

# Supervision d'un système de systèmes

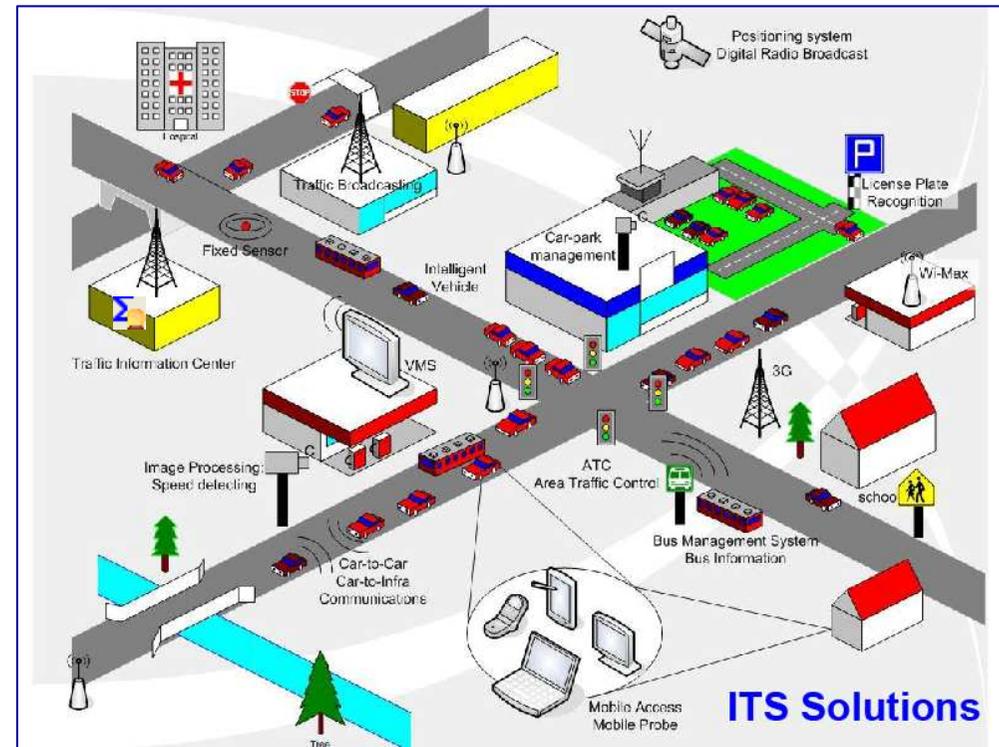
## Application sur un système de transport intelligent

Wissam KHALIL

B. OULD BOUAMAMA  
R. MERZOUKI

LAGIS - SFSD

5 fevrier 2010



# **Problématique**

---

**Systeme de transport intelligent.**

**Contraintes de sécurité.**

**Surveiller le fonctionnement local et global du système.**

**Eviter les situations accidentogènes.**

**Proposer des situations de repli ou de reconfiguration.**

## **Cadre et contexte**

---

**Projet européen InTraDE (Intelligent Transport for Dynamic Environment)**

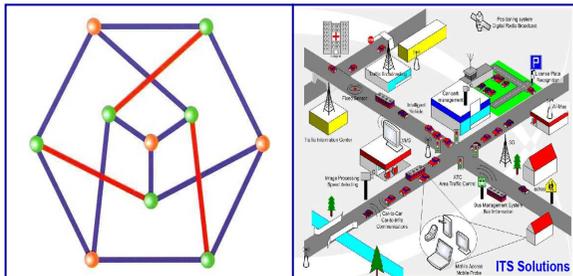
**Objectif : Conception d'un train de véhicules intelligents, fonctionnant dans un espace confiné, pour le chargement et le déchargement dans les ports et les aéroports, capable de s'adapter à n'importe quelle infrastructure.**

**Objectif de mon travail de thèse : développer un formalisme graphique capable de décrire le système de supervision global**

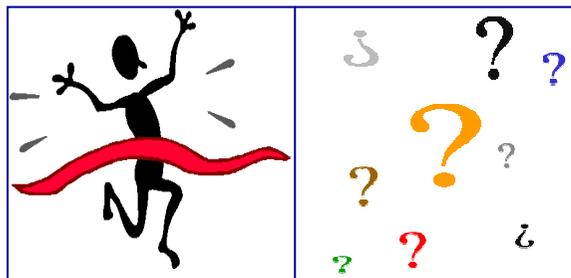
# Cette présentation se concentre sur la modélisation graphique de la supervision d'un système de systèmes



## Définitions



## Modélisation graphique Application sur STI

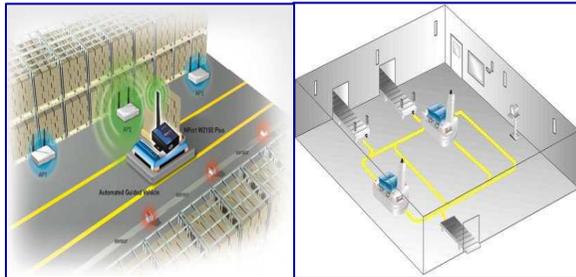


## Conclusion

# Définitions



**Système de systèmes**



Véhicule guidé automatisé



Véhicule autonome intelligent

## **Définitions**

---

### **Système de systèmes**

**La notion de système de systèmes est apparue au début des années 1990 dans les domaines de la défense, du contrôle aérien et des technologies de l'information.**

## Définitions

---

### Système de systèmes

Dans un système de systèmes :

- les systèmes constitutifs ont une indépendance opérationnelle ;
- les systèmes constitutifs ont une indépendance managériale ;
- la définition et la configuration du système global sont évolutives ;
- il existe des comportements émergents du système global ;
- les systèmes constitutifs sont distribués géographiquement.

*Mark Maier, 1996*

# Définitions

---

## Système de systèmes

**L'indépendance opérationnelle** des systèmes constitutifs signifie qu'ils doivent être capable de remplir seuls une mission indépendante lorsque le système est désassemblé.

**L'indépendance managériale** des systèmes constitutifs signifie qu'ils sont acquis séparément, puis intégrés pour constituer le système de systèmes.

Le fait que **la définition et la configuration du système de systèmes soient évolutives** signifie que le système global n'est pas constitué une fois pour toutes. Chaque système constitutif peut avoir un cycle de vie propre, différent de celui du système.

# Définitions

---

## Systeme de systemes

**L'émergence de comportement** signifie que le système global possède des propriétés et des fonctionnalités dont ne dispose aucun de ses systèmes constitutifs.

**La distribution géographique** des systèmes constitutifs signifie qu'ils sont localisés en des lieux différents ; ces systèmes peuvent échanger entre eux de l'information, mais ne peuvent pas échanger entre eux des quantités substantielles d'énergie ou de matière.

## Définitions

---

### Système de systèmes

A system of systems is a set of arrangement of interdependent systems that are related or connected to provide a given capability. The loss of any part of the system will degrade the performance or capabilities of the whole.

*U.S. Department of Defense, 2003*

## Définitions

---

### Système de systèmes

The combination of a set of different systems forms a larger system of systems that performs a function not performable by a single system alone ...

*De Laurentis et Callaways, 2004*

## Définitions

---

### Système de systèmes

Un système de systèmes est un ensemble de composantes qui, séparément, peuvent constituer un système et qui possède deux propriétés supplémentaires :

- indépendance opérationnelle des composantes ;
- indépendance de gestion des composantes.

