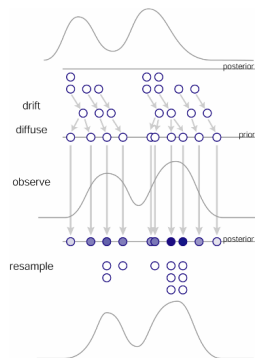
# Suivi de situation

- ▶ Situation Awareness : *conscience de la situation (par l'opérateur)*
- ▶ Situation Assessment : *élaboration, évaluation de la situation (algorithmique)*
- ▶ 3 niveaux :
  1. Perception : acquisition des informations pertinentes, reconnaissance de situations élémentaires ;
  2. Compréhension : synthèse des situations perçues, interprétation par rapport aux modèles (environnement, tâches, procédures) ;
  3. Projection : prédiction de l'impact des actions en fonction de la situation et des modèles.

# Niveaux de situation (Waltz, 2000)

DOMAIN REPRESENTED	VIEWS	Representative Examples
	<b>COGNITIVE VIEWS</b>  <b>Preventative</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Time histories of influence nets or agent-based simulation</li> <li>• Locations of threats</li> </ul>
	<b>SYMBOLIC VIEWS</b>  <b>Predictive</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Network information flow simulation</li> <li>• Comparison of information transition data flows</li> </ul>
	<b>PHYSICAL VIEWS</b>  <b>Reactive</b>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spatial Overlays</li> <li>• Current FM-34-130 IPB Spatial Overlay Templates</li> <li>• Physical location of objects</li> </ul>

- ▶ Filtrage bayésien : estimation des variables d'un système soumis à des perturbations  
*Filtre de Kalman et ses extensions*
- ▶ Filtrage particulaire : estimation de l'état par sélection des particules les plus cohérentes avec les observations



## Introduction

## Systèmes à événements discrets

Introduction

Chroniques

Automates

Réseaux de Petri

Réseaux Bayésiens

## Systèmes hybrides

## Suivi de l'activité de pilotage



# Chroniques

## Définitions

- ▶ Modélisation d'une activité, d'une tâche, d'un comportement... sous forme de contraintes temporelles entre événements ;
- ▶ Algorithme de reconnaissance d'une activité à partir des événements perçus.
- ▶ <http://crs.elibel.tm.fr/>

# Chroniques

## Définitions

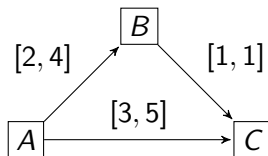
### Chronique (Dousson *et al.*, 1993)

Un modèle de chronique  $C$  est un couple  $(S, T)$  avec

- ▶  $S$  un ensemble d'événements
- ▶  $T$  l'ensemble des contraintes entre les instants de ces événements.

# Chroniques

Exemple (Vu Duong, 2001)



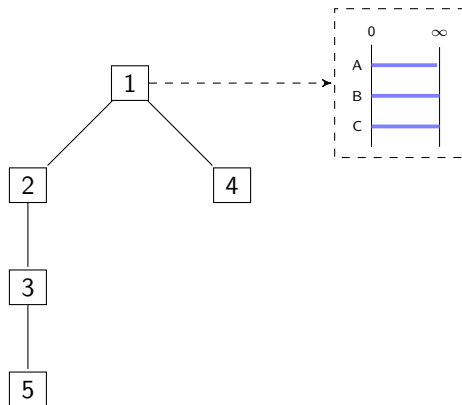
```

chronicle Ch {
    event(A, ta) ;
    event(B, tb) ;
    event(C, tc) ;

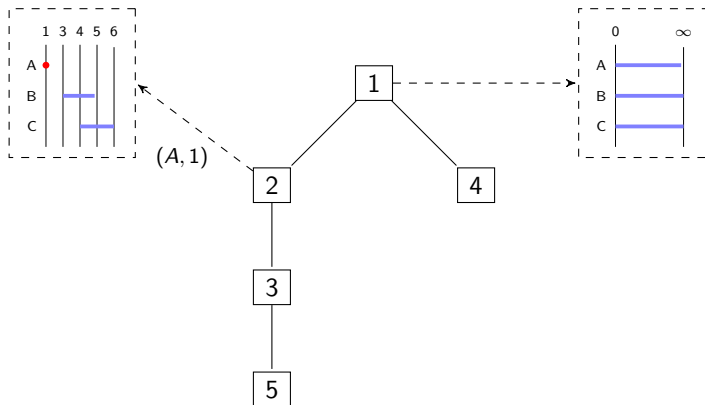
    tb - ta in [2, 4] ;
    tc - ta in [3, 5] ;
    tc - tb in [1, 1] ;
}
  
```



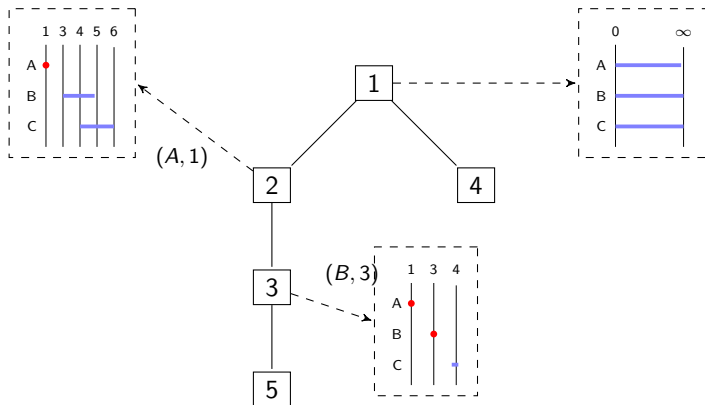
# Reconnaissance de Chroniques



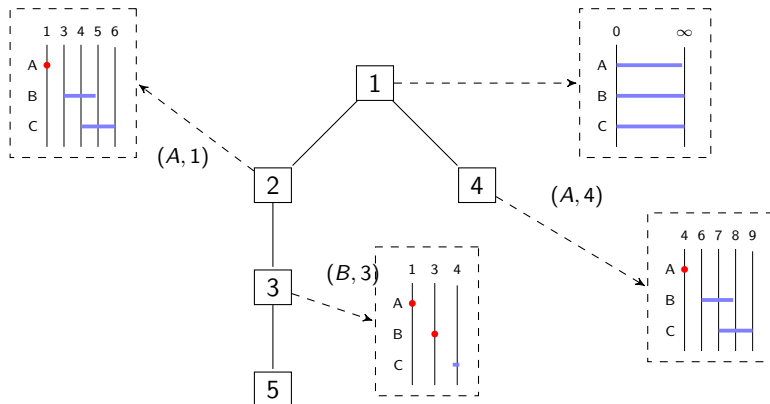
# Reconnaissance de Chroniques



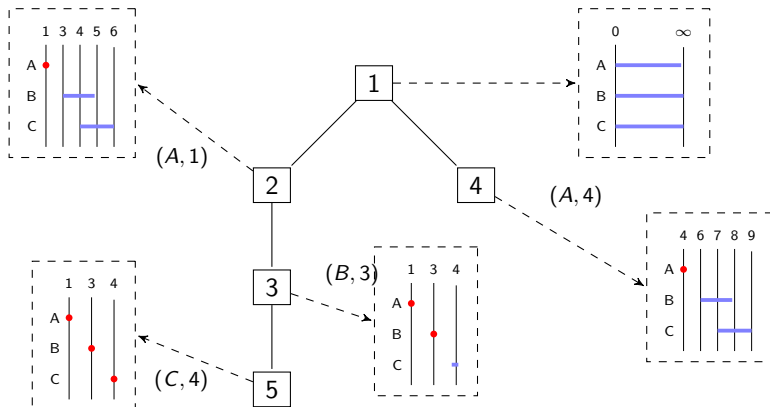
# Reconnaissance de Chroniques



# Reconnaissance de Chroniques



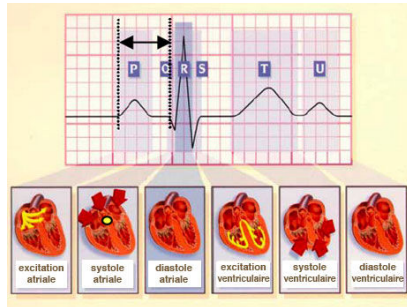
# Reconnaissance de Chroniques



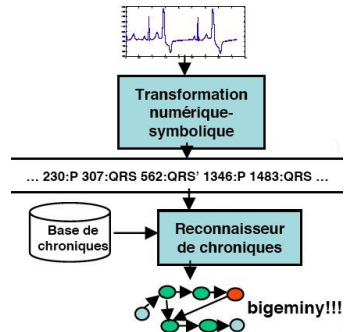
## Reconnaissance de Chroniques

- ▶ Propagation de contraintes,
- ▶ Factorisation de l'arbre,
- ▶ Notion de "sous-chronique".
- ▶ Méthodes d'apprentissage de chroniques...
- ▶ Application à la détection de fautes dans les réseaux de télécommunications.

# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)

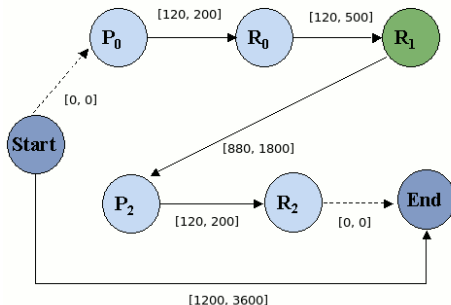


Contraction cardiaque et ECG



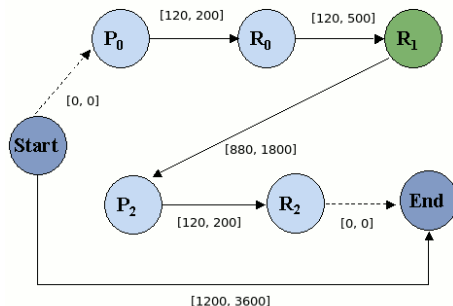
Principe de reconnaissance de pathologies

# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)

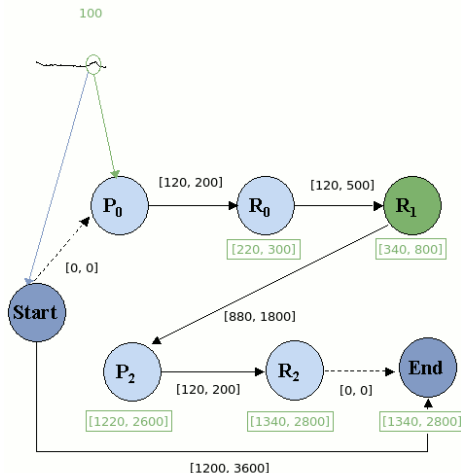




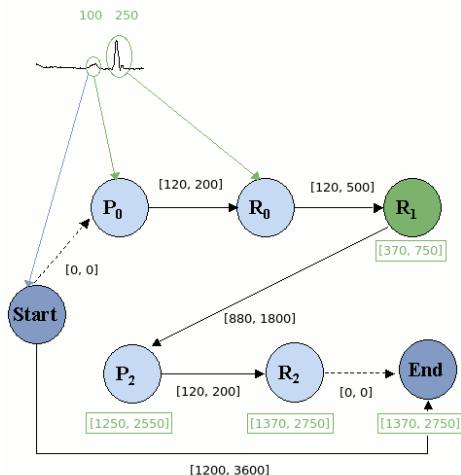
# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



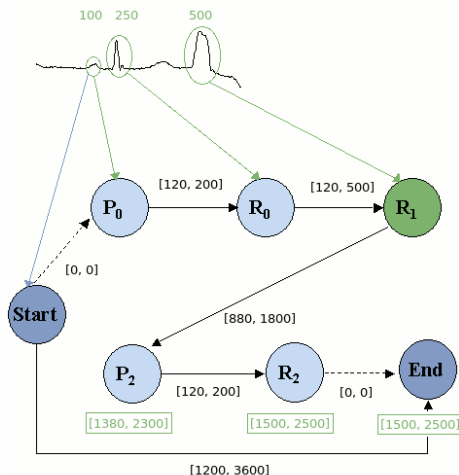
# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



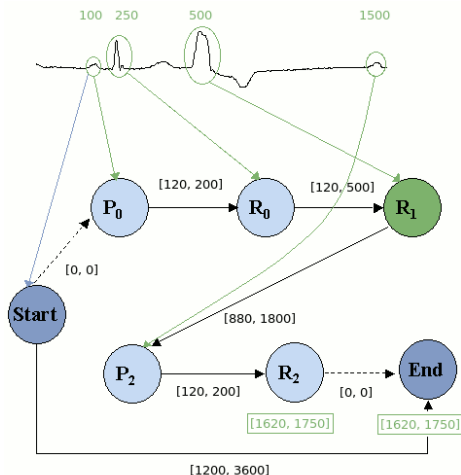
# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



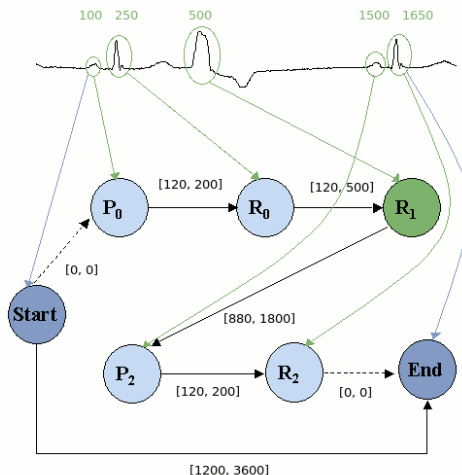
# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



# Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)





# Automates

- ▶ Approche "systémique",
- ▶ Modélisation du comportement,
- ▶ Utilisation des événements pour "jouer" l'automate.



# Automates

## Définition

### Automate

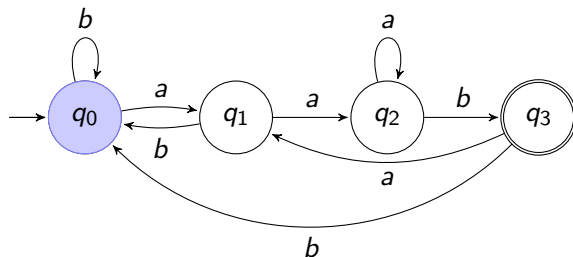
Un **automate** est un 4-uplet  $A = (\Sigma, Q, Q_0, T)$  :

- ▶  $\Sigma$  est un alphabet fini,
- ▶  $Q$  est l'ensemble des places (états, lieux, localités),
- ▶  $Q_0$  est l'ensemble des places initiales,
- ▶  $T \subset Q \times \textit{Sigma} \times Q$  est la fonction de transition.

$e = \langle q, a, q' \rangle$  est une transition de la place  $q$  vers la place  $q'$  étiquetée par la lettre  $a$ .

# Automates

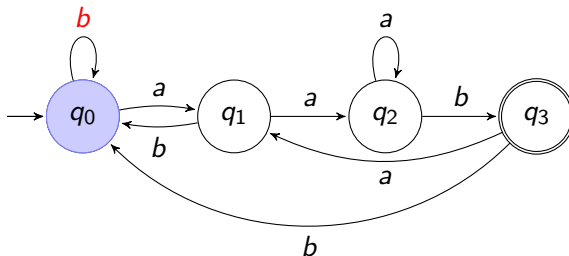
## Exemple



$\Sigma \longleftarrow b a b a a b$

# Automates

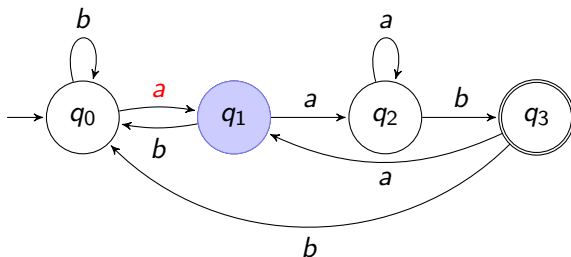
## Exemple



$\Sigma \leftarrow$  **b** a b a a b

# Automates

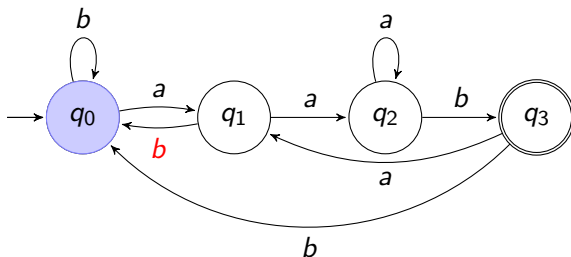
## Exemple



$\Sigma \leftarrow b \textcolor{red}{a} b a a b$

# Automates

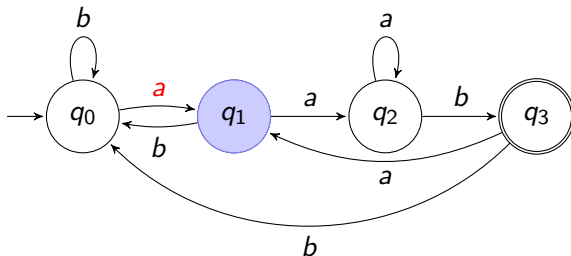
## Exemple



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

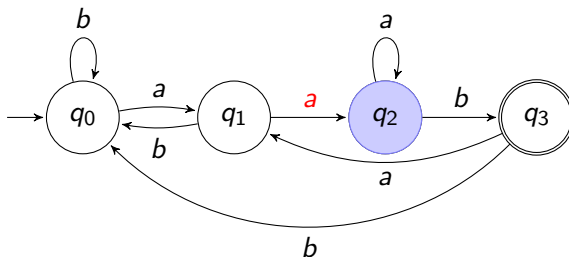
## Exemple



$\Sigma \longleftarrow b a b a b$

# Automates

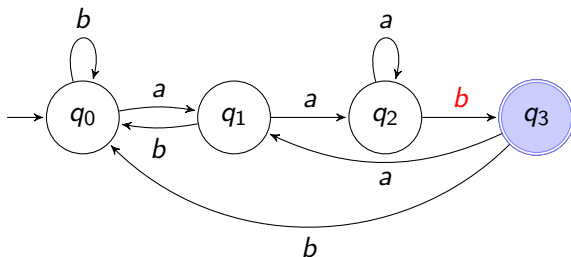
## Exemple



$\Sigma \longleftarrow b a b a a b$

# Automates

## Exemple



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$



# Automates

## Non-déterminisme

### Non-déterminisme

- ▶ Événements non-observables (ex. : pannes),
- ▶ Effets non-déterministes,
- ▶ Différentes modélisation (ensembliste, probabiliste, floue...)

