

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

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

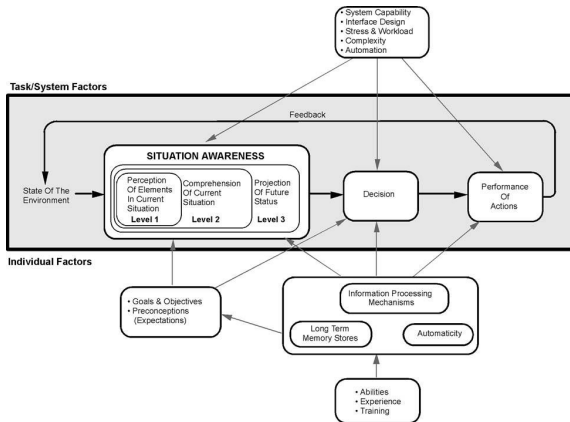
Situation awareness involves being aware of what is happening around you to understand how information, events, and your own actions will impact goals and objectives, both now and in the near future.

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

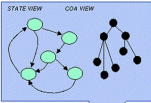
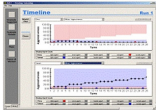
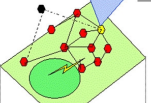
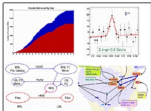
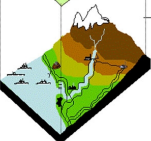



Place du Suivi de Situation chez l'opérateur (Endsley, 1995)

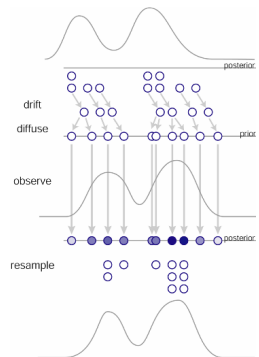
Suivi de situation

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

- ▶ 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



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

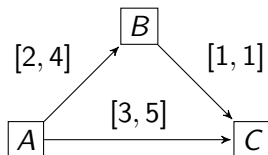
Chronique (Dousson *et al.*, 1993)

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.

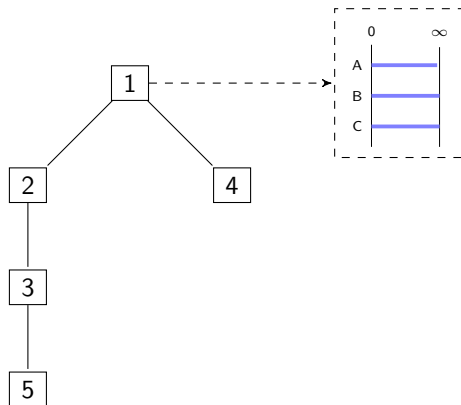
Chroniques

Exemple (Vu Duong, 2001)

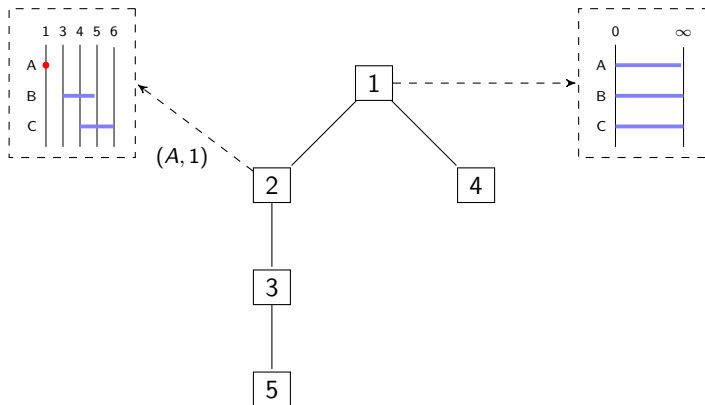


```
chronicle Ch {  
    event(A, ta) ;  
    event(B, tb) ;  
    event(C, tc) ;  
  
    tb - ta in [2, 4] ;  
    tc - ta in [3, 5] ;  
    tc - tb in [1, 1] ;  
}
```

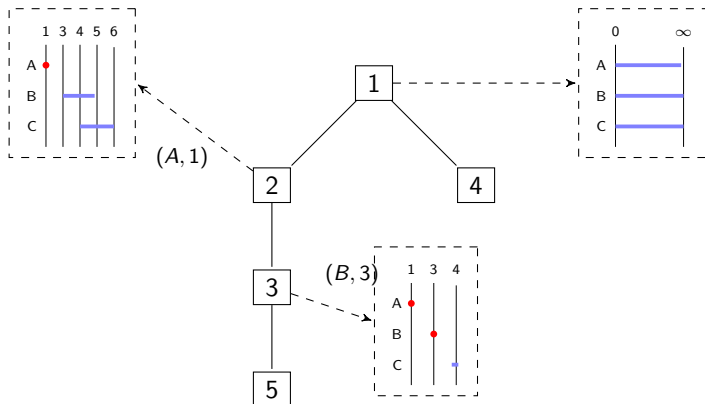
Reconnaissance de Chroniques



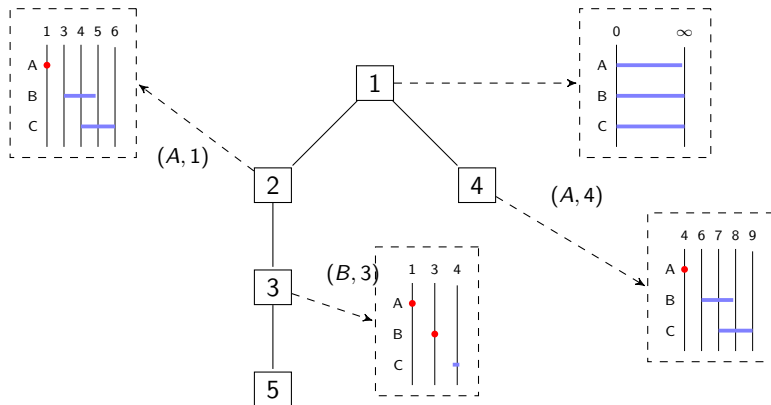
Reconnaissance de Chroniques



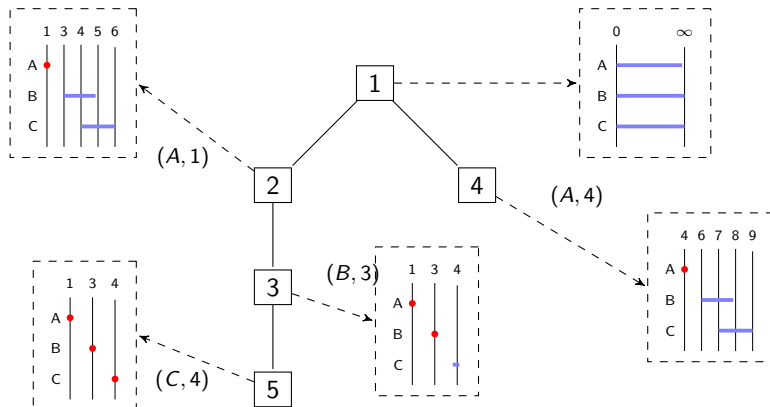
Reconnaissance de Chroniques



Reconnaissance de Chroniques



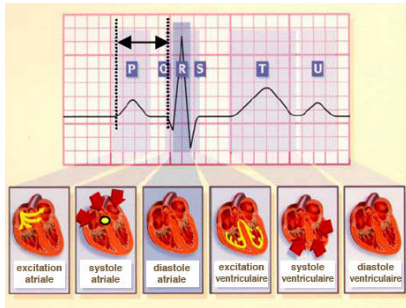
Reconnaissance de Chroniques



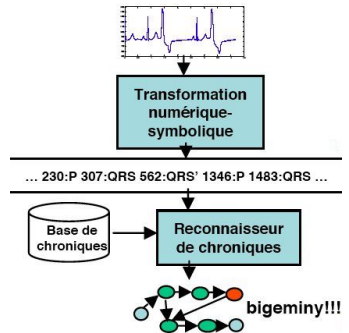
Reconnaissance de Chroniques

- ▶ 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)