*Ministère de la Défense Nationale de Canada, 2006*

## Définitions

---

### Systeme de systemes

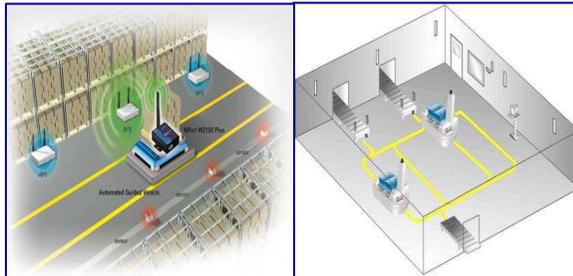
**Systeme resultant du fonctionnement collaboratif de systemes constituants qui peuvent fonctionner de facon autonome pour remplir leur propre mission operationnelle.**

*Association Française pour l'Ingénierie Système, 2006*

# Définitions



Systeme de systemes



Vehicule guide automatisé

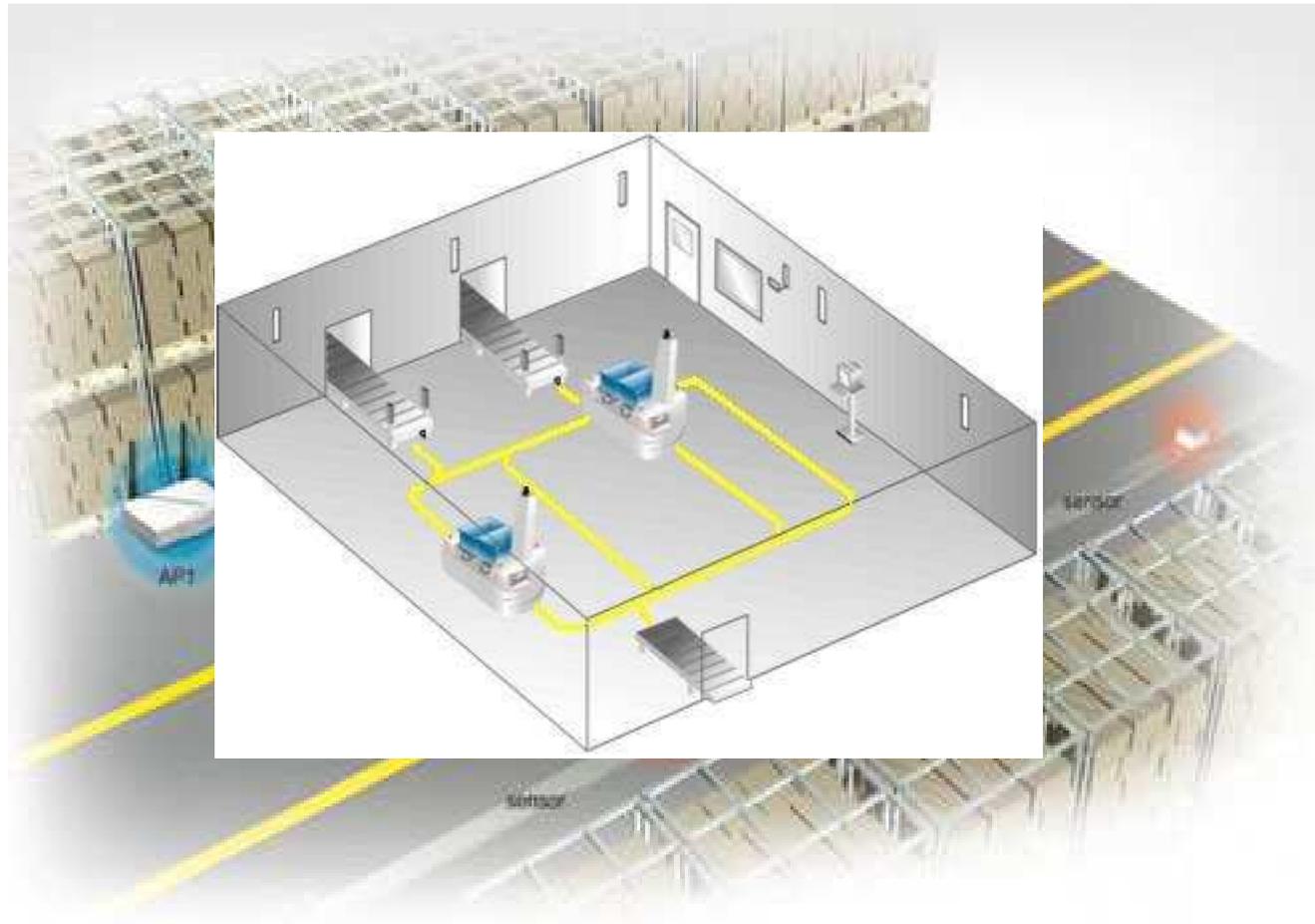


Vehicule autonome intelligent

# Définitions

---

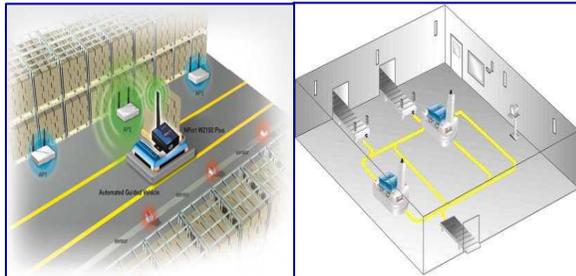
## Véhicule guidé automatisé



# Définitions



Systeme de systemes



Vehicule guide automatisé

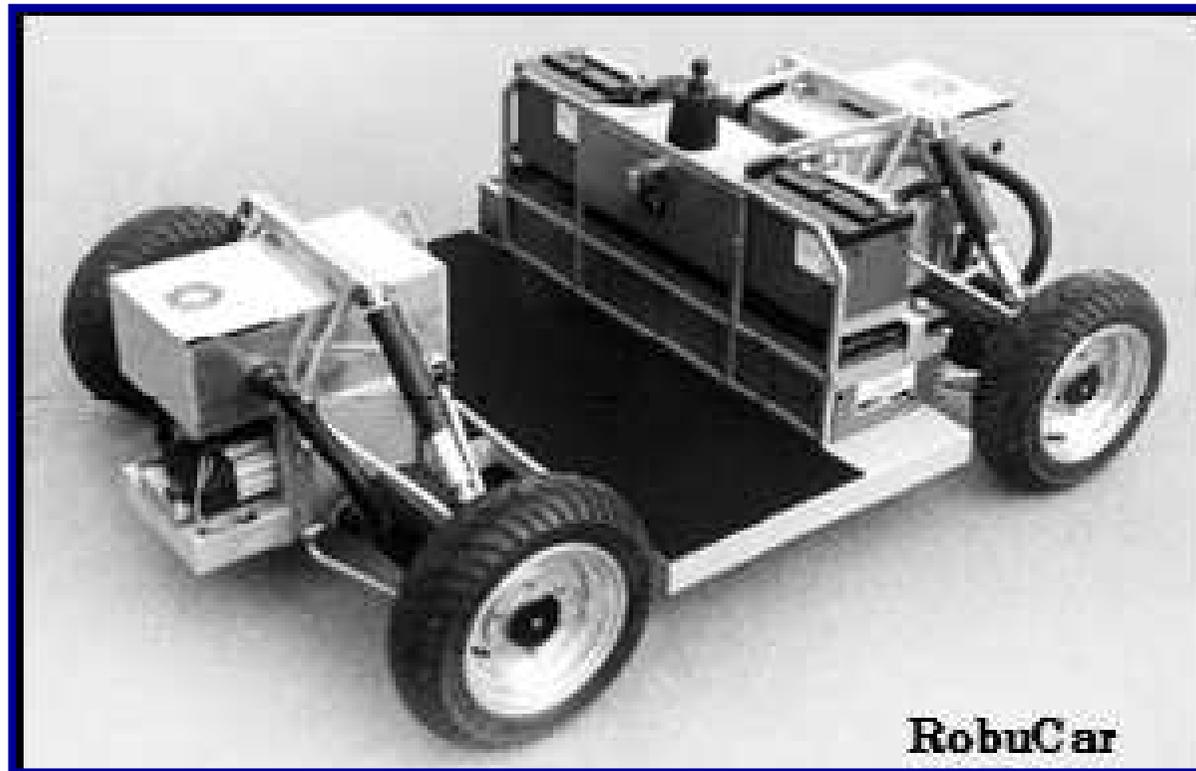


Vehicule autonome intelligent

## Définitions

---

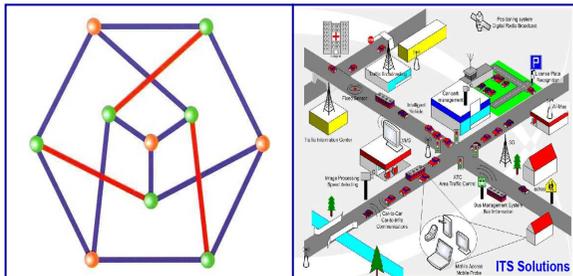
### Véhicule autonome intelligent



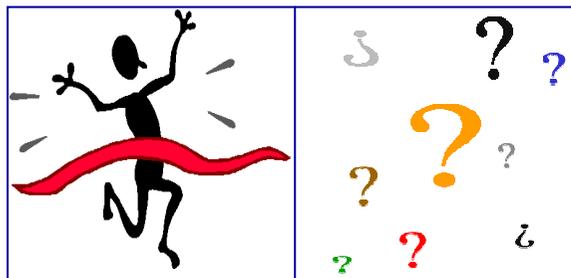
# Cette présentation se concentre sur la modélisation graphique de la supervision d'un système de systèmes