# Automates

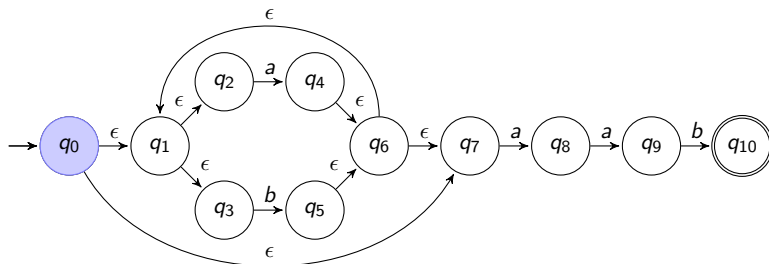
## Non-déterminisme

### Non-déterminisme

- ▶ Événements non-observables (ex. : pannes),
- ▶ Effets non-déterministes,
- ▶ Différentes modélisation (**ensembliste**, probabiliste, floue. . .)

# Automates

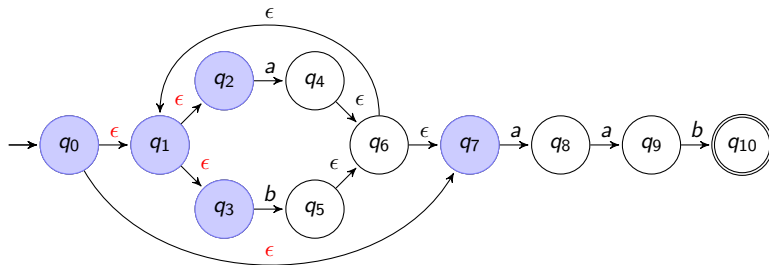
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

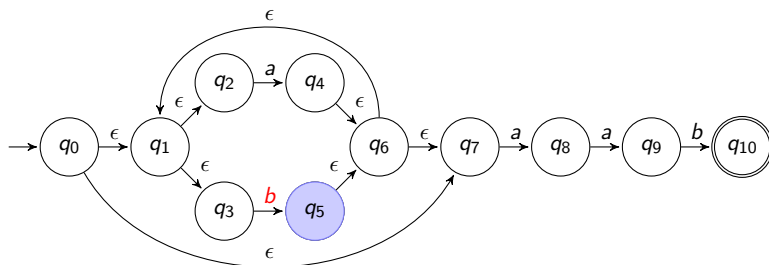
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

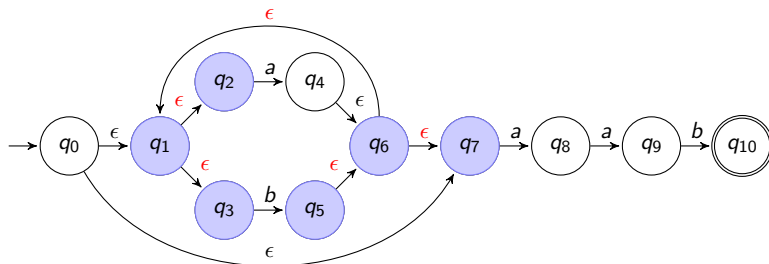
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow$  ***b** a b a a b*

# Automates

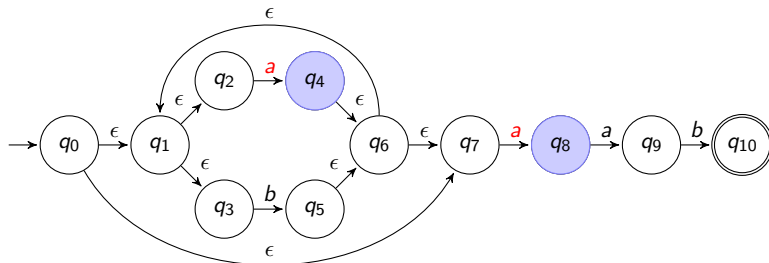
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

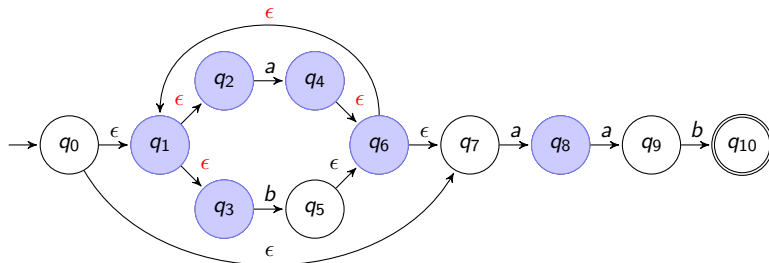
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow$     **b** **a** **b** **a** **a** **b**

# Automates

## Non-déterminisme

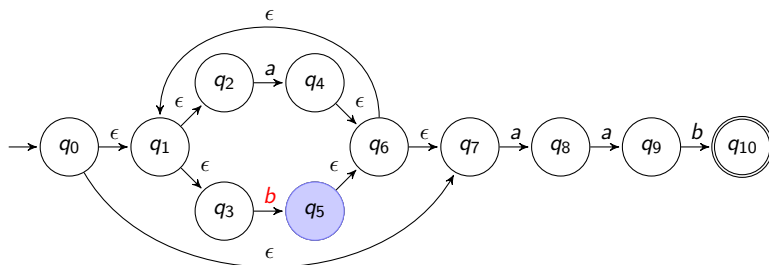


$\Sigma \leftarrow b a b a a b$



# Automates

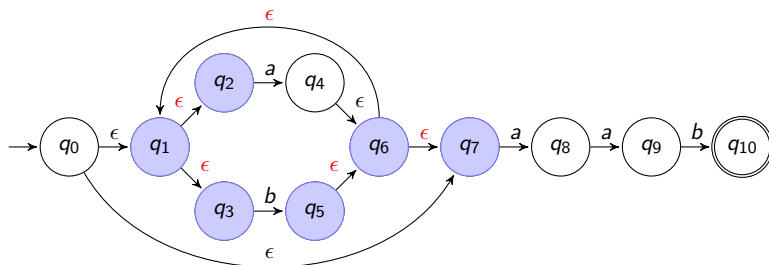
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow$      $b \ a \ b \ a \ a \ b$

# Automates

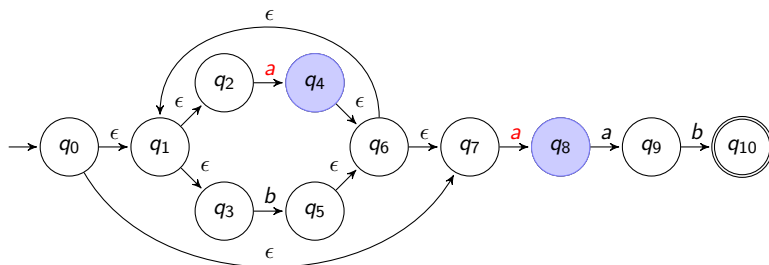
## Non-déterminisme



$\Sigma \longleftarrow b a b a a b$

# Automates

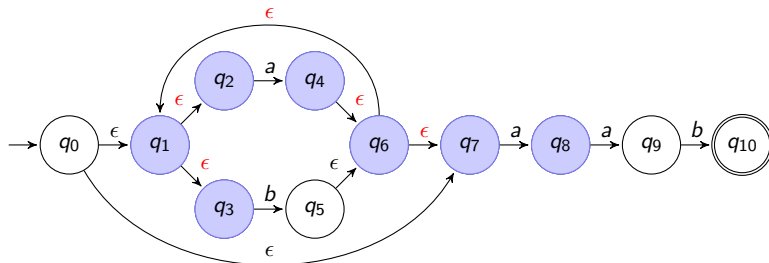
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow$     *b a b a b*

# Automates

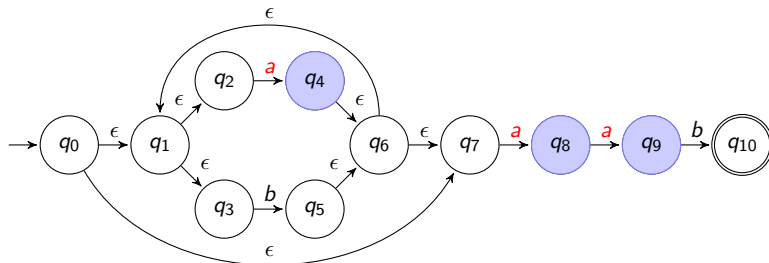
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