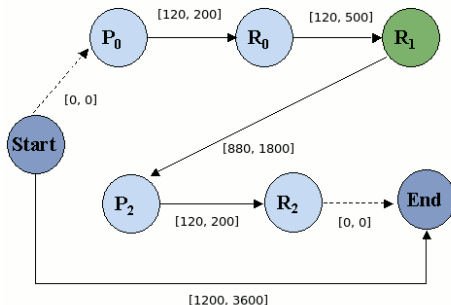


Contraction cardiaque et ECG

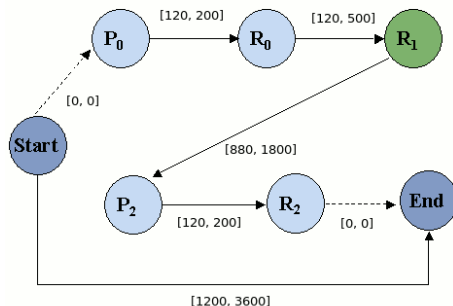


Principe de reconnaissance de pathologies

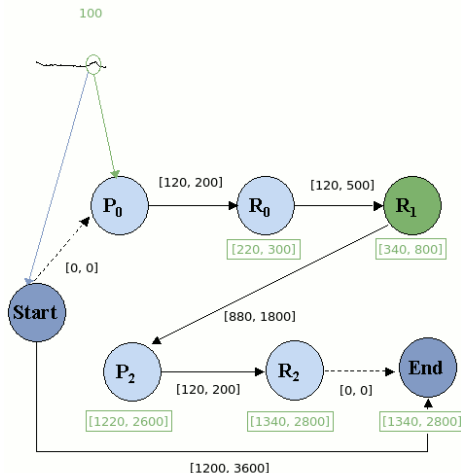
Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



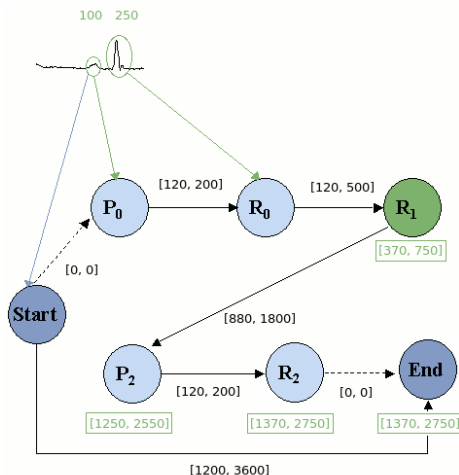
Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



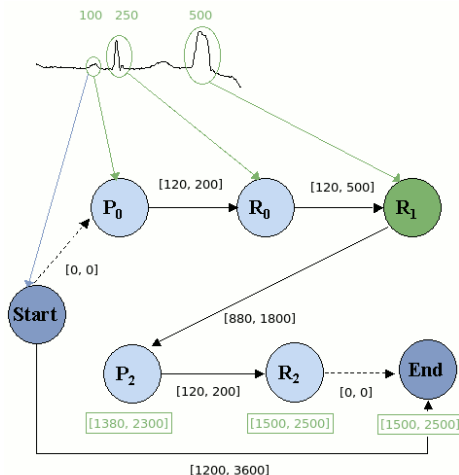
Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



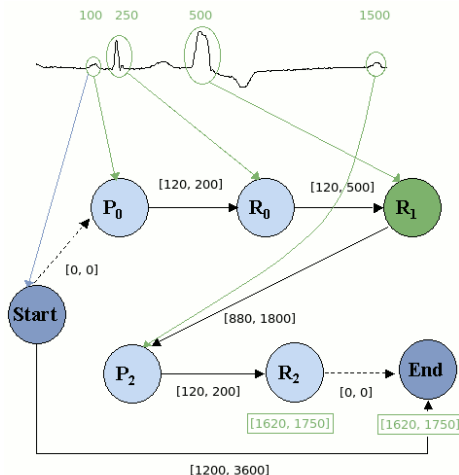
Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



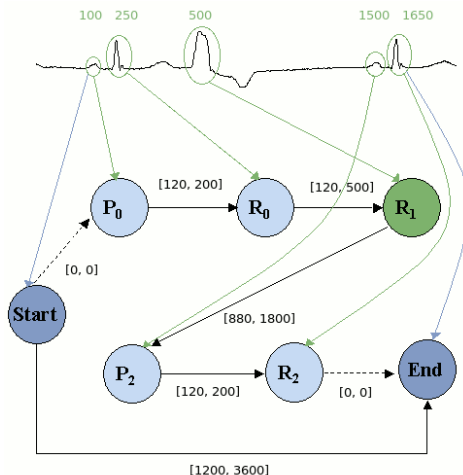
Diagnostic d'arythmies cardiaques (Quiniou *et al.*, 2008)



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



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



Reconnaissance d'activités sur vidéos (Rota et Thonnat, 2000)



Reconnaissance d'une scène de prise d'hotage dans une banque

Automates

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

Automates

Définition

Automate

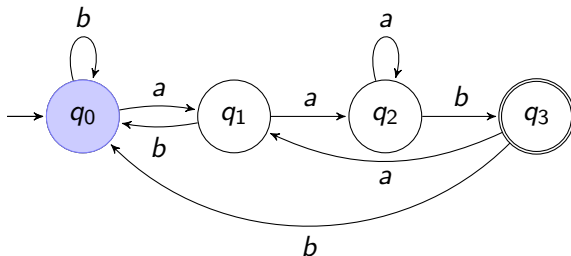
Un **automate** est un 4-uplet $A = (\Sigma, Q, Q_0, T)$:

- ▶ Σ 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

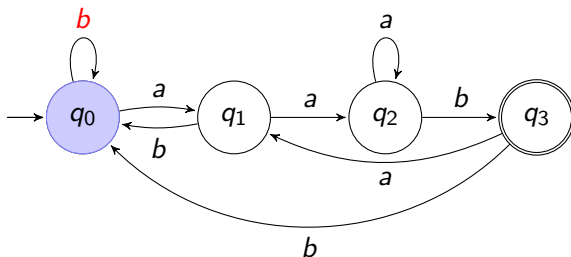
Exemple



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

Automates

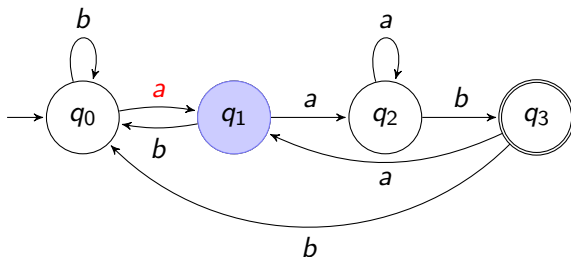
Exemple



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

Automates

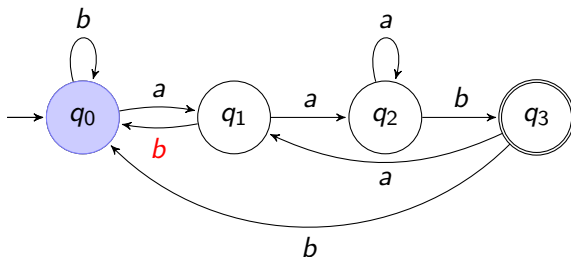
Exemple



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

Automates

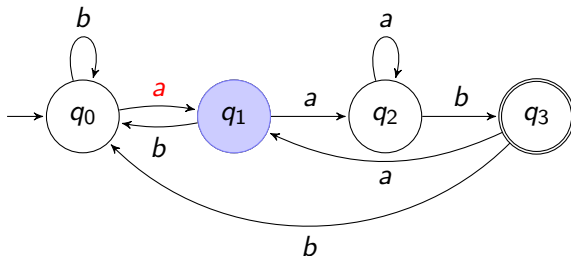
Exemple



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

Automates

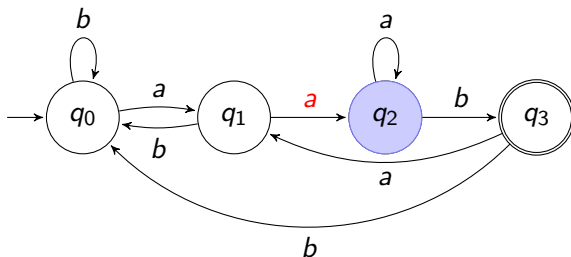
Exemple



$\Sigma \longleftarrow b a b a b$

Automates

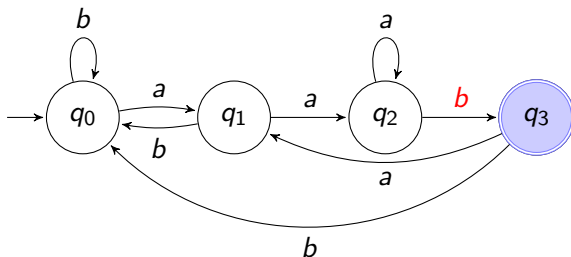
Exemple



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

Automates

Exemple



$\Sigma \longleftarrow$ *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

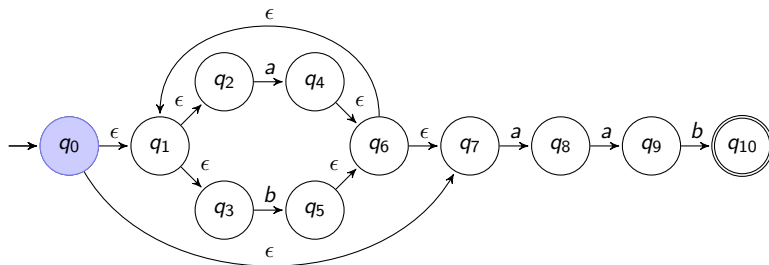
Non-déterminisme

Non-déterminisme

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

Automates

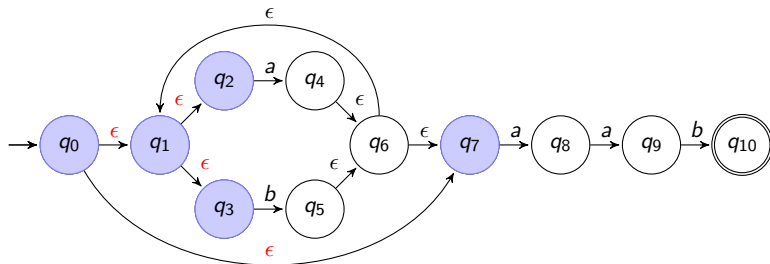
Non-déterminisme



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

Automates

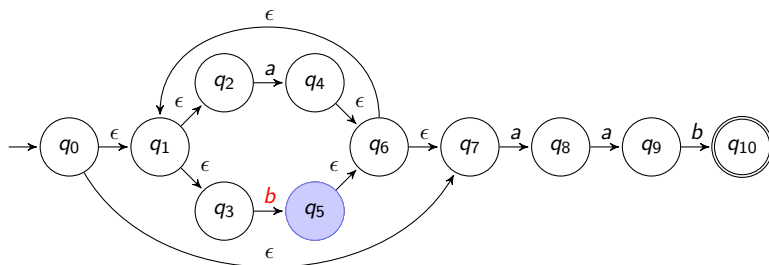
Non-déterminisme



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

Automates

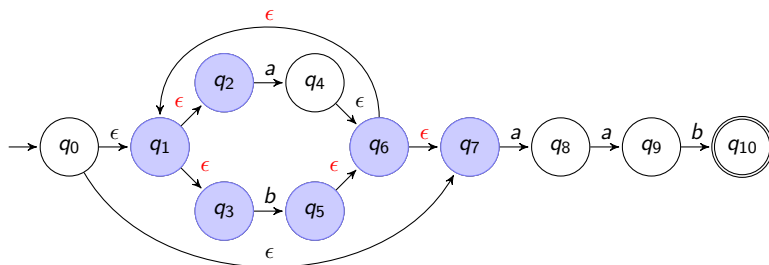
Non-déterminisme



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

Automates

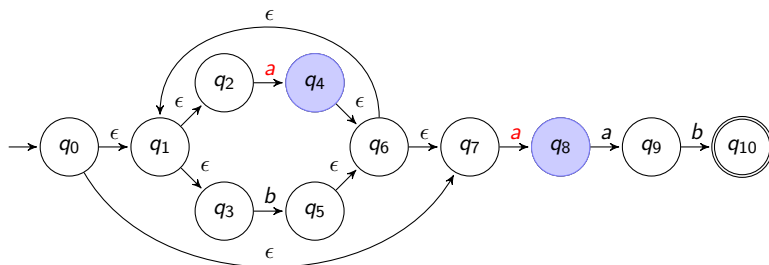
Non-déterminisme



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

Automates

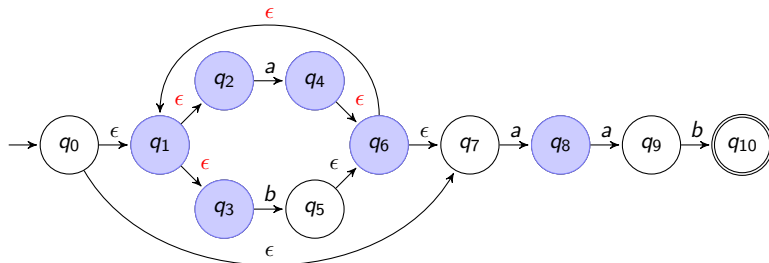
Non-déterminisme



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

Automates

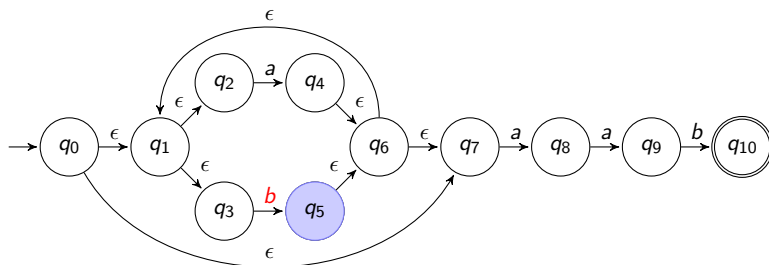
Non-déterminisme



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

Automates

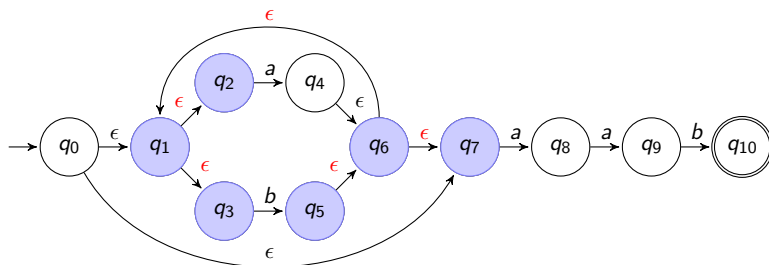
Non-déterminisme



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

Automates

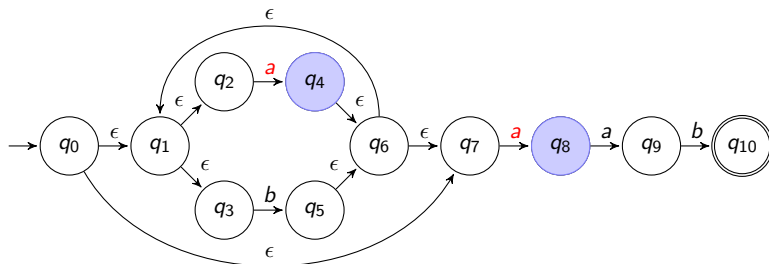
Non-déterminisme



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

Automates

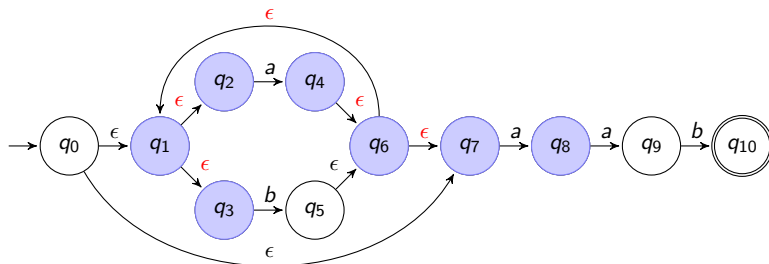
Non-déterminisme



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