Définitions



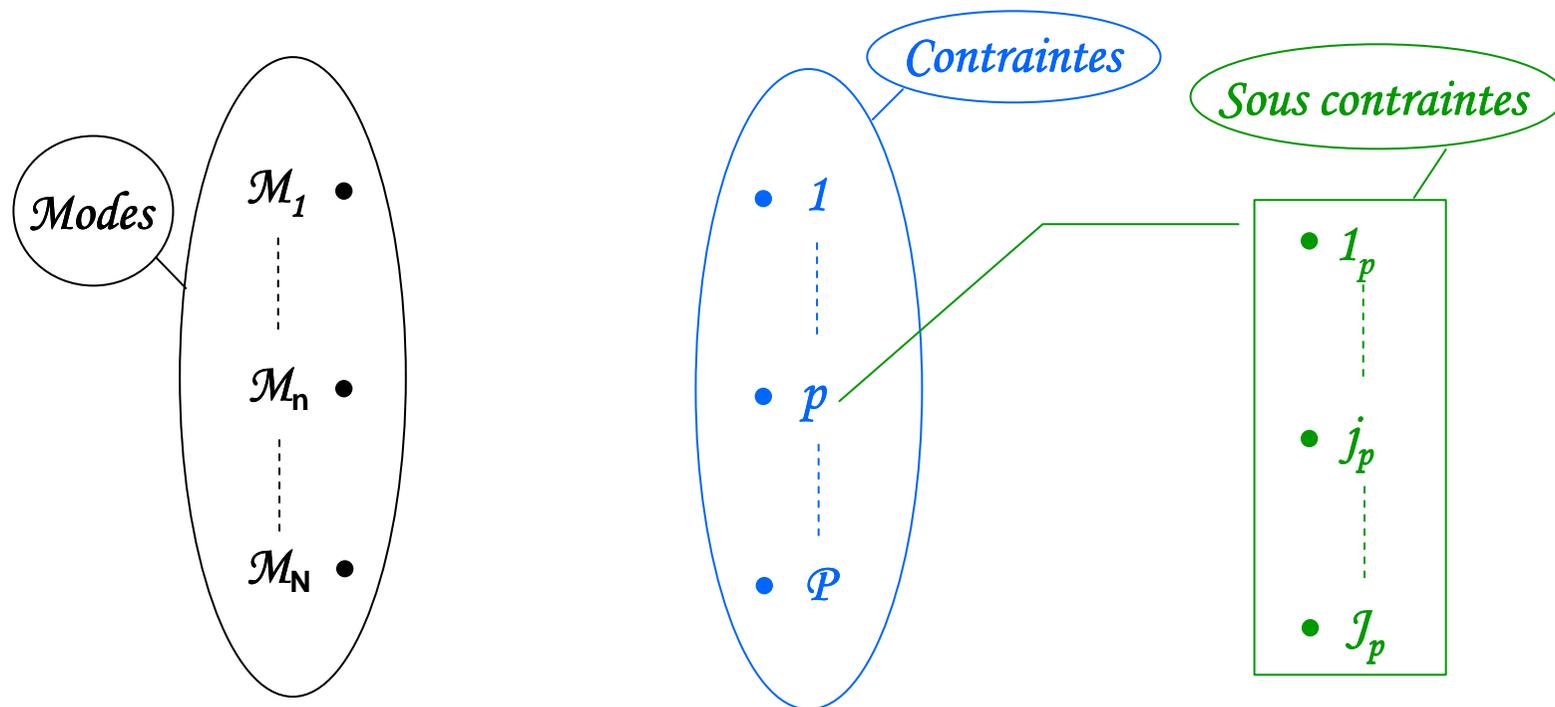
**Modélisation graphique**  
**Application sur STI**



Conclusion

## Modélisation graphique – Application sur STI

Soit un système de supervision décrit par un ensemble fini de  $N$  modes de fonctionnement noté  $\mathcal{M} = \{\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_N\}$ . Ce système est composé d'un ensemble fini de  $P$  contraintes, dont chacune d'elles est déterminée à partir d'un ensemble fini de sous contraintes, telle que pour tout  $1 \leq p \leq P$  :



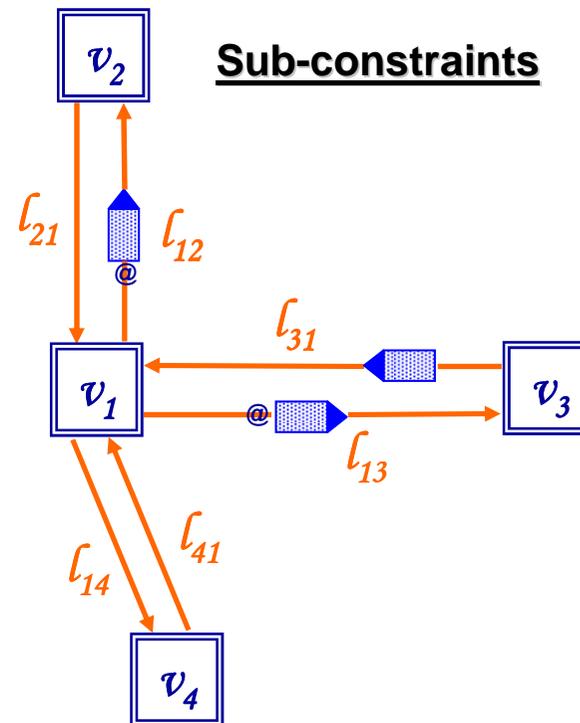
# Modélisation graphique – Application sur STI

## Three operating modes

- ▣  $\mathcal{M}_1$  normal mode
- ▣  $\mathcal{M}_2$  degraded mode
- ▣  $\mathcal{M}_3$  stop mode

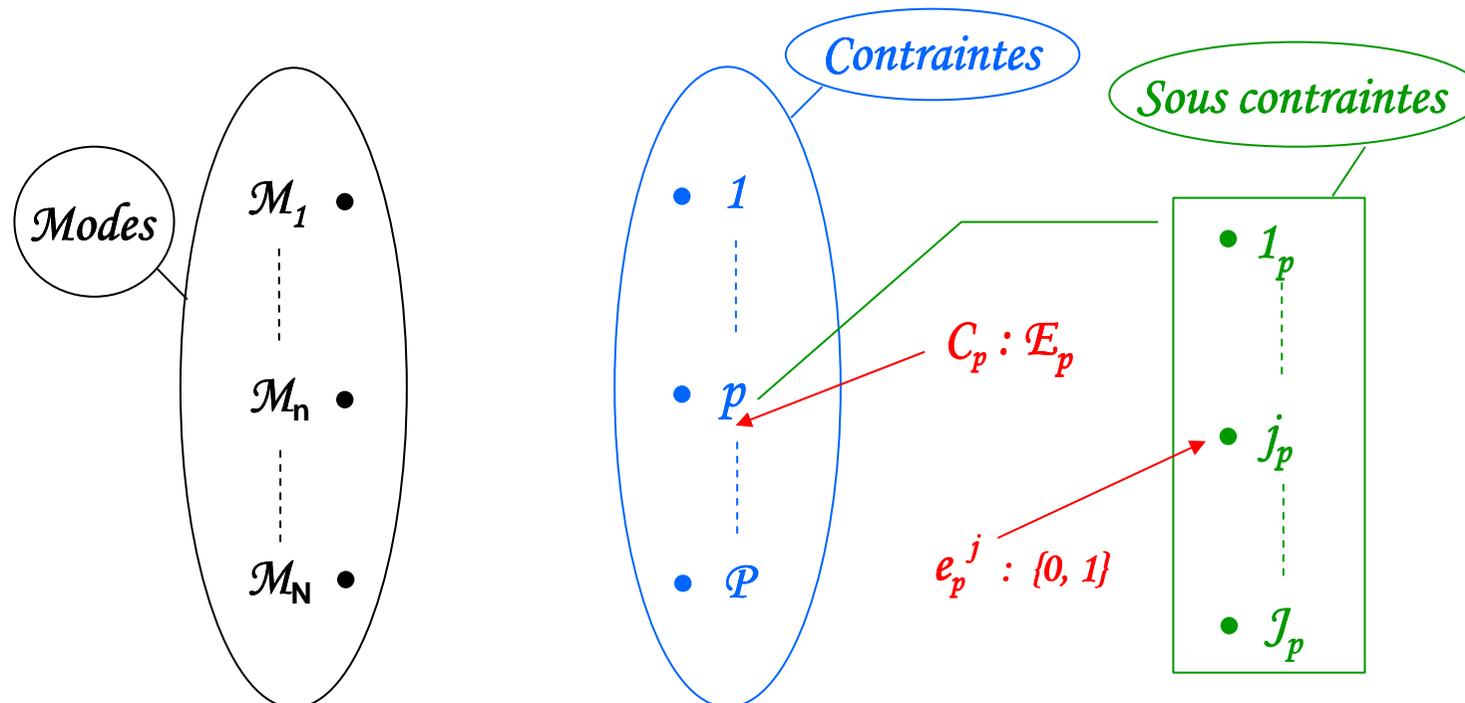
## Three constraints

- ▣ 1 operating state of the involved vehicles
- ▣ 2 state of the loading & unloading stations
- ▣ 3 network transport state