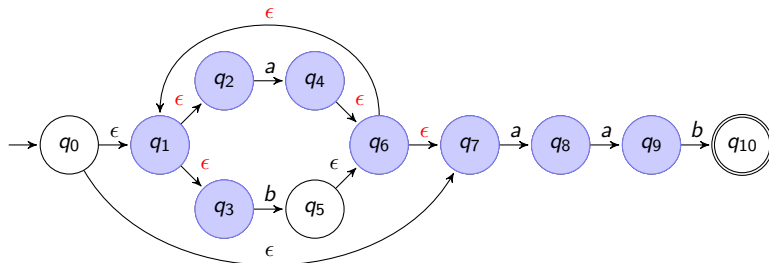
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

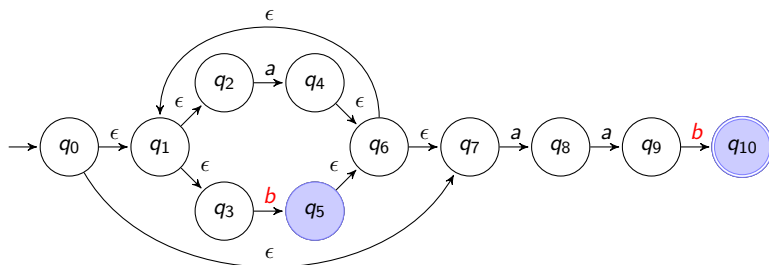
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow b a b a a b$

# Automates

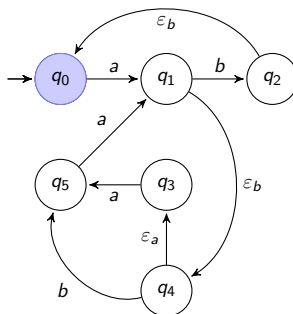
## Non-déterminisme



$\Sigma \leftarrow$     *b a b a a b*

# Automates

## Exemple : Détection de pannes

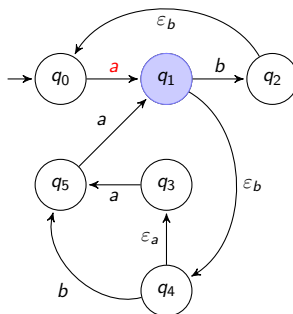


On reçoit les événements  $a$  puis  $b$  :  
quels états possibles ? panne possible ?



# Automates

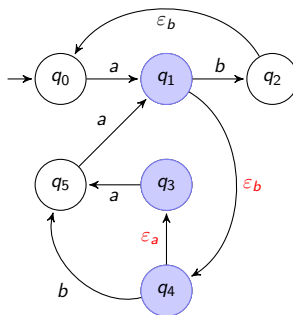
## Exemple : Détection de pannes



On reçoit les événements  $a$  puis  $b$  :  
quels états possibles ? panne possible ?

# Automates

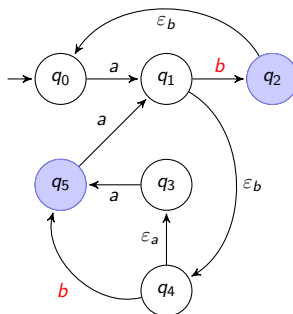
## Exemple : Détection de pannes



On reçoit les événements  $a$  puis  $b$  :  
quels états possibles ? panne possible ?

# Automates

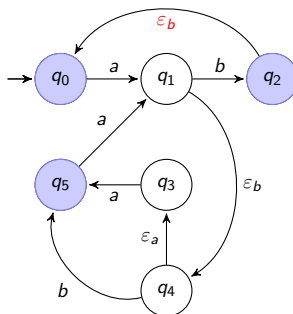
## Exemple : Détection de pannes



On reçoit les événements  $a$  puis  $b$  :  
quels états possibles ? panne possible ?

# Automates

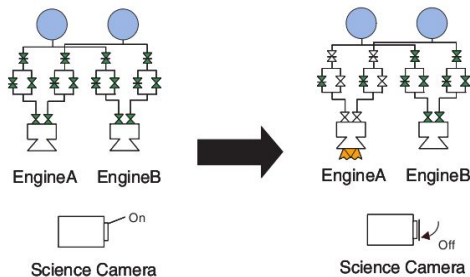
## Exemple : Détection de pannes



On reçoit les événements  $a$  puis  $b$  :  
quels états possibles ? panne possible ?

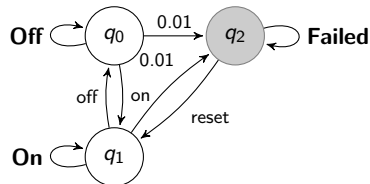
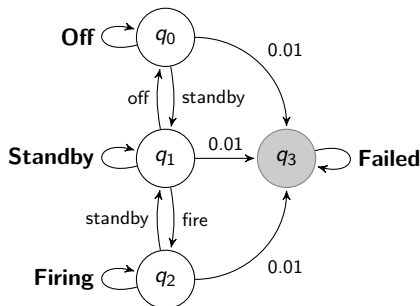
# Automates

Exemple : Rover martien (Williams *et al.*, 2004)



# Automates

Exemple : Rover martien (Williams *et al.*, 2004)



# Automates

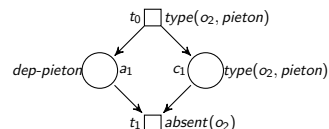
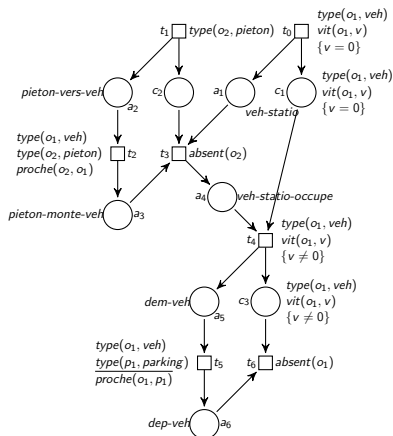
- ▶ Modèle riche (extension temporelles, probabilistes. . .),
- ▶ Estimation de l'état discret,
- ▶ Détection de modes défaillants.

# Kalmansymbo (Tessier, 2003)

- ▶ Basé sur les réseaux de Petri,
- ▶ Principe d'estimation récursif (prédiction/recalage),
- ▶ Basé sur les similitudes entre propriétés.



# Kalmansymbo (Tessier, 2003)

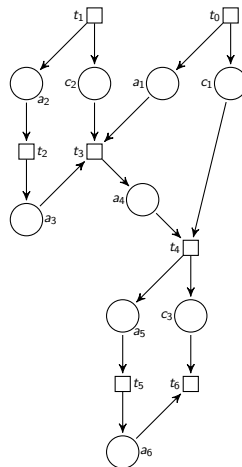


Modèles de Départ-Véhicule (gauche) et Déplacement-Piéton (droite)

# Kalmansymbo (Tessier, 2003)



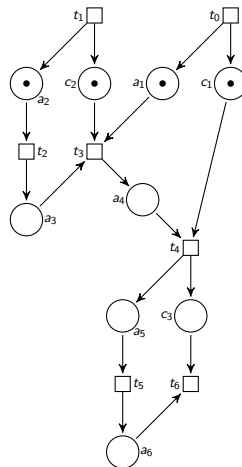
► Image acquise et traitée.



# Kalmansymbo (Tessier, 2003)



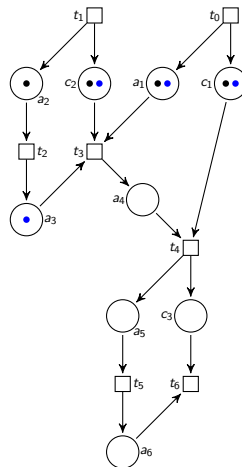
- Image acquise et traitée.
- Un piéton se déplace vers un véhicule.



# Kalmansymbo (Tessier, 2003)



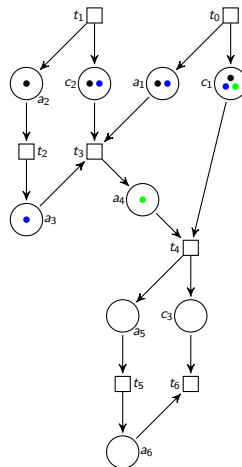
- ▶ Image acquise et traitée.
- ▶ Un piéton se déplace vers un véhicule.
- ▶ Le piéton est proche du véhicule.



# Kalmansymbo (Tessier, 2003)



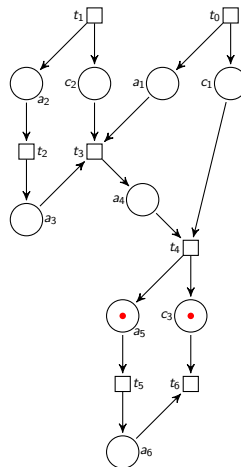
- Image acquise et traitée.
- Un piéton se déplace vers un véhicule.
- Le piéton est proche du véhicule.
- Le piéton disparaît de l'image.