Automates

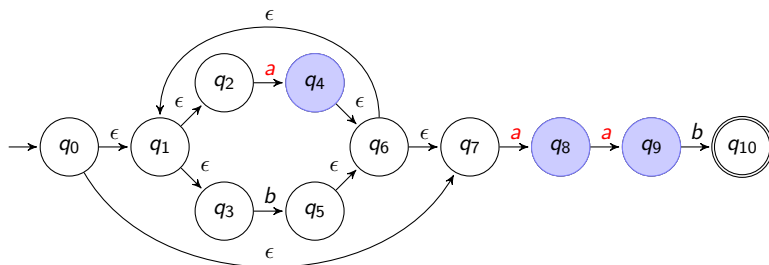
Non-déterminisme



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

Automates

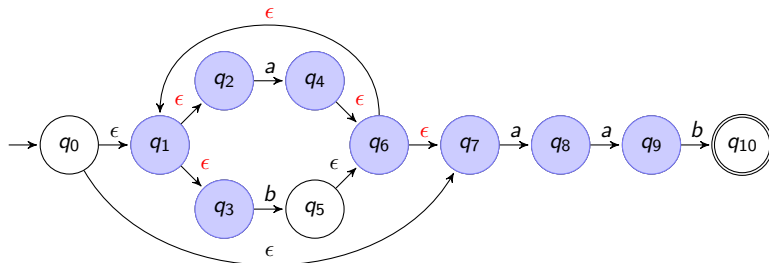
Non-déterminisme



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

Automates

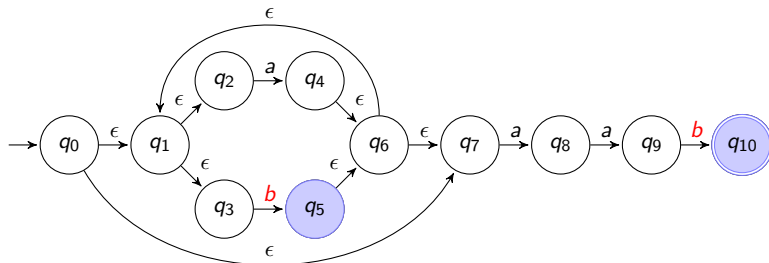
Non-déterminisme



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

Automates

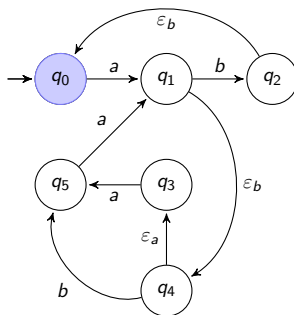
Non-déterminisme



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

Automates

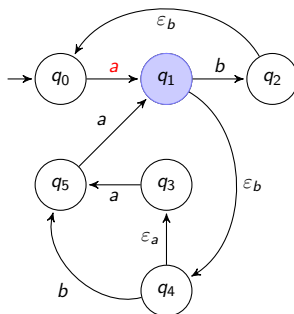
Exemple : Détection de pannes



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

Automates

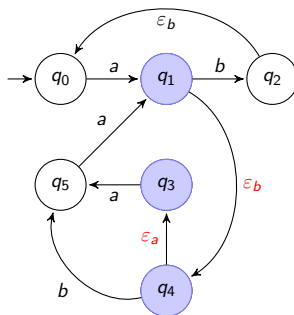
Exemple : Détection de pannes



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

Automates

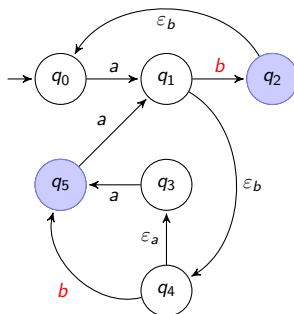
Exemple : Détection de pannes



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

Automates

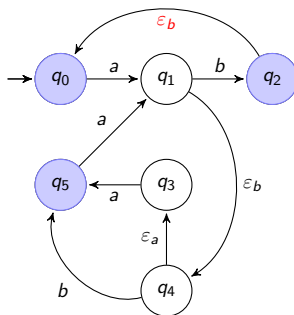
Exemple : Détection de pannes



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

Automates

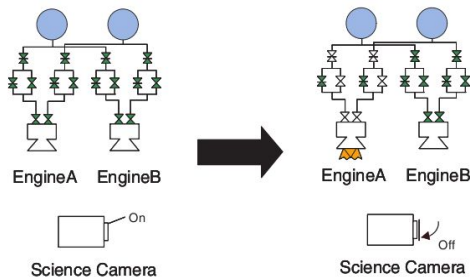
Exemple : Détection de pannes



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

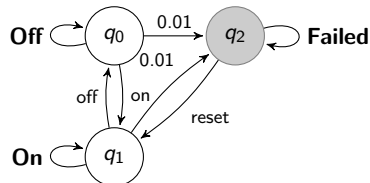
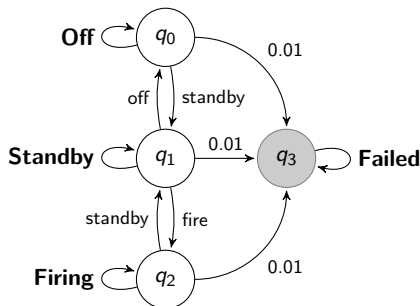
Automates

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



Automates

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



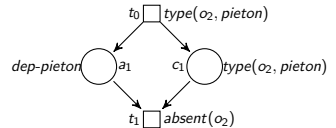
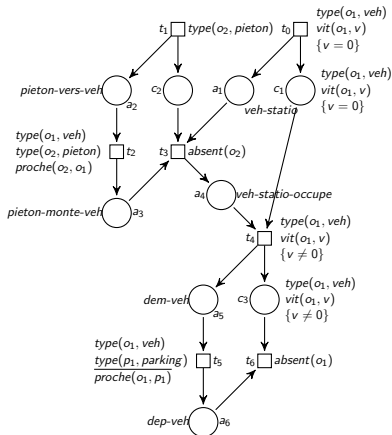
Automates

- ▶ 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)

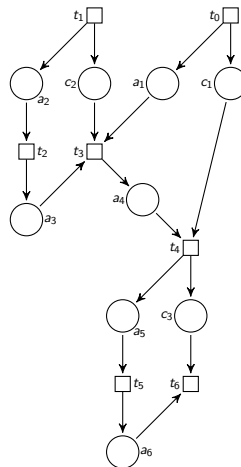


Modèles de Départ-Véhicule (gauche) et Déplacement-Piéton (droite)

Kalmansymbo (Tessier, 2003)



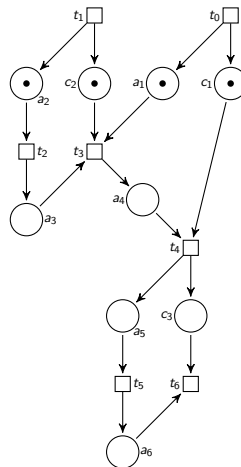
► Image acquise et traitée.



Kalmansymbo (Tessier, 2003)



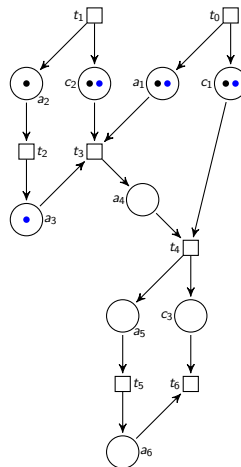
- Image acquise et traitée.
- Un piéton se déplace vers un véhicule.



Kalmansymbo (Tessier, 2003)



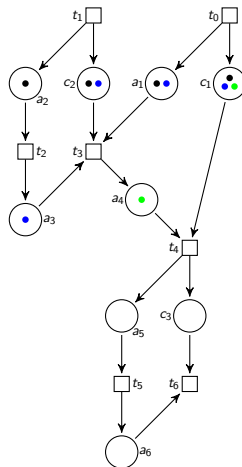
- ▶ Image acquise et traitée.
- ▶ Un piéton se déplace vers un véhicule.
- ▶ Le piéton est proche du véhicule.