## Modélisation graphique – Application sur STI

1. La  $p^{\text{ème}}$  contrainte est déterminée à partir de  $J_p$  sous contraintes, avec  $J_p \in \mathbb{N}$ .
2. On associe à la  $j^{\text{ème}}$  sous contrainte une valeur booléenne  $e_p^j$  indiquant son état, avec  $1 \leq j \leq J_p$ .
3. On associe à la  $p^{\text{ème}}$  contrainte une valeur  $C_p$ , appartenant à un ensemble fini  $E_p$  de type booléen, entier naturel, couleur, ..., déterminée en fonction de ses sous contraintes.

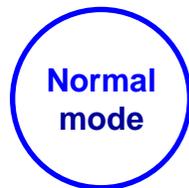


# Modélisation graphique – Application sur STI

---

## Three operating modes

- ☒  $\mathcal{M}_1$  normal mode
- ☒  $\mathcal{M}_2$  degraded mode
- ☒  $\mathcal{M}_3$  stop mode



## Three constraints

- ☒ 1 operating state of the involved vehicles
- ☒ 2 state of the loading & unloading stations
- ☒ 3 network transport state

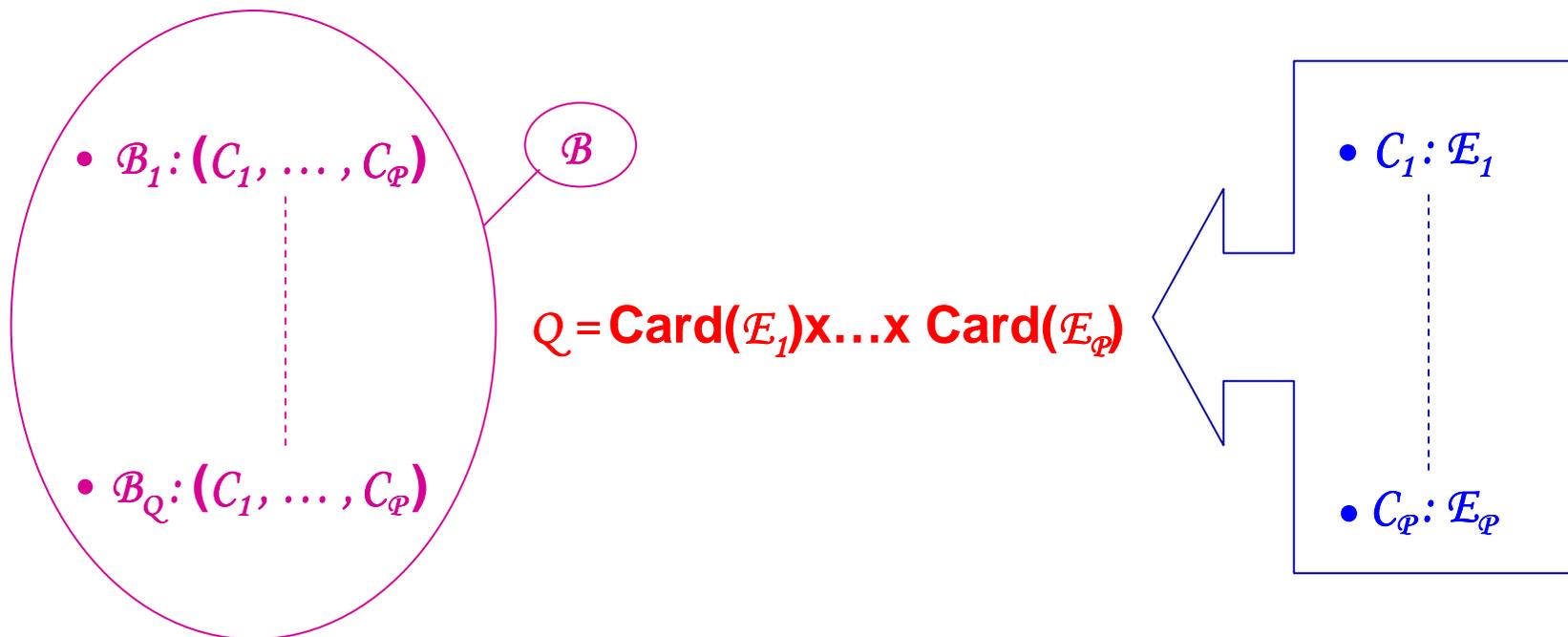
$$C_1 = \begin{array}{l} 0 \text{ all the vehicles operate normally} \\ 2 \text{ all the vehicles are in faulty situation} \\ 1 \text{ otherwise} \end{array} \quad \mathcal{E}_1 = \{0,1,2\}$$

$$C_2 = \begin{array}{l} 0 \text{ loading \& unloading stations are all available} \\ 2 \text{ all the stations are occupied} \\ 1 \text{ otherwise} \end{array} \quad \mathcal{E}_2 = \{0,1,2\}$$

$$C_3 = \begin{array}{l} 0 \text{ transport network is accessible} \\ 1 \text{ otherwise} \end{array} \quad \mathcal{E}_3 = \{0,1\}$$

## Modélisation graphique – Application sur STI

On désigne par  $\mathcal{B} = \{\mathcal{B}_1, \dots, \mathcal{B}_Q\}$  l'ensemble fini de  $P$ -Uplets de valeurs de contraintes possibles, tel que  $\mathcal{B}_q = (C_1, \dots, C_P)$  pour tout  $1 \leq q \leq Q$ . Avec  $Q$  est le nombre de combinaison de contraintes possibles :  $Q = \text{card}(E_1) \times \dots \times \text{card}(E_P)$ . Par exemple si tous les valeurs associés aux contraintes sont de type booléen  $Q$  sera égale à  $2^P$ .



## Modélisation graphique – Application sur STI

---

From where we obtain 18 triplets of possible constraints' values  $\mathcal{B} = \{\mathcal{B}_1, \dots, \mathcal{B}_{18}\}$  :

$$\begin{array}{lll} \mathcal{B}_1 = ( 0, 0, 0 ) & \mathcal{B}_7 = ( 1, 0, 0 ) & \mathcal{B}_{13} = ( 2, 0, 0 ) \\ \mathcal{B}_2 = ( 0, 0, 1 ) & \mathcal{B}_8 = ( 1, 0, 1 ) & \mathcal{B}_{14} = ( 2, 0, 1 ) \\ \mathcal{B}_3 = ( 0, 1, 0 ) & \mathcal{B}_9 = ( 1, 1, 0 ) & \mathcal{B}_{15} = ( 2, 1, 0 ) \\ \mathcal{B}_4 = ( 0, 1, 1 ) & \mathcal{B}_{10} = ( 1, 1, 1 ) & \mathcal{B}_{16} = ( 2, 1, 1 ) \\ \mathcal{B}_5 = ( 0, 2, 0 ) & \mathcal{B}_{11} = ( 1, 2, 0 ) & \mathcal{B}_{17} = ( 2, 2, 0 ) \\ \mathcal{B}_6 = ( 0, 2, 1 ) & \mathcal{B}_{12} = ( 1, 2, 1 ) & \mathcal{B}_{18} = ( 2, 2, 1 ) \end{array}$$

$$Q = \text{Card}(\mathcal{E}_1) \times \text{Card}(\mathcal{E}_2) \times \text{Card}(\mathcal{E}_3) = 3 \times 3 \times 2 = 18$$