# Kalmansymbo (Tessier, 2003)



- ▶ Image acquise et traitée.
- ▶ Un piéton se déplace vers un véhicule.
- ▶ Le piéton est proche du véhicule.
- ▶ Le piéton disparaît de l'image.
- ▶ Le véhicule se déplace.



# Kalmansymbo

- ▶ Modélisation des comportements du système,
- ▶ Prédiction,
- ▶ Gestion de l'incertitude,
- ▶ Étape de prétraitement conséquente.

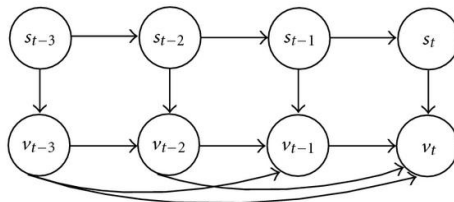
# Réseaux Bayésiens

- ▶ Permet de modéliser des connaissances incomplètes ;
- ▶ 2 aspects :
  - ▶ Un graphe orienté acyclique :
    - ▶ un noeud représente une variable aléatoire discrète ;
    - ▶ un arc représente l'influence directe entre variables ;
  - ▶ Une distribution de probabilité pour chaque nœud :
    - ▶ Conditionnée par les variables "parentes".



# Réseaux Bayésiens

- Formalisme de base :
  - Statique (pas d'évolution temporelle)
- Extensions :
  - Réseaux Bayésiens dynamiques



# Réseaux Bayésiens

## Utilisation

- ▶ Inférence : obtenir la probabilité d'un ensemble de variables  $R$  étant donné la valeur des variables  $C$  ;
  - ▶  $P(a) + P(\bar{a}) = 1$
  - ▶  $P(a \wedge b) = P(a) \times P(b|a)$
  - ▶  $P(a|b) = \frac{P(b|a) \times P(a)}{P(b)}$  (règle de Bayes)
- ▶ Apprentissage : estimer la structure (graphe) et les paramètres (probabilités) du modèle à partir de données statistiques  $D$ .

# Réseaux Bayésiens

## Exemple

- ▶ Je souhaite acheter une voiture modèle  $X$  ;
- ▶ AutoPlus indique que 30% ont des problèmes de transmission ;
- ▶ Je peux faire essayer une voiture par un ami mécano :
  - ▶ Il reconnaît 90% des voitures défectueuses ;
  - ▶ Il reconnaît 80% des voitures non défectueuses.
- ▶ Questions :
  - ▶ Probabilité d'acheter une voiture non défectueuse sachant que le diagnostic la reconnaît comme non défectueuse ?
  - ▶ Probabilité d'acheter une voiture non défectueuse (sans diagnostic) ?
  - ▶ Probabilité d'acheter une voiture non défectueuse sachant que le diagnostic la reconnaît comme défectueuse ?

Introduction

Systèmes à événements discrets

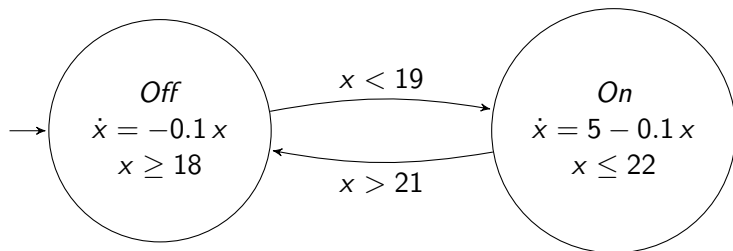
**Systèmes hybrides**

Automates hybrides

Réseaux de Petri hybrides

Suivi de l'activité de pilotage

# Automates hybrides (Alur et al., 1993)



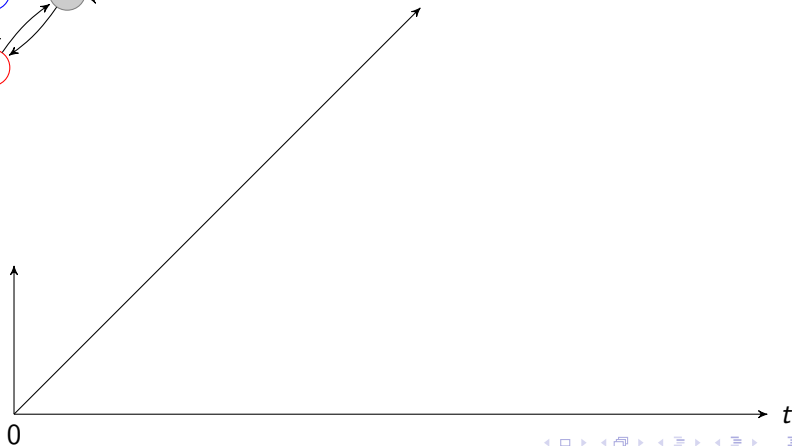
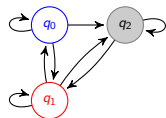
Automate hybride d'un thermostat

# Automates hybrides

- ▶ Mesure **numérique** → vecteur d'état du système,
  - ▶ Technique de filtrage numérique,
  - ▶ Situation : état de l'automate
- ⇒ Estimation de mode.
- ▶ Automates hybrides probabilistes + filtres de Kalman (Hofbaur et Williams, 2002),
  - ▶ Automates hybrides + filtrage particulaire (Koutsoukos *et al.*, 2003).

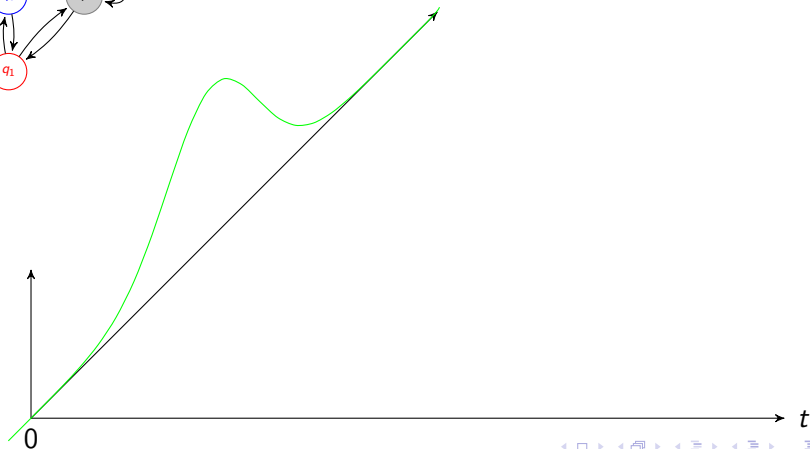
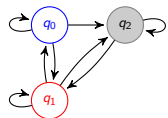
# Automates hybrides

## Filtrage particulaire



# Automates hybrides

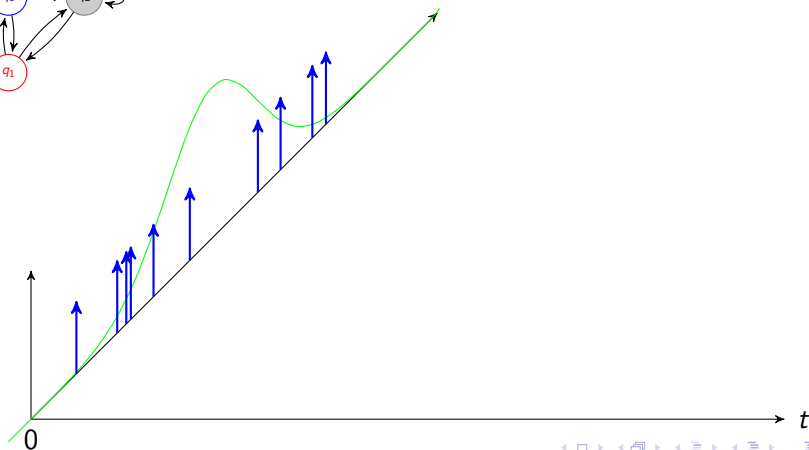
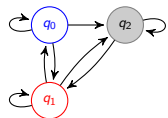
## Filtrage particulaire





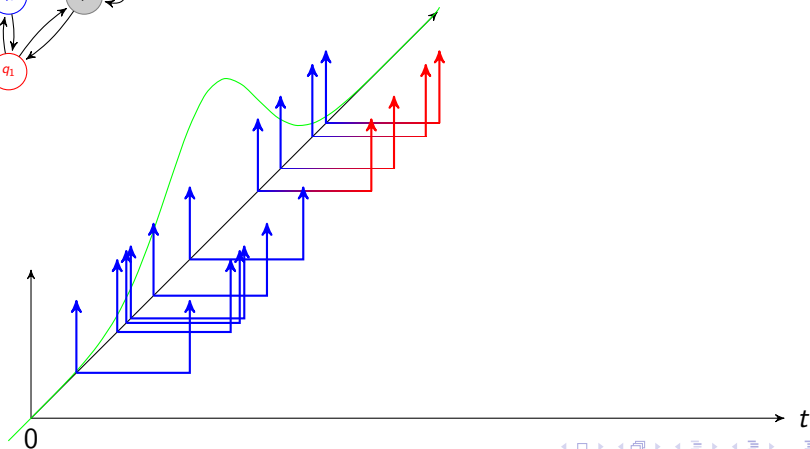
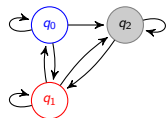
# Automates hybrides