Kalmansymbo (Tessier, 2003)



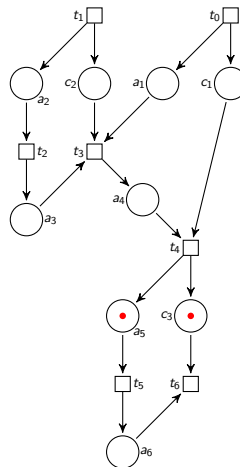
- Image acquise et traitée.
- Un piéton se déplace vers un véhicule.
- Le piéton est proche du véhicule.
- Le piéton disparaît de l'image.



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

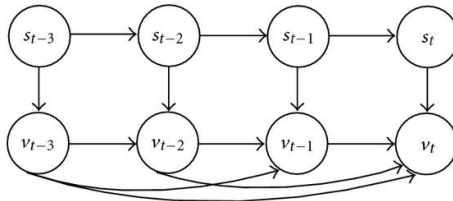
- ▶ Modélisation des comportements du système,
- ▶ Prédiction,
- ▶ Gestion de l'incertitude,
- ▶ Étape de prétraitement conséquente.

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

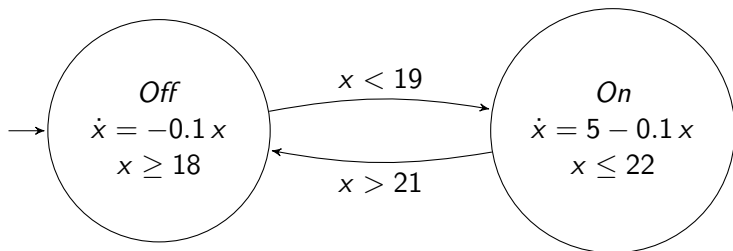
- ▶ Inférence : obtenir la probabilité d'un ensemble de variables R étant donné la valeur des variables C ;
 - ▶ $P(a) + P(\bar{a}) = 1$
 - ▶ $P(a \wedge b) = P(a) \times P(b|a)$
 - ▶ $P(a|b) = \frac{P(b|a) \times P(a)}{P(b)}$ (règle de Bayes)
- ▶ Apprentissage : estimer la structure (graphe) et les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

Automates hybrides (Alur et al., 1993)



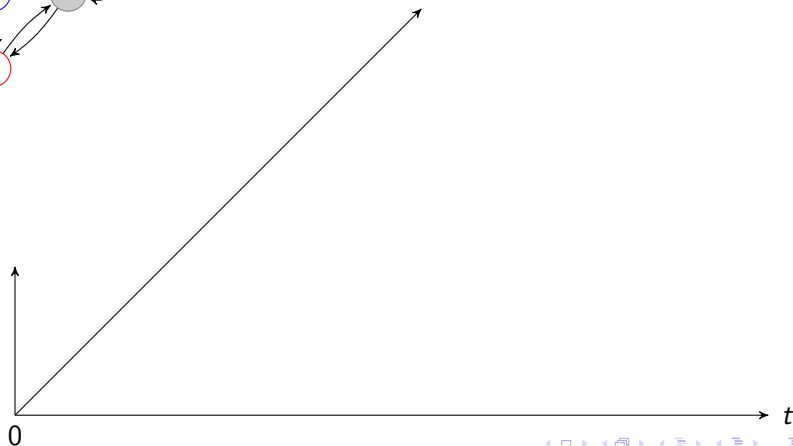
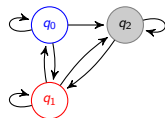
Automate hybride d'un thermostat

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).

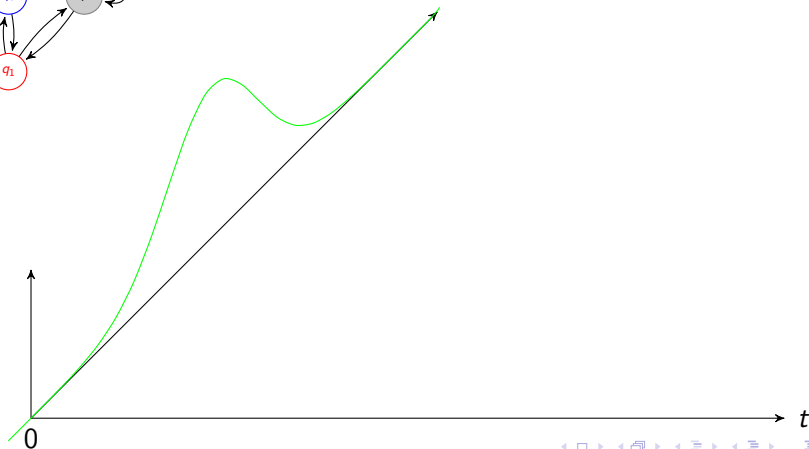
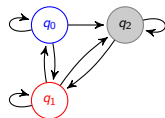
Automates hybrides

Filtrage particulaire



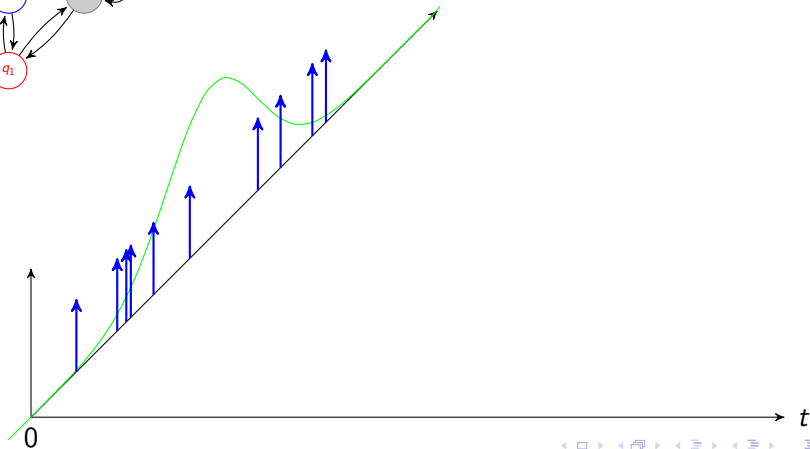
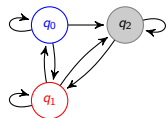
Automates hybrides

Filtrage particulaire



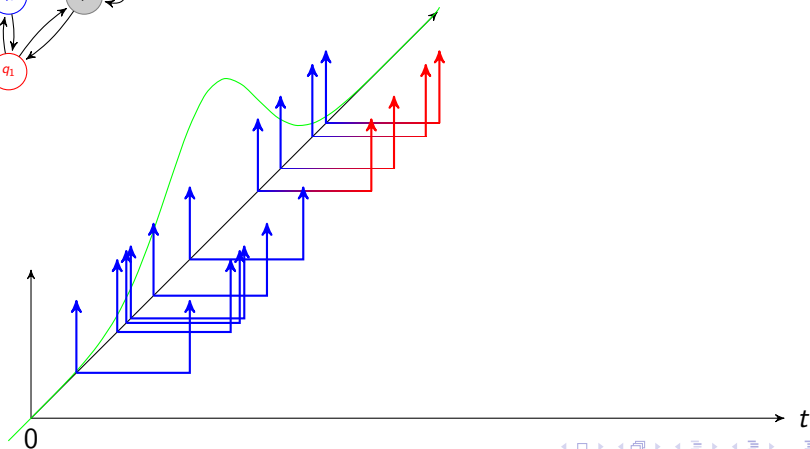
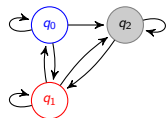
Automates hybrides

Filtrage particulière



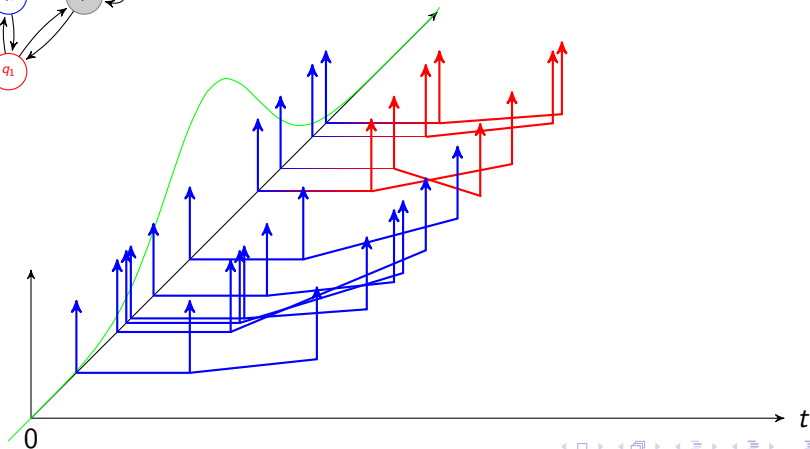
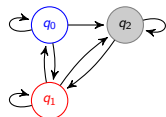
Automates hybrides