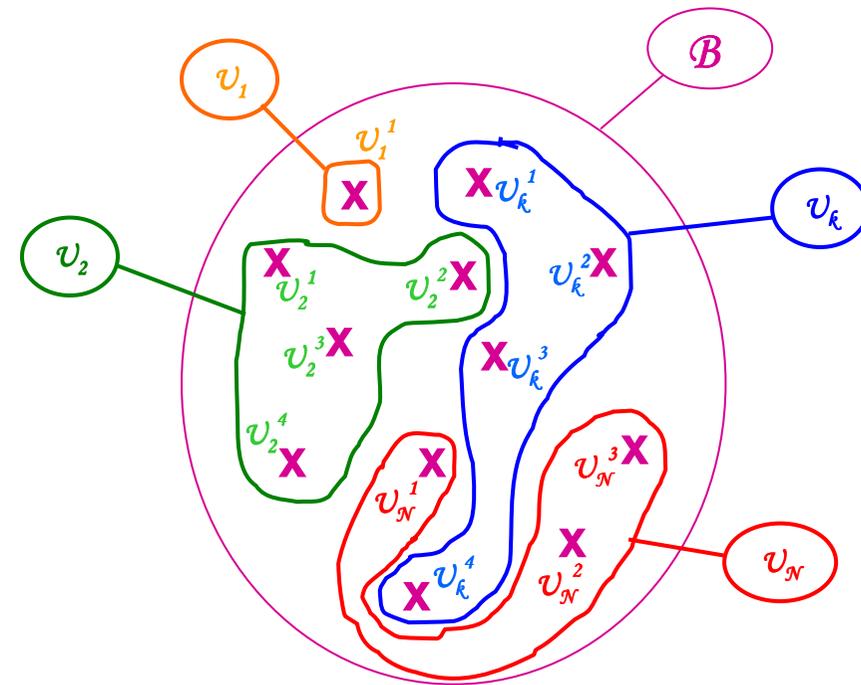
## Modélisation graphique – Application sur STI

Soit l'ensemble  $\mathcal{U} = \{\mathcal{U}_1, \dots, \mathcal{U}_N\}$  tel que  $(\mathcal{U}_n)_{n \in \{1, \dots, N\}}$  forment une partition de  $\mathcal{B}$ , c'est à dire pour tout  $1 \leq n \leq N$  :

1.  $\mathcal{U}_n \neq \emptyset$  est un sous ensemble de  $\mathcal{B}$ .

2. 
$$\bigcap_{n=1}^N \mathcal{U}_n = \emptyset.$$

3. 
$$\bigcup_{n=1}^N \mathcal{U}_n = \mathcal{B}.$$



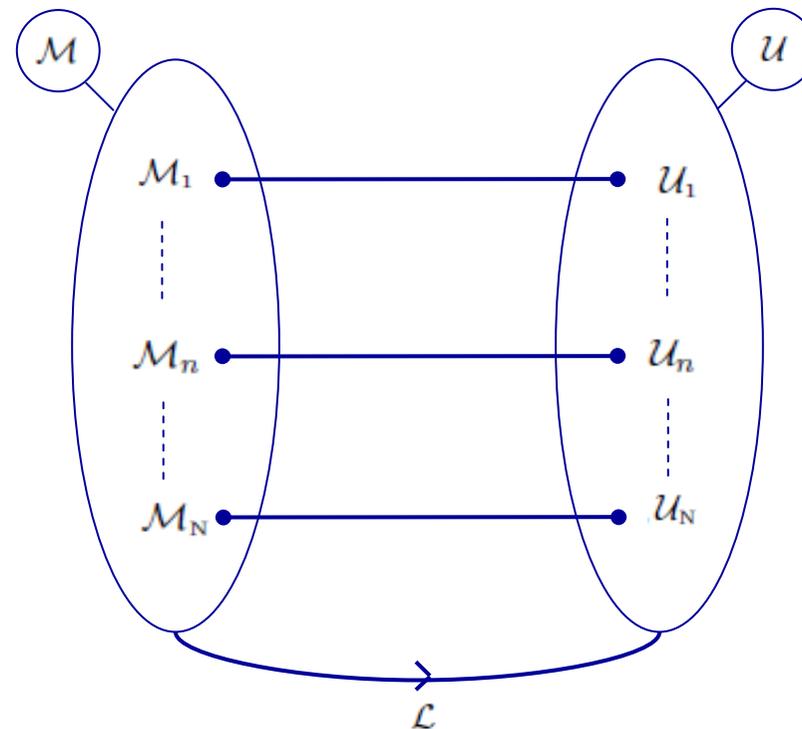
4.  $\mathcal{U}_n = \{\mathcal{U}_n^1, \dots, \mathcal{U}_n^{K_n}\}$  et  $\text{card}(\mathcal{U}_n) = K_n$ , tel que  $K_1 + \dots + K_N = Q$ .

## Modélisation graphique – Application sur STI

---

A chaque mode  $\mathcal{M}_n$ , on associe un ensemble unique  $\mathcal{U}_n$ , autrement dit, il existe une bijection  $\mathcal{L}$  définie sur l'ensemble de mode de fonctionnement  $\mathcal{M}$  de la manière suivante :

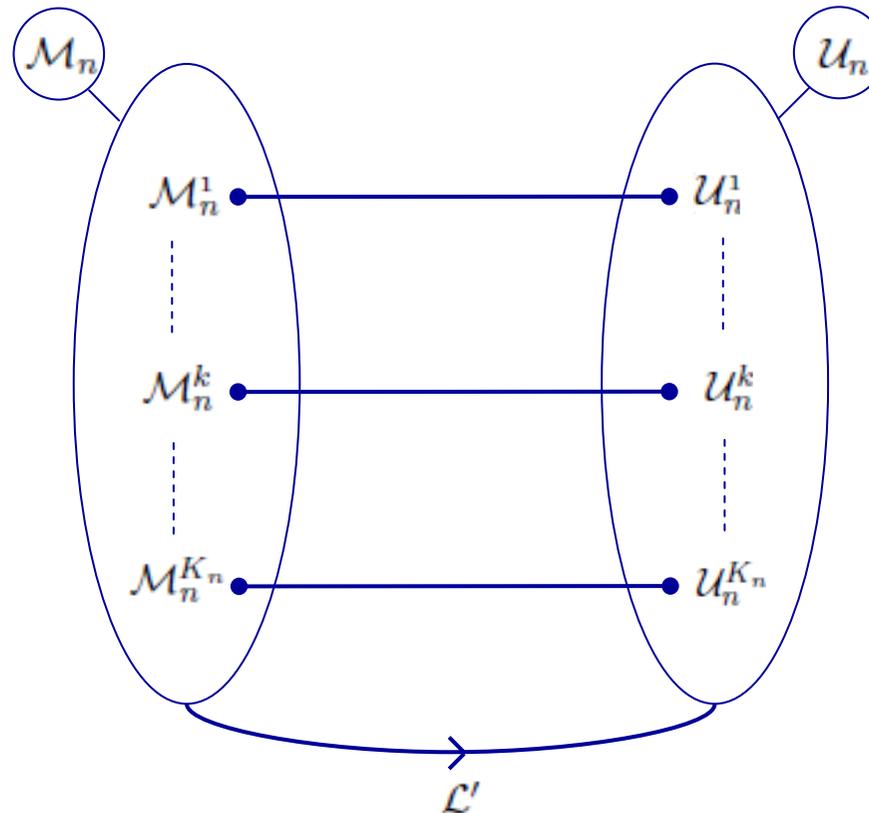
$$\begin{aligned} \mathcal{L}: \mathcal{M} &\rightarrow \mathcal{U} \\ \mathcal{M}_n &\rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{M}_n) = \mathcal{U}_n. \end{aligned}$$



## Modélisation graphique – Application sur STI

Chaque mode  $\mathcal{M}_n$  peut être formé d'un ensemble fini de  $K_n$  sous modes noté  $\mathcal{M}_n = \{\mathcal{M}_n^1, \dots, \mathcal{M}_n^{K_n}\}$ .  
D'une manière analogue, il existe une bijection  $\mathcal{L}'$  définie par :

$$\begin{aligned} \mathcal{L}': \quad \mathcal{M}_n &\rightarrow \mathcal{U}_n \\ \mathcal{M}_n^k &\rightarrow \mathcal{L}'(\mathcal{M}_n^k) = \mathcal{U}_n^k, \quad \text{pour tout } 1 \leq k \leq K_n. \end{aligned}$$