## Filtrage particulière



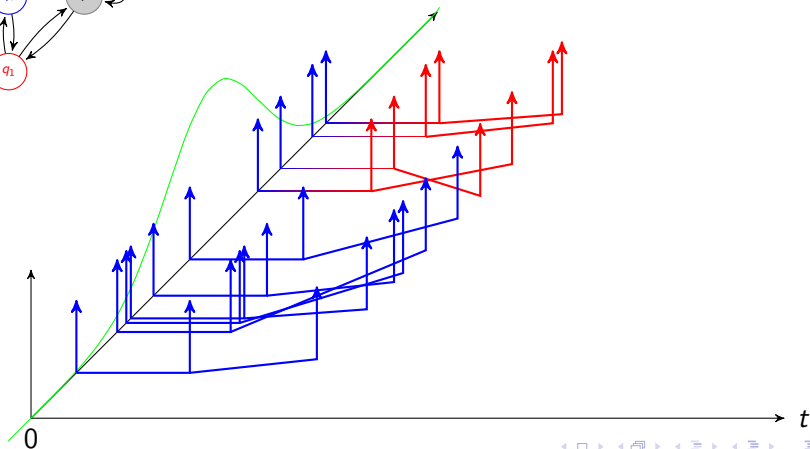
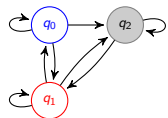
# Automates hybrides

## Filtrage particulière



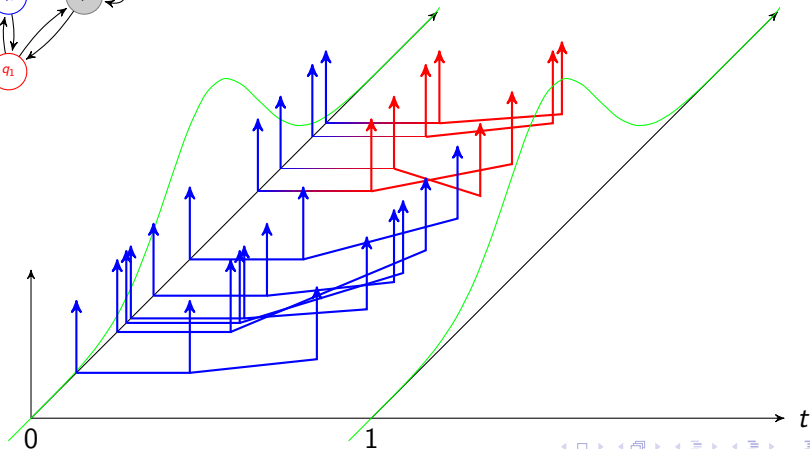
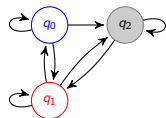
# Automates hybrides

## Filtrage particulière



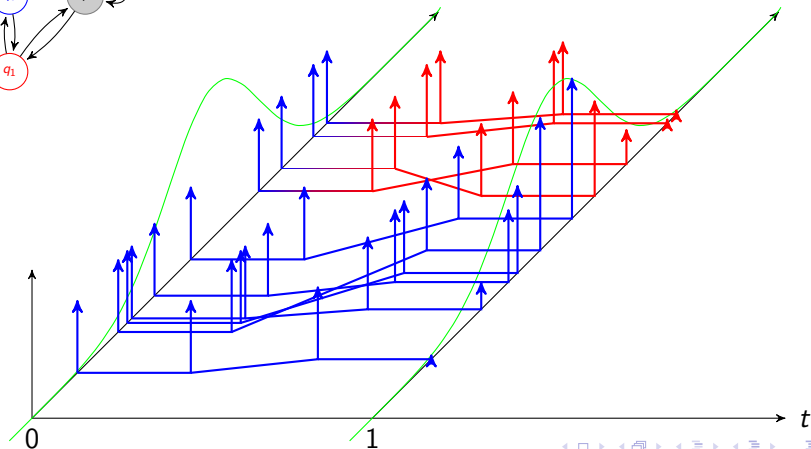
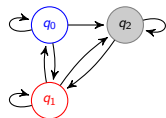
# Automates hybrides

## Filtrage particulière



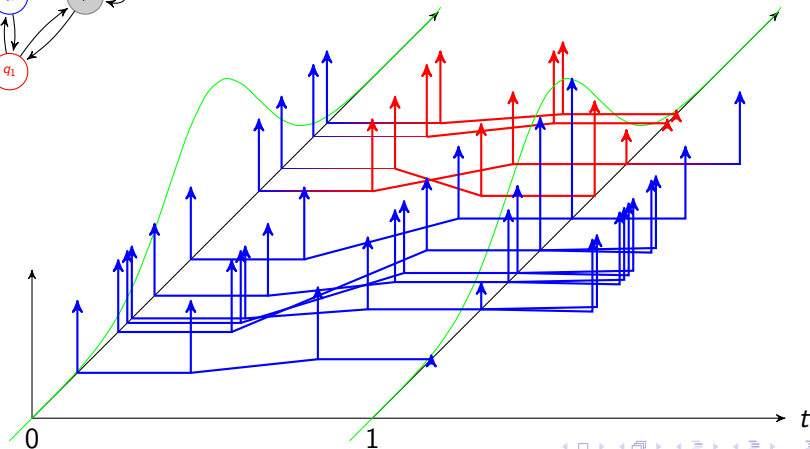
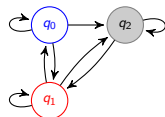
# Automates hybrides

## Filtrage particulaire



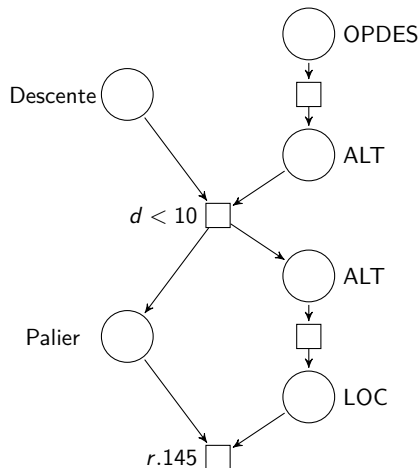
# Automates hybrides

## Filtrage particulière



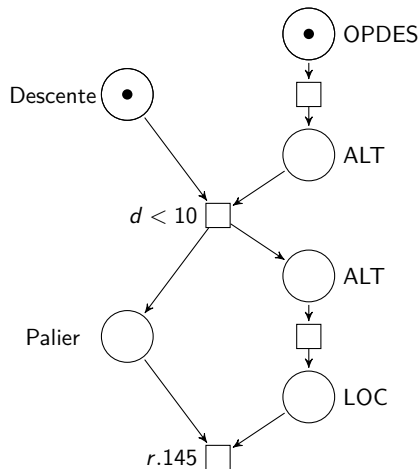
# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

- RdP → dynamique discrète



# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

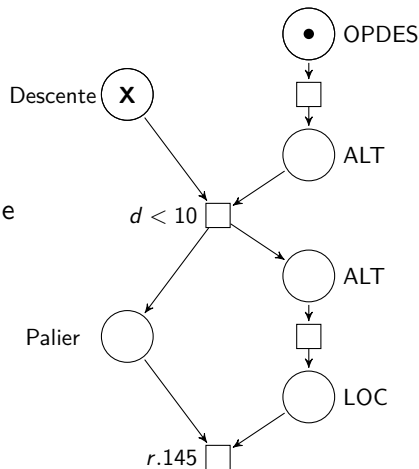
- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret





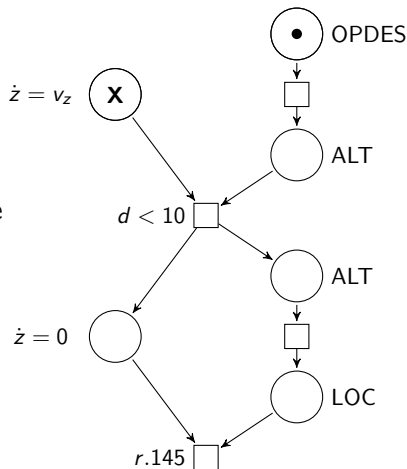
# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret
- ▶ Jeton numérique → état hybride



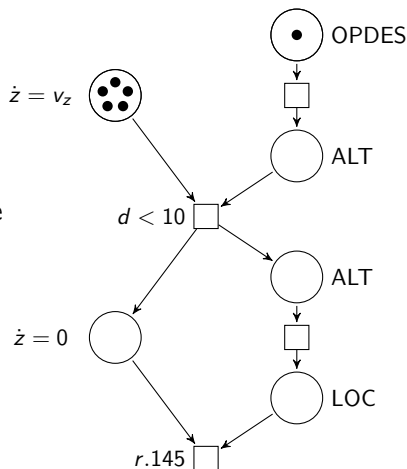
# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret
- ▶ Jeton numérique → état hybride
- ▶ Eq. Dif. → dynamique hybride