Filtrage particulaire



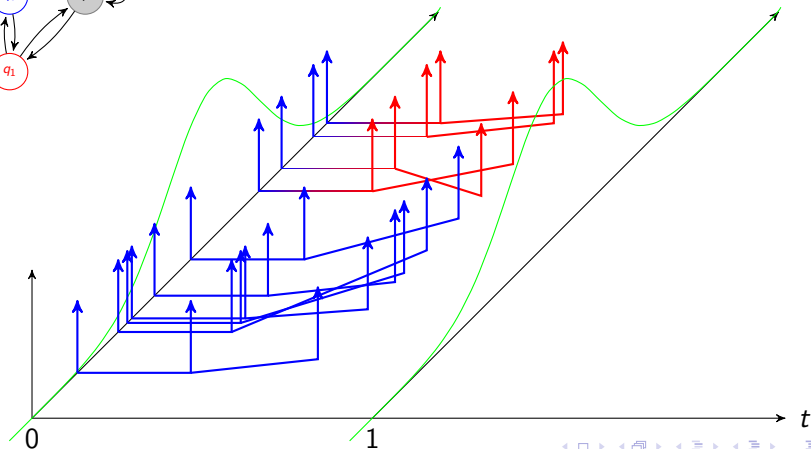
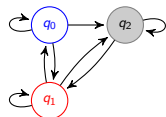
Automates hybrides

Filtrage particulière



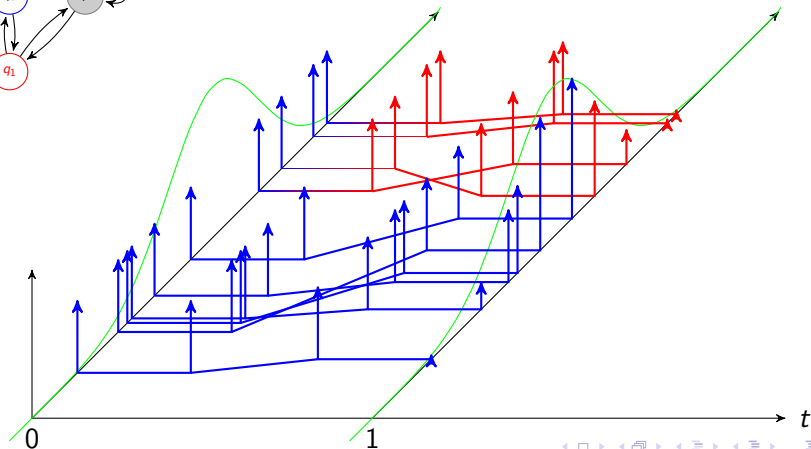
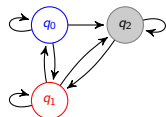
Automates hybrides

Filtrage particulière



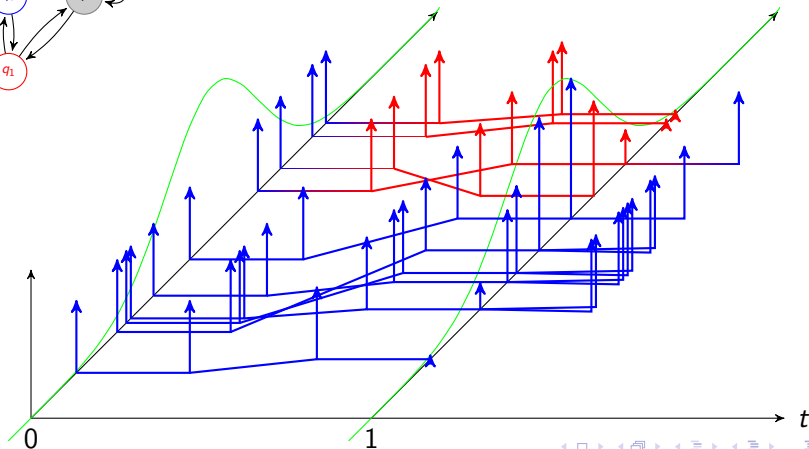
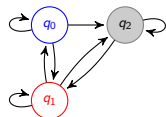
Automates hybrides

Filtrage particulaire



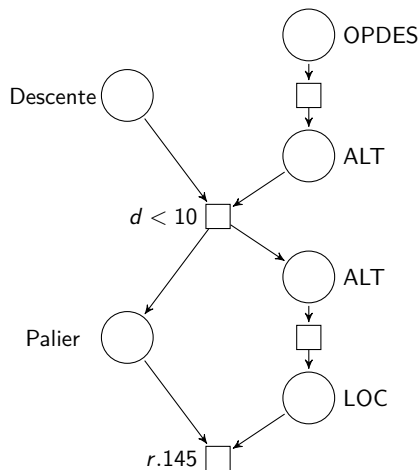
Automates hybrides

Filtrage particulière



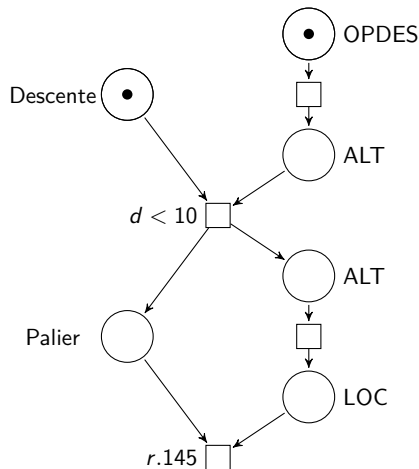
Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

- RdP → dynamique discrète



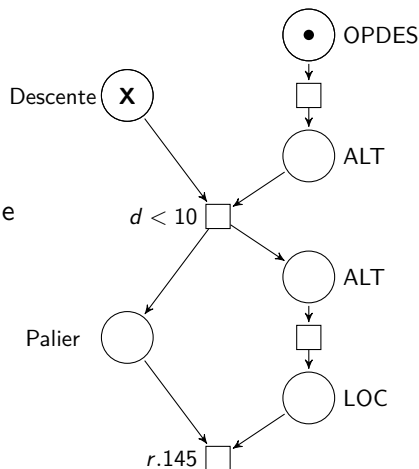
Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

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



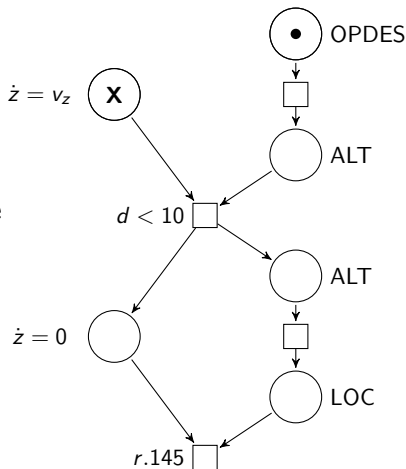
Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

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



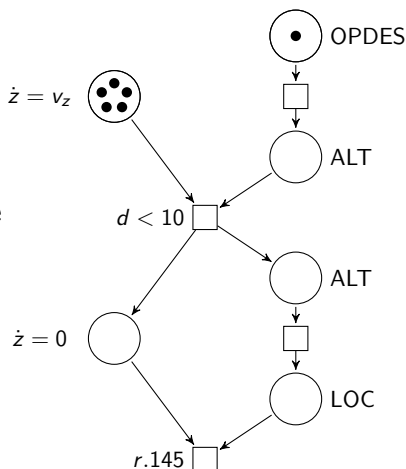
Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