## Modélisation graphique – Application sur STI

From where we obtain 18 triplets of possible constraints' values  $\mathcal{B} = \{\mathcal{B}_1, \dots, \mathcal{B}_{18}\}$  :

$\mathcal{B}_1 = ( 0, 0, 0 )$	$\mathcal{B}_7 = ( 1, 0, 0 )$	$\mathcal{B}_{13} = ( 2, 0, 0 )$
$\mathcal{B}_2 = ( 0, 0, 1 )$	$\mathcal{B}_8 = ( 1, 0, 1 )$	$\mathcal{B}_{14} = ( 2, 0, 1 )$
$\mathcal{B}_3 = ( 0, 1, 0 )$	$\mathcal{B}_9 = ( 1, 1, 0 )$	$\mathcal{B}_{15} = ( 2, 1, 0 )$
$\mathcal{B}_4 = ( 0, 1, 1 )$	$\mathcal{B}_{10} = ( 1, 1, 1 )$	$\mathcal{B}_{16} = ( 2, 1, 1 )$
$\mathcal{B}_5 = ( 0, 2, 0 )$	$\mathcal{B}_{11} = ( 1, 2, 0 )$	$\mathcal{B}_{17} = ( 2, 2, 0 )$
$\mathcal{B}_6 = ( 0, 2, 1 )$	$\mathcal{B}_{12} = ( 1, 2, 1 )$	$\mathcal{B}_{18} = ( 2, 2, 1 )$

Let  $\mathcal{U} = \{\mathcal{U}_1, \mathcal{U}_2, \mathcal{U}_3\}$  a partition of  $\mathcal{B}$  such as:

$$\mathcal{U}_1 = \{\mathcal{B}_1\} \quad \mathcal{U}_1 = \{\mathcal{U}_1^1\}$$

$$\mathcal{U}_2 = \{\mathcal{B}_3, \mathcal{B}_7, \mathcal{B}_9\} \quad \mathcal{U}_2 = \{\mathcal{U}_2^1, \mathcal{U}_2^2, \mathcal{U}_2^3\}$$

$$\mathcal{U}_3 = \{\mathcal{B}_2, \mathcal{B}_4, \mathcal{B}_5, \mathcal{B}_6, \mathcal{B}_8, \mathcal{B}_{10}, \mathcal{B}_{11}, \mathcal{B}_{12}, \mathcal{B}_{13}, \mathcal{B}_{14}, \mathcal{B}_{15}, \mathcal{B}_{16}, \mathcal{B}_{17}, \mathcal{B}_{18}\}$$

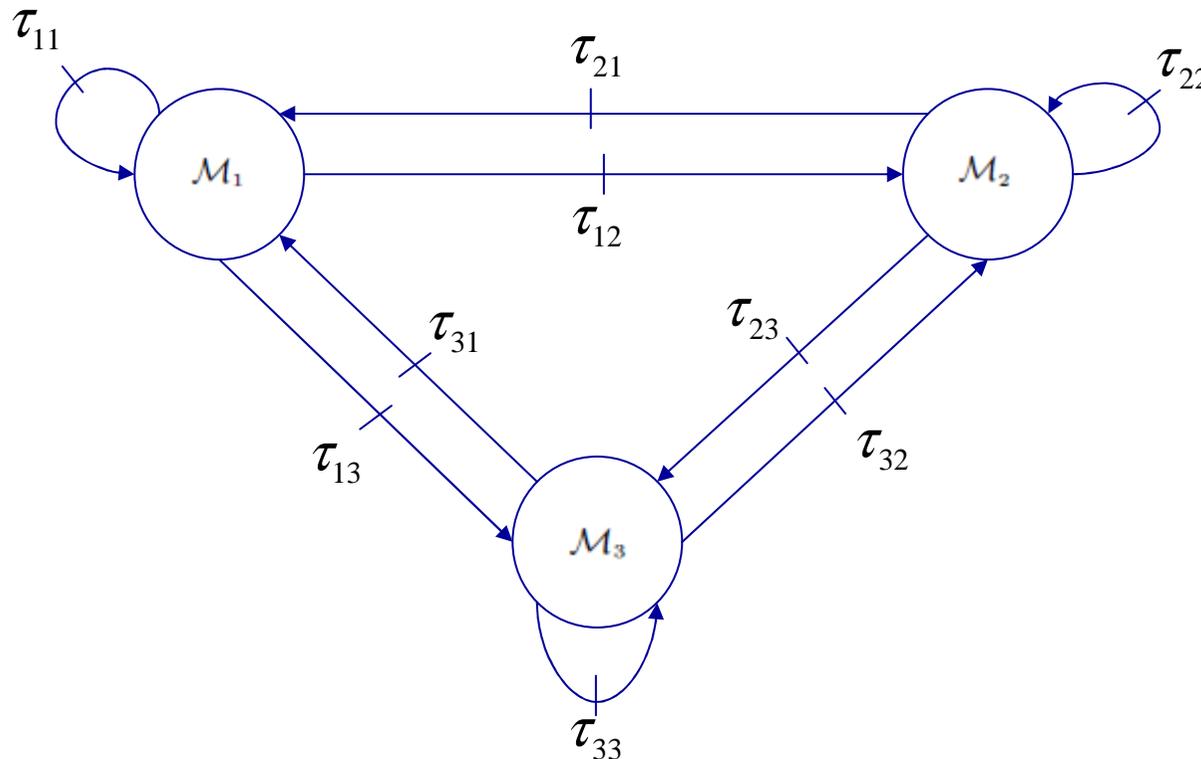
$$\mathcal{U}_3 = \{\mathcal{U}_3^1, \mathcal{U}_3^2, \mathcal{U}_3^3, \mathcal{U}_3^4, \mathcal{U}_3^5, \mathcal{U}_3^6, \mathcal{U}_3^7, \mathcal{U}_3^8, \mathcal{U}_3^9, \mathcal{U}_3^{10}, \mathcal{U}_3^{11}, \mathcal{U}_3^{12}, \mathcal{U}_3^{13}, \mathcal{U}_3^{14}\}$$

## Modélisation graphique – Application sur STI

Afin d'être capable de visualiser le comportement du système de supervision, de déterminer le passage d'un mode à un autre et de surveiller le système en temps réel, nous allons représenter le système de supervision par un graphe orienté valué  $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{A})$  où  $\mathcal{V}$  est un ensemble fini de sommets et  $\mathcal{A}$  est un ensemble fini d'arcs valués où