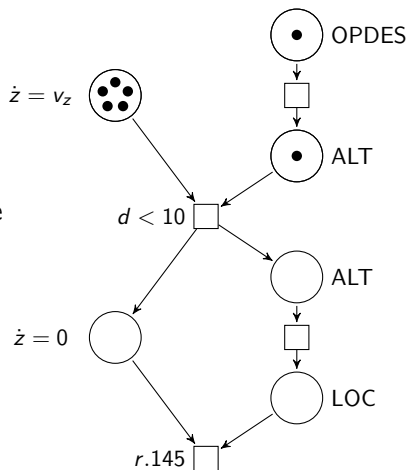
# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret
- ▶ Jeton numérique → état hybride
- ▶ Eq. Dif. → dynamique hybride
- ▶ Particules → incertitude hybride

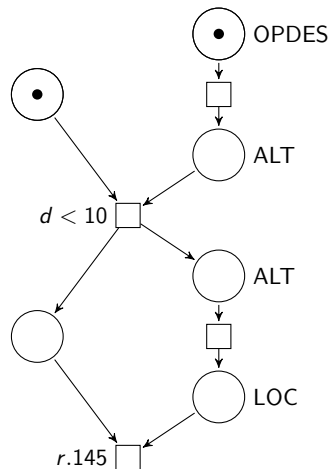
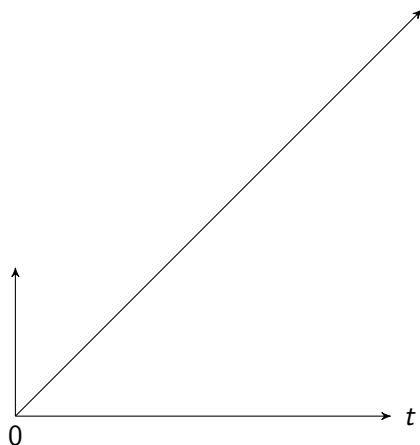


# Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

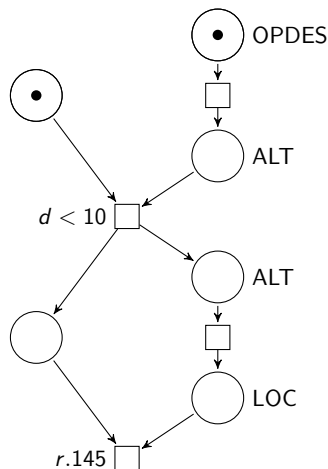
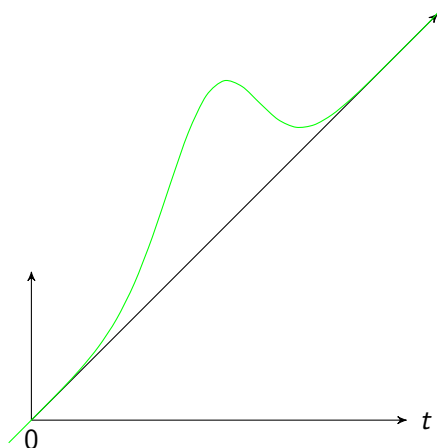
- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret
- ▶ Jeton numérique → état hybride
- ▶ Eq. Dif. → dynamique hybride
- ▶ Particules → incertitude hybride
- ▶ Macro-marquage → incertitude symbolique



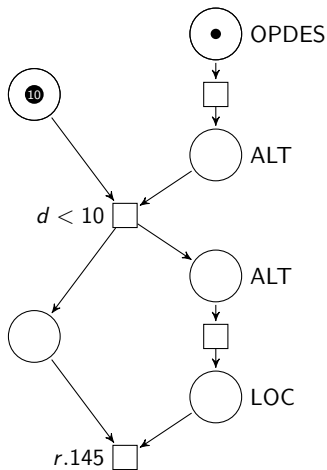
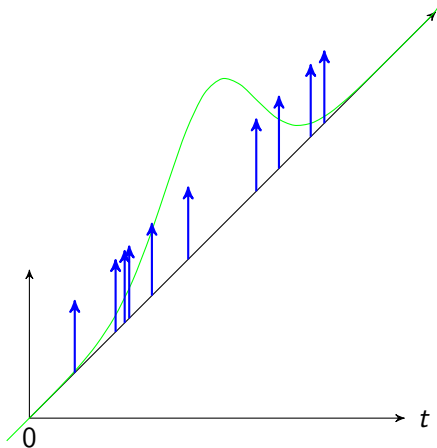
# Réseaux de Petri particuliers



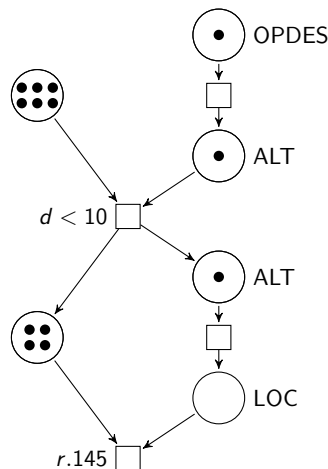
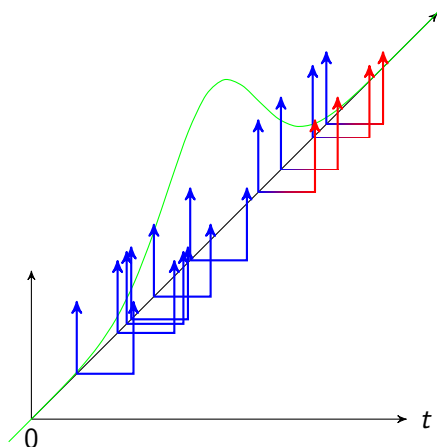
# Réseaux de Petri particuliers



## Réseaux de Petri particuliers

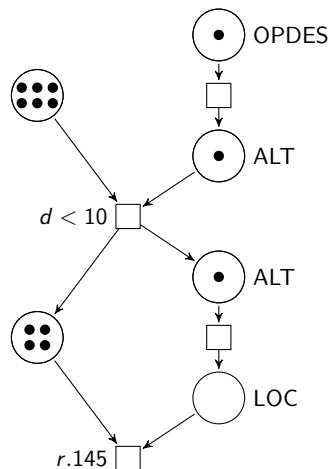
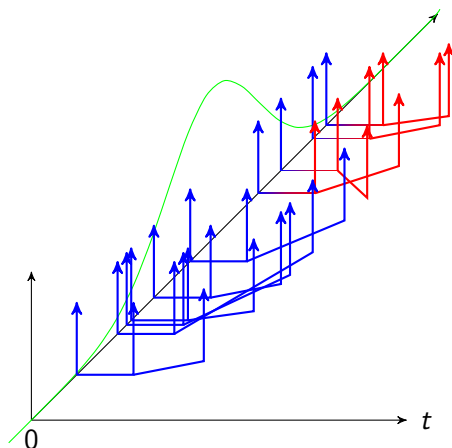


# Réseaux de Petri particuliers

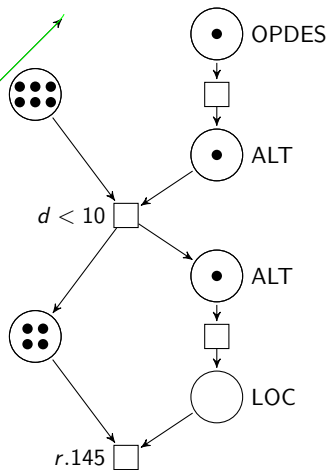
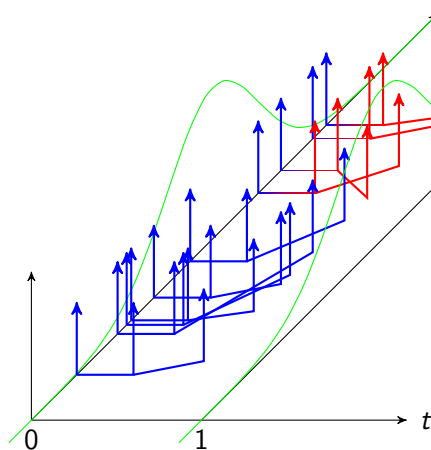