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



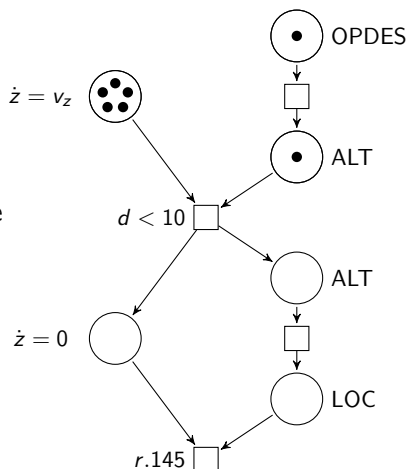
Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

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

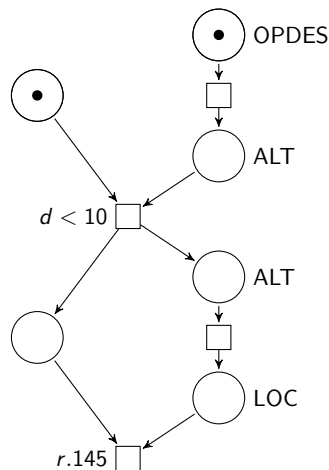
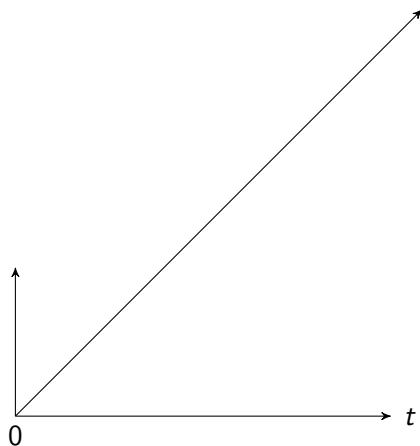


Réseaux de Petri particuliers (Lesire et Tessier, 2005)

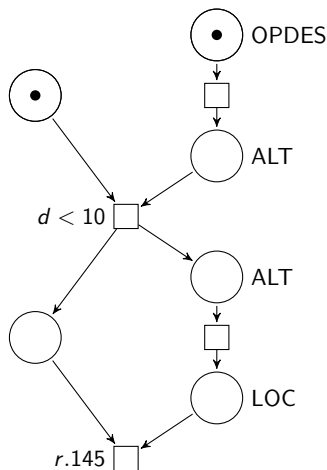
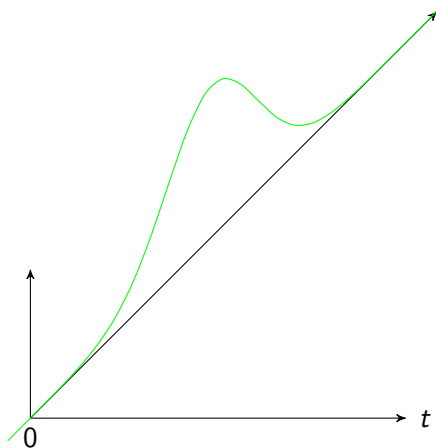
- ▶ RdP → dynamique discrète
- ▶ Marquage → état discret
- ▶ Jeton numérique → état hybride
- ▶ Eq. Dif. → dynamique hybride
- ▶ Particules → incertitude hybride
- ▶ Macro-marquage → incertitude symbolique



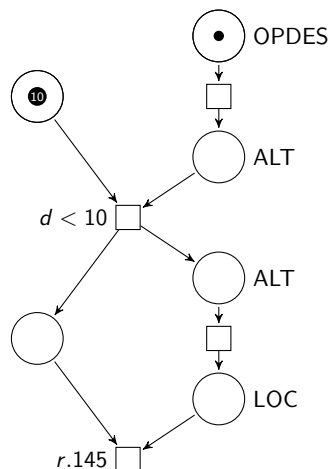
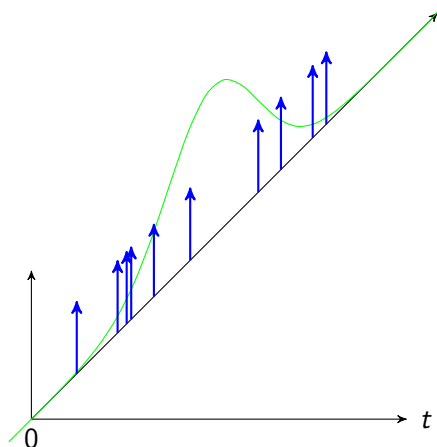
Réseaux de Petri particuliers



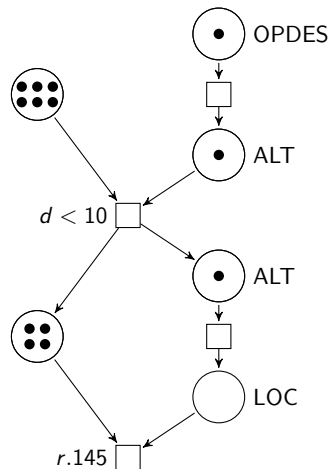
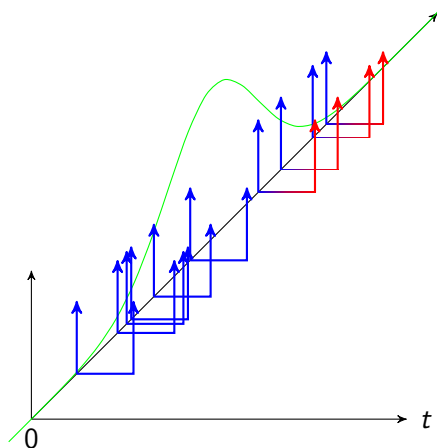
Réseaux de Petri particuliers



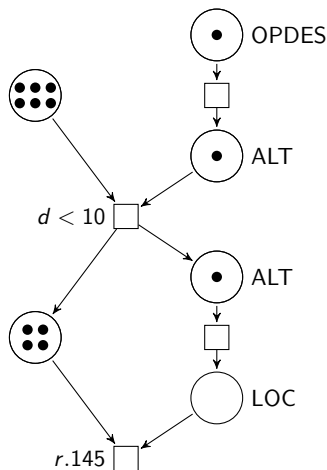
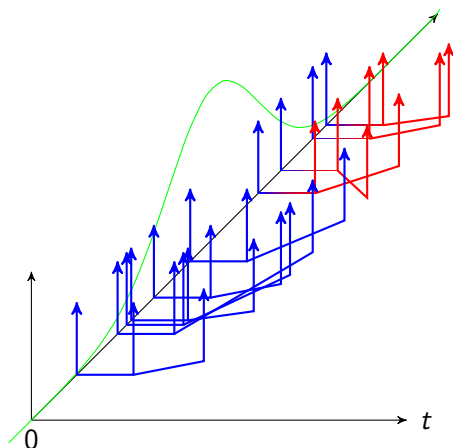
Réseaux de Petri particuliers