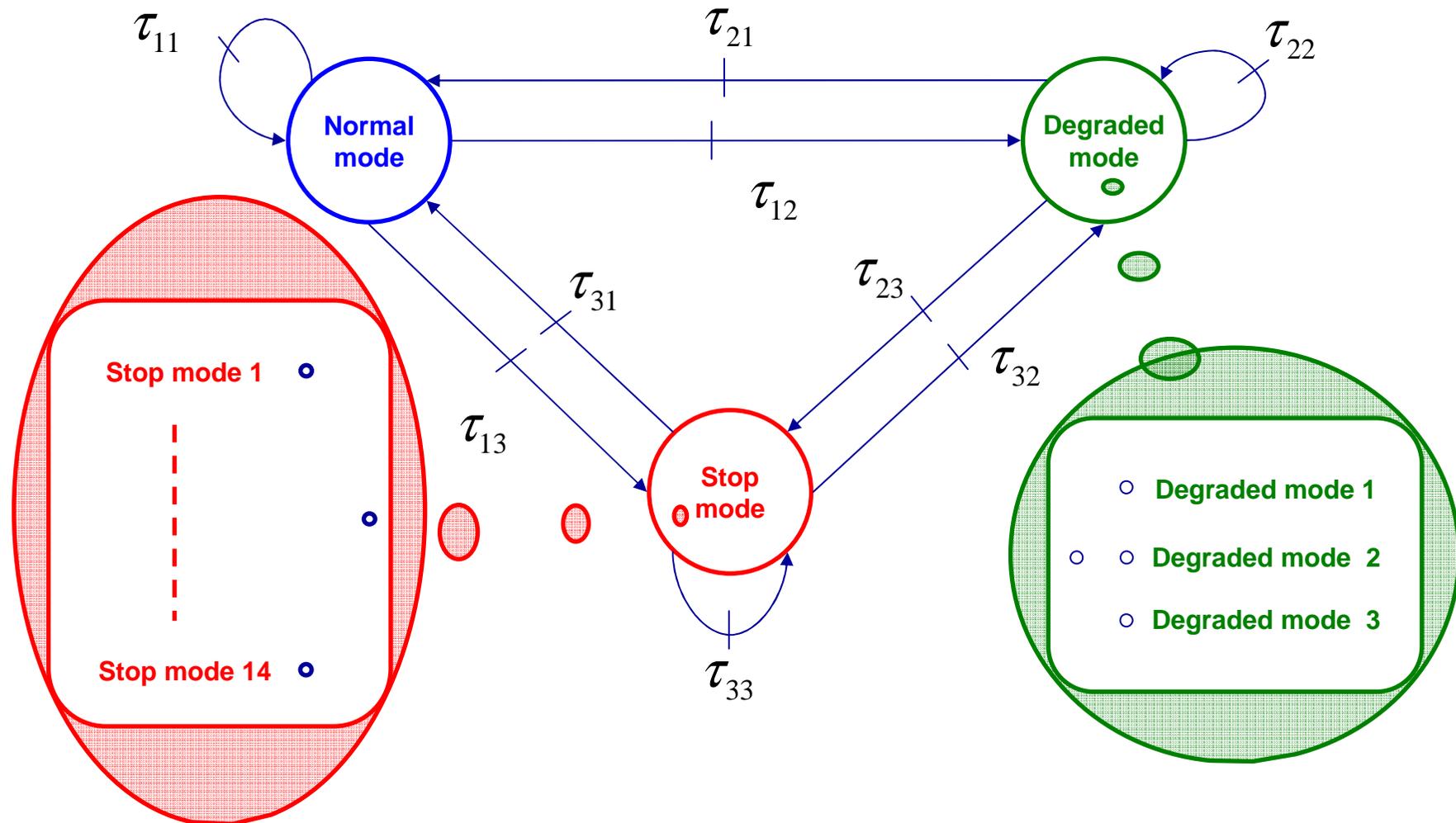
$$\mathcal{A} = \{(v_n, v_m, \tau_{nm}) / v_n, v_m \in \mathcal{V}, \tau_{nm} \in \{0, 1\}\}.$$

Les sommets de ce graphe représentent l'ensemble de mode de fonctionnement du système  $\mathcal{M}$  et la valeur booléenne de la transition  $\tau_{nm}$  détermine le passage du mode  $\mathcal{M}_n$  au mode  $\mathcal{M}_m$ .



# Modélisation graphique – Application sur STI

The operating processes of the road transport system is given in



## Modélisation graphique – Application sur STI

---

Supposons que  $\mathcal{M}_n$  est le mode courant à un instant  $t$ , avec  $n \in \{1, \dots, N\}$ . Pour déterminer le mode d'arrivé  $\mathcal{M}_m$ , nous passons par les étapes suivantes :

1. Préciser la valeur de chaque sous contrainte  $e_p^j$  :

$$\begin{aligned} e_p^j: \mathbb{R}^+ &\rightarrow \{0, 1\} \\ t &\rightarrow e_p^j(t). \end{aligned}$$

où  $p \in \{1, \dots, P\}$  et  $j \in \{1, \dots, J_p\}$

2. Déterminer la valeur de chaque contrainte  $C_p$  en fonction de ses  $J_p$  sous contraintes :

$$\begin{aligned} C_p: \mathbb{R}^+ \times \{0, 1\} \times \dots \times \{0, 1\} &\rightarrow E_p \\ (t, e_p^1(t), \dots, e_p^{J_p}(t)) &\rightarrow C_p(t, e_p^1(t), \dots, e_p^{J_p}(t)). \end{aligned}$$

où  $p \in \{1, \dots, P\}$

## Modélisation graphique – Application sur STI

---

Supposons que  $\mathcal{M}_n$  est le mode courant à un instant  $t$ , avec  $n \in \{1, \dots, N\}$ . Pour déterminer le mode d'arrivé  $\mathcal{M}_m$ , nous passons par les étapes suivantes :

3. Le  $P$ -Uplet formé à partir des contraintes trouvées en 2, correspond à l'un des éléments de  $\mathcal{B}$ , et plus particulièrement à l'élément  $\mathcal{U}_m^k$  de l'ensemble  $\mathcal{U}_m$  tels que  $m \in \{1, \dots, N\}$  et  $k \in \{1, \dots, K_m\}$ .
4. En utilisant les bijections  $\mathcal{L}$  et  $\mathcal{L}'$ , on peut déduire le mode  $\mathcal{M}_m$  et le sous mode  $\mathcal{M}_m^k$  respectivement.

## Modélisation graphique – Application sur STI

---

Supposons que  $\mathcal{M}_n$  est le mode courant à un instant  $t$ , avec  $n \in \{1, \dots, N\}$ . Pour déterminer le mode d'arrivé  $\mathcal{M}_m$ , nous passons par les étapes suivantes :

5. Evaluer les arcs du graphe comme suit :

$$\begin{cases} \tau_{nm} = 1 \\ \tau_{\xi\eta} = 0 \end{cases} \quad \forall \xi, \eta \in \{1, \dots, N\} \text{ et } (n, m) \neq (\xi, \eta)$$

Le graphe valué, en fonction du temps,  $\mathcal{G}(\mathcal{V}, \mathcal{A})$ , montre le passage du système d'un mode  $\mathcal{M}_n$  à un autre mode  $\mathcal{M}_m$  d'une manière continue ce qui nous permet de surveiller le système en temps réel.

# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 1: normal operating

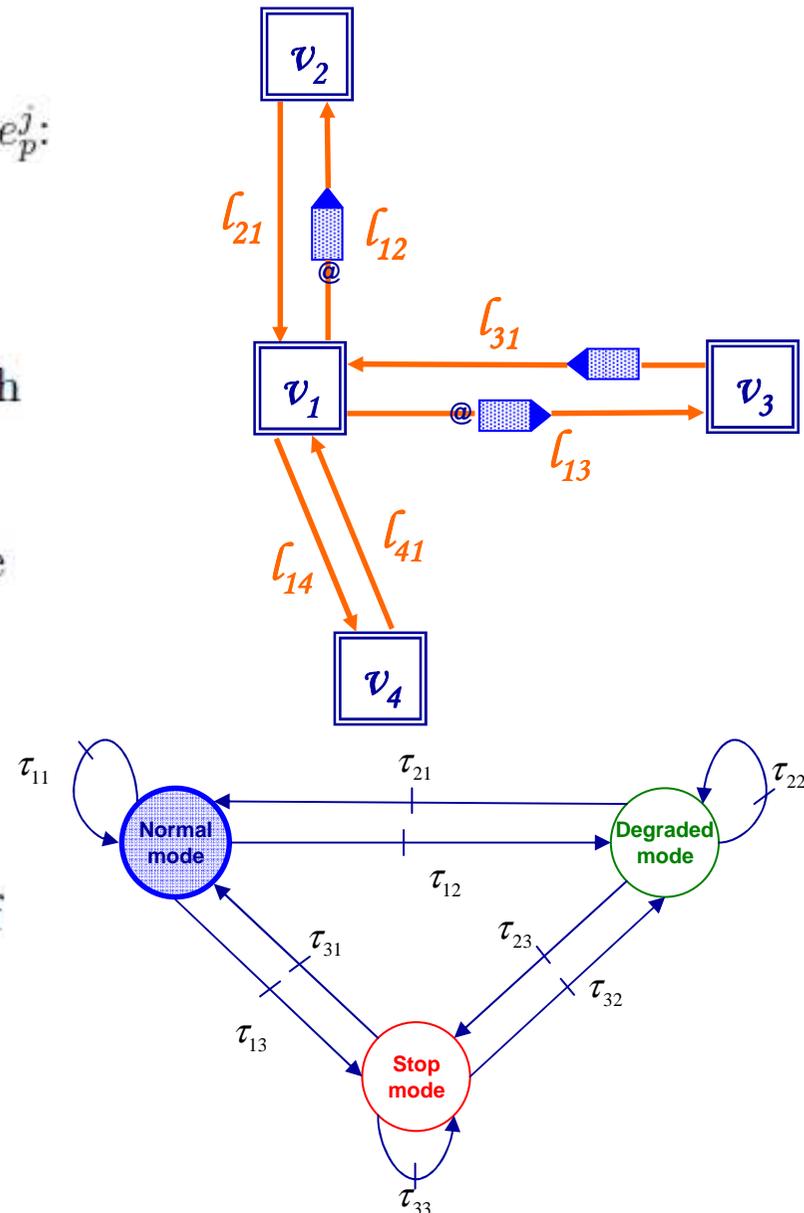
1) Specification of the value of each sub-constraint  $e_p^j$ :

$$\begin{array}{l} \mathbb{R}^+ \xrightarrow{e_p^j} \{0, 1\} \\ t \longrightarrow e_p^j(t). \end{array}$$

where  $p \in \{1, 2, 3\}$  and  $j \in \{1, \dots, J_p\}$  with  $J_1 \in \{1, 2, 3\}$ ,  $J_2 \in \{1, 2, 3, 4\}$  and  $J_3 \in \{1\}$

Each value of these sub-constraints will be determined according to its own rule.