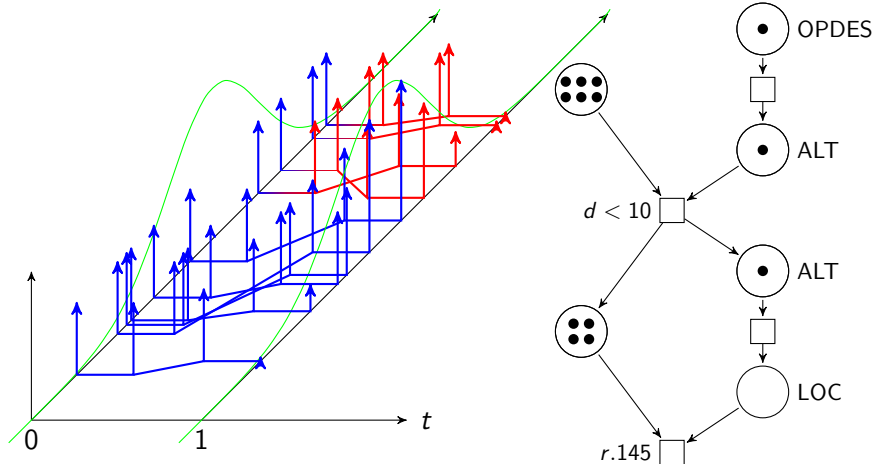
# Réseaux de Petri particuliers



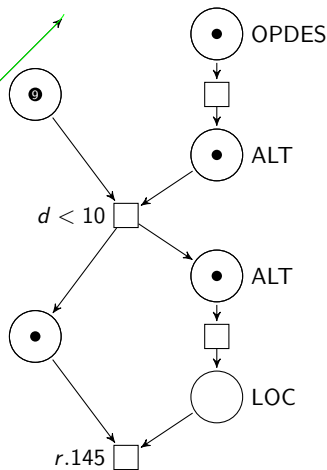
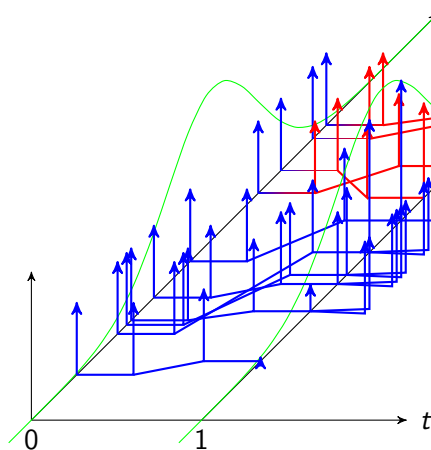
# Réseaux de Petri particuliers



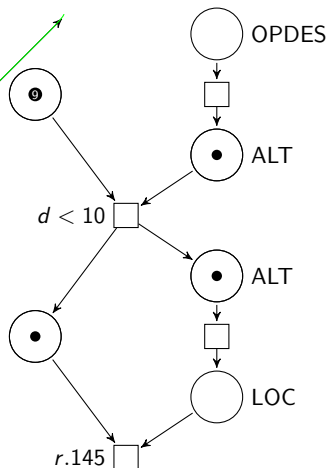
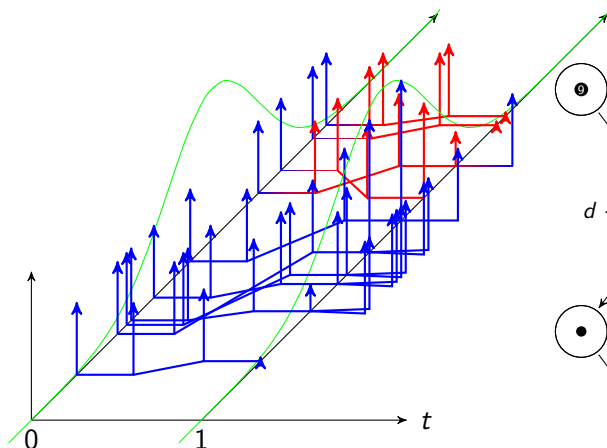
# Réseaux de Petri particuliers



# Réseaux de Petri particuliers

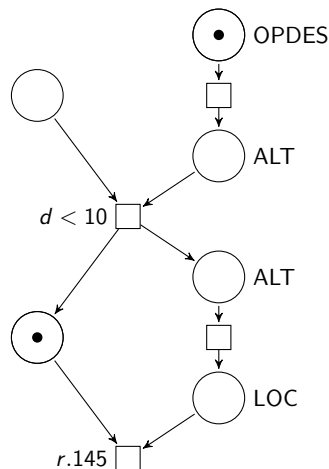


# Réseaux de Petri particuliers



# Réseaux de Petri particuliers

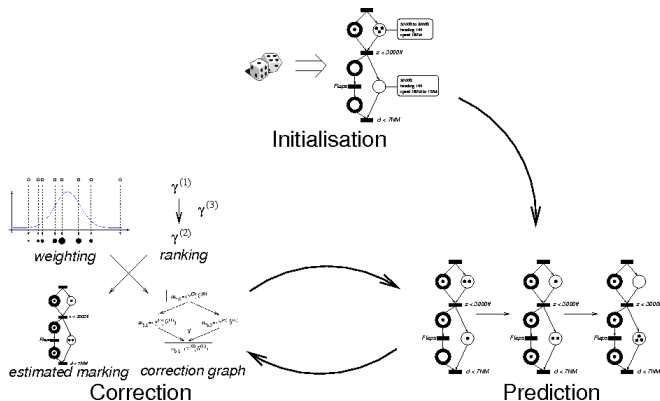
- ▶ Modèle riche
  - ▶ Pas d'interaction continu/discret lors du recalage
- ⇒ détection d'incohérences



## Réseaux de Petri particuliers

- ▶ Places numériques, associées à des équations d'évolution (modes continus) ;
- ▶ Places symboliques, associées à des configurations (modes discrets) ;
- ▶ Transitions représentant les changements de mode, selon :
  - ▶ l'évolution continue (gardes sur les paramètres du vecteur d'état) ;
  - ▶ l'évolution discrète (actions / événements externes) ;
- ▶ Marquage hybride :
  - ▶ jetons **noirs** dans les places symboliques (modes discrets possibles du système)
  - ▶ **particules** dans les places numériques (distribution sur le vecteur d'état)

## Réseaux de Petri particuliers





# Réseaux de Petri particuliers

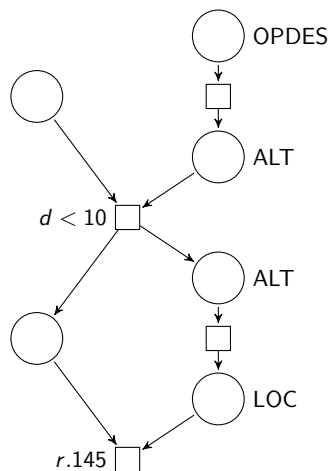
- ▶  $\frac{\text{nombre de particules dans } p}{\text{nombre de places}} = \frac{|\mathcal{M}(p)|}{N} = \text{probabilité d'être dans le mode numérique associé à } p$
- ▶ On agrège donc cette information, pour avoir :
  - ▶ une proba pour chaque place numérique
  - ▶ un classement pour chaque place symbolique
- ▶ On regarde le couple  $(p, q)$  le plus vraisemblable :  $\longrightarrow$  est-il accessible depuis le marquage initial ?



## Suivi de l'activité de pilotage (Dehais *et al.*, 2005)

- ▶ Le système avion–pilote est **hybride** :
  - ▶ Dynamique continue de l'avion,
  - ▶ Actions discrètes du pilote.
- ▶ Modélisation sous forme de **réseau de Petri particulière**
- ▶ Intégration de mécanisme de détection de conflits

# Suivi de l'activité de pilotage

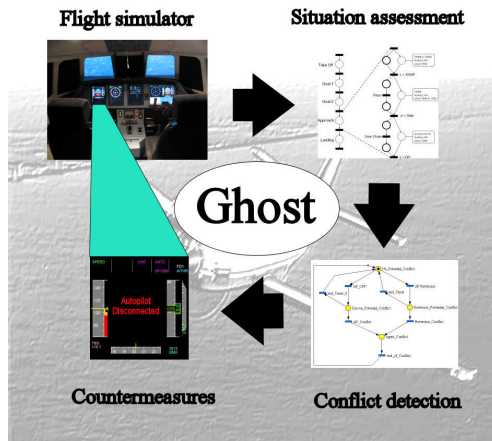


- Modélisation de la trajectoire avion
  - De sa configuration (volets, train...)
  - Du comportement du PA (modes, transitions)
  - Des actions pilotes (en lien avec PA / conf.)
- 
- Détection d'incohérences
  - Identification de modes défailants

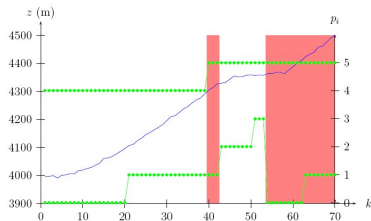
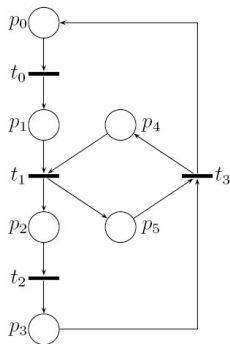
## Suivi de l'activité de pilotage



# Suivi de l'activité de pilotage



# Suivi de l'activité de pilotage



Estimation et détection d'incohérences

→ incohérence détectée à partir de  $t = 60$

# Suivi de l'activité de pilotage

## Conclusion

- ▶ Formalisme pour le suivi du comportement avion–pilote
- ▶ Détection d'incohérences → **conflits**
- ▶ **Prédiction** de conflits
- ▶ Utilisation de **données physio** pour l'état du pilote
- ▶ Assistance au pilotage (présentation des infos estimation)
- ▶ Automatisation (partielle) de certaines procédures