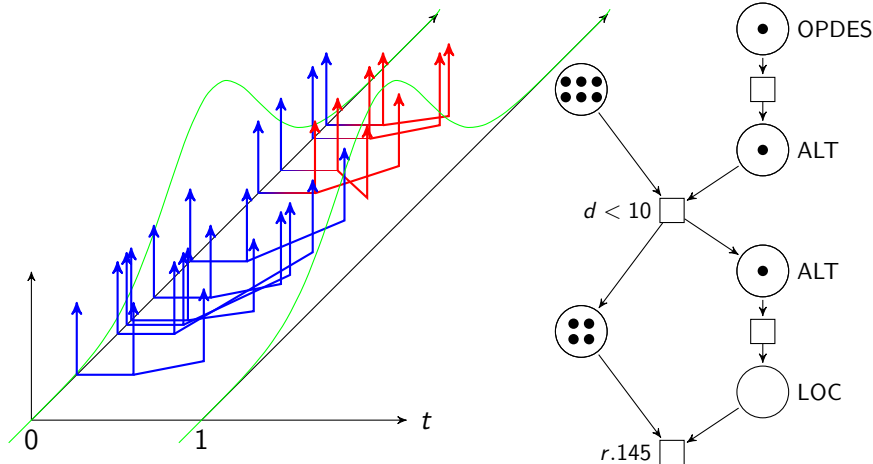
Réseaux de Petri particuliers



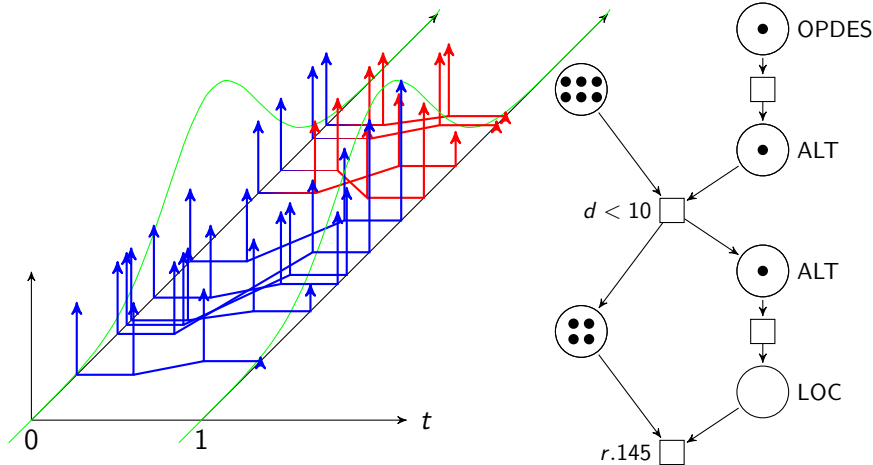
Réseaux de Petri particuliers



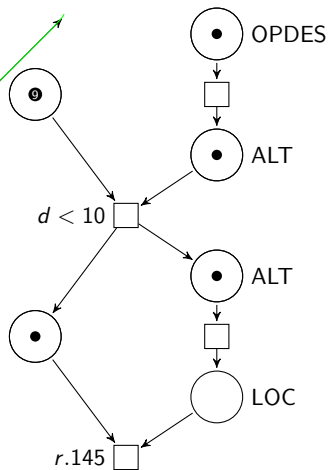
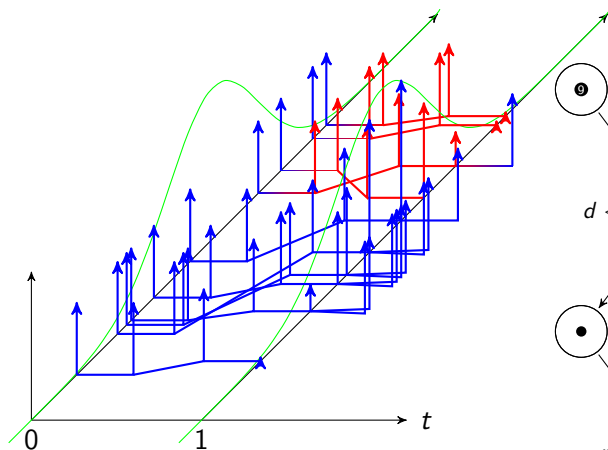
Réseaux de Petri particuliers



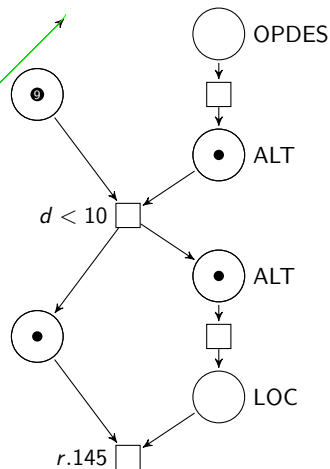
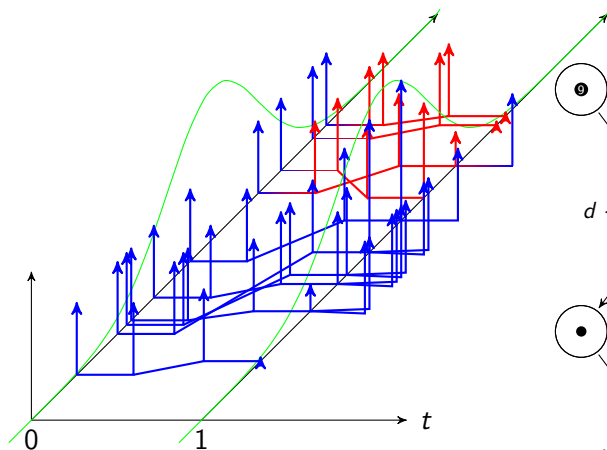
Réseaux de Petri particuliers



Réseaux de Petri particuliers

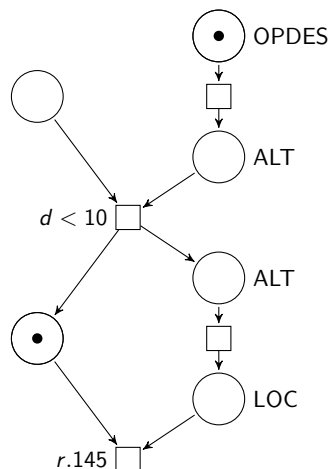


Réseaux de Petri particuliers



Réseaux de Petri particuliers

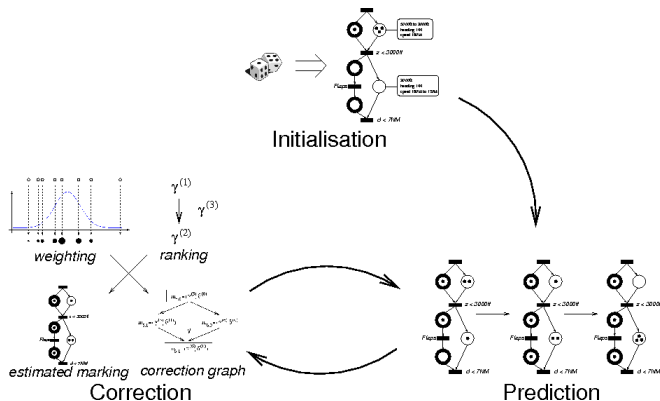
- ▶ Modèle riche
 - ▶ Pas d'interaction continu/discret lors du recalage
- ⇒ détection d'incohérences



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



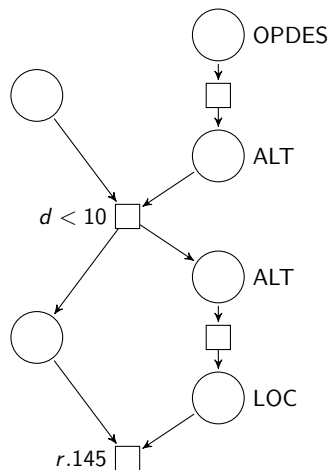
Réseaux de Petri particuliers

- ▶ $\frac{\text{nombre de particules dans } p}{\text{nombre de places}} = \frac{|\mathcal{M}(p)|}{N} = \text{probabilité d'être dans le mode numérique associé à } p$
- ▶ 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

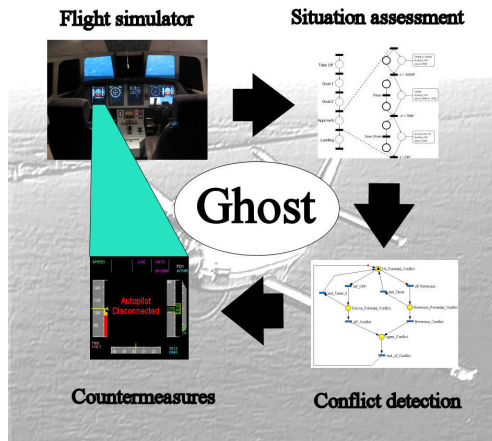


- Modélisation de la trajectoire avion
- De sa configuration (volets, train...)
- Du comportement du PA (modes, transitions)
- Des actions pilotes (en lien avec PA / conf.)
- Détection d'incohérences
- Identification de modes défailants

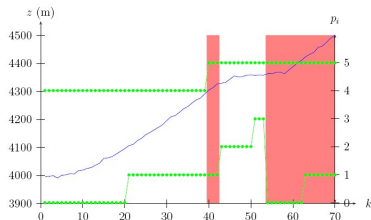
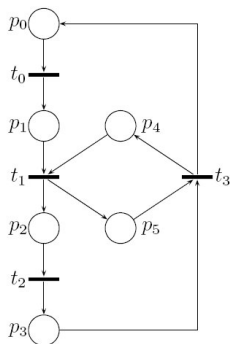
Suivi de l'activité de pilotage



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