For example each sub-constraint  $e_1^j$  indicates the state of a vehicle, its value will be calculated according to the online deduced residuals of each actuator of involved vehicles



# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 1: normal operating

1) Specification of the value of each sub-constraint  $e_p^j$ :

$$e_1^1 = e_1^2 = e_1^3 = 0.$$

$$e_2^1 = e_2^2 = e_2^3 = e_2^4 = 0.$$

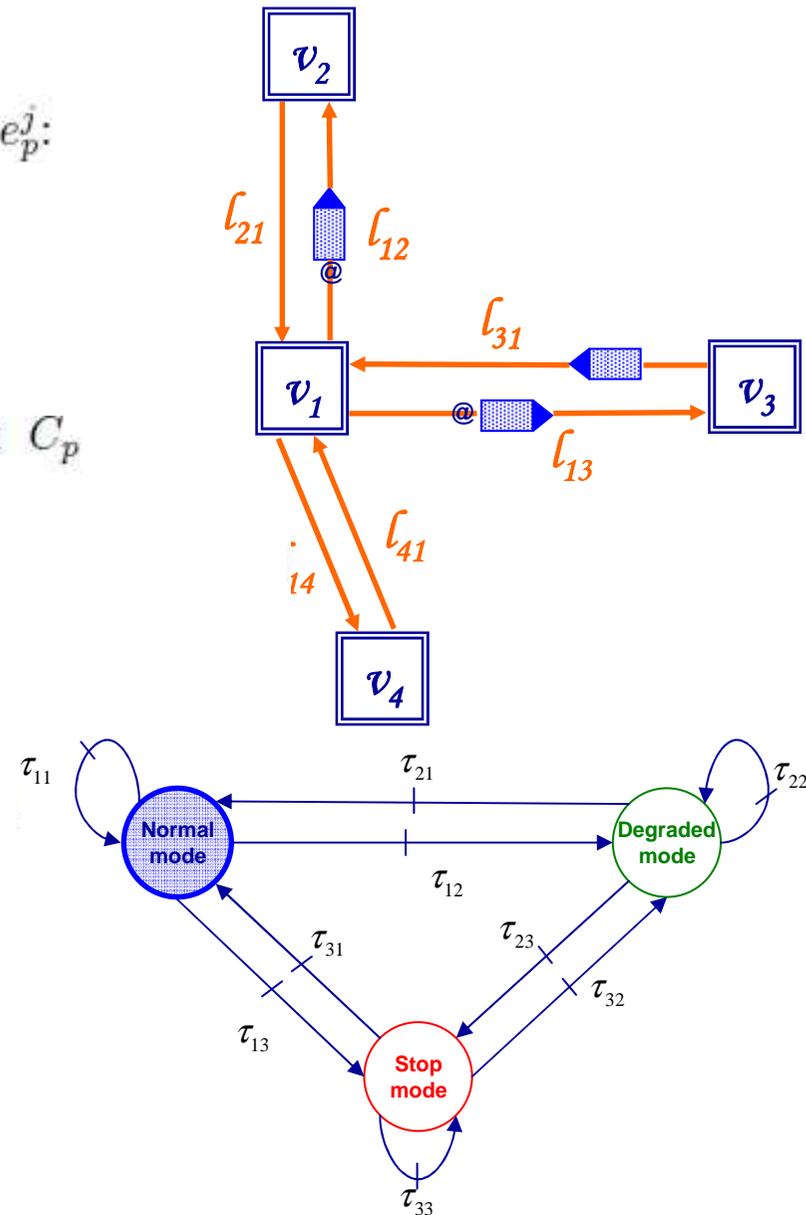
$$e_3^1 = 0.$$

2) Determination of the value of each constraint  $C_p$  according to its  $J_p$  sub-constraint

$$C_1(t, 0, 0, 0) = 0.$$

$$C_2(t, 0, 0, 0, 0) = 0.$$

$$C_3(t, 0) = 0.$$



# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 1: normal operating

- 3) Find the element of  $\mathcal{B}$  which corresponds to the triplet formed from the constraints  $(C_1, C_2, C_3)$  found into 2.

$(0, 0, 0)$  corresponds to the element  $\mathcal{U}_1^1$  of the set  $\mathcal{U}_1$ .

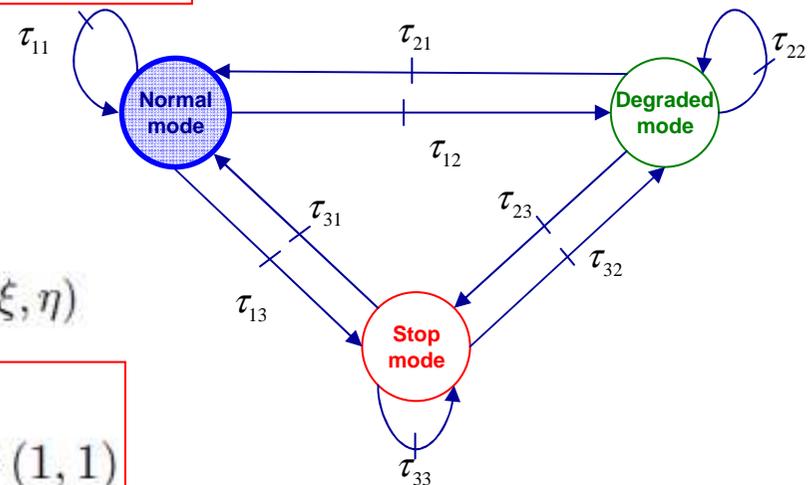
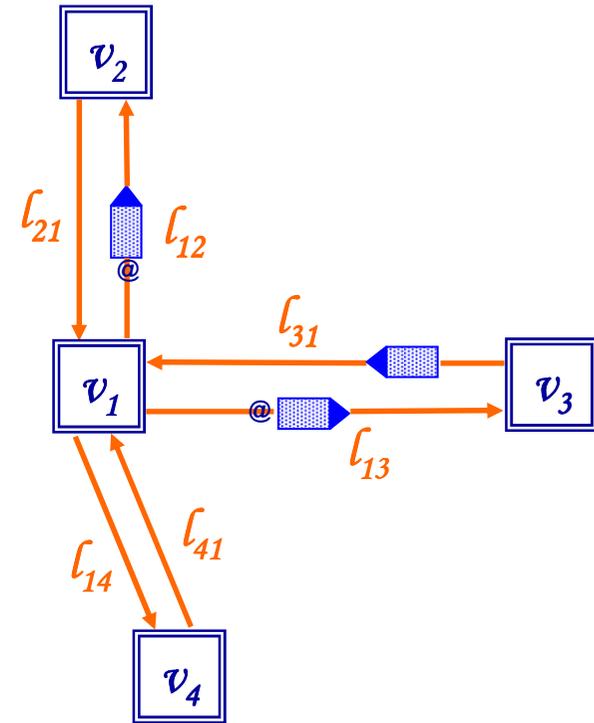
- 4) Deduce the mode and the sub-mode by using the bijections  $\mathcal{L}$  et  $\mathcal{L}'$ .

we deduce that the system is in normal mode  $\mathcal{M}_1$  from where  $n = m = 1$

- 5) Evaluation of the graph' arcs as follows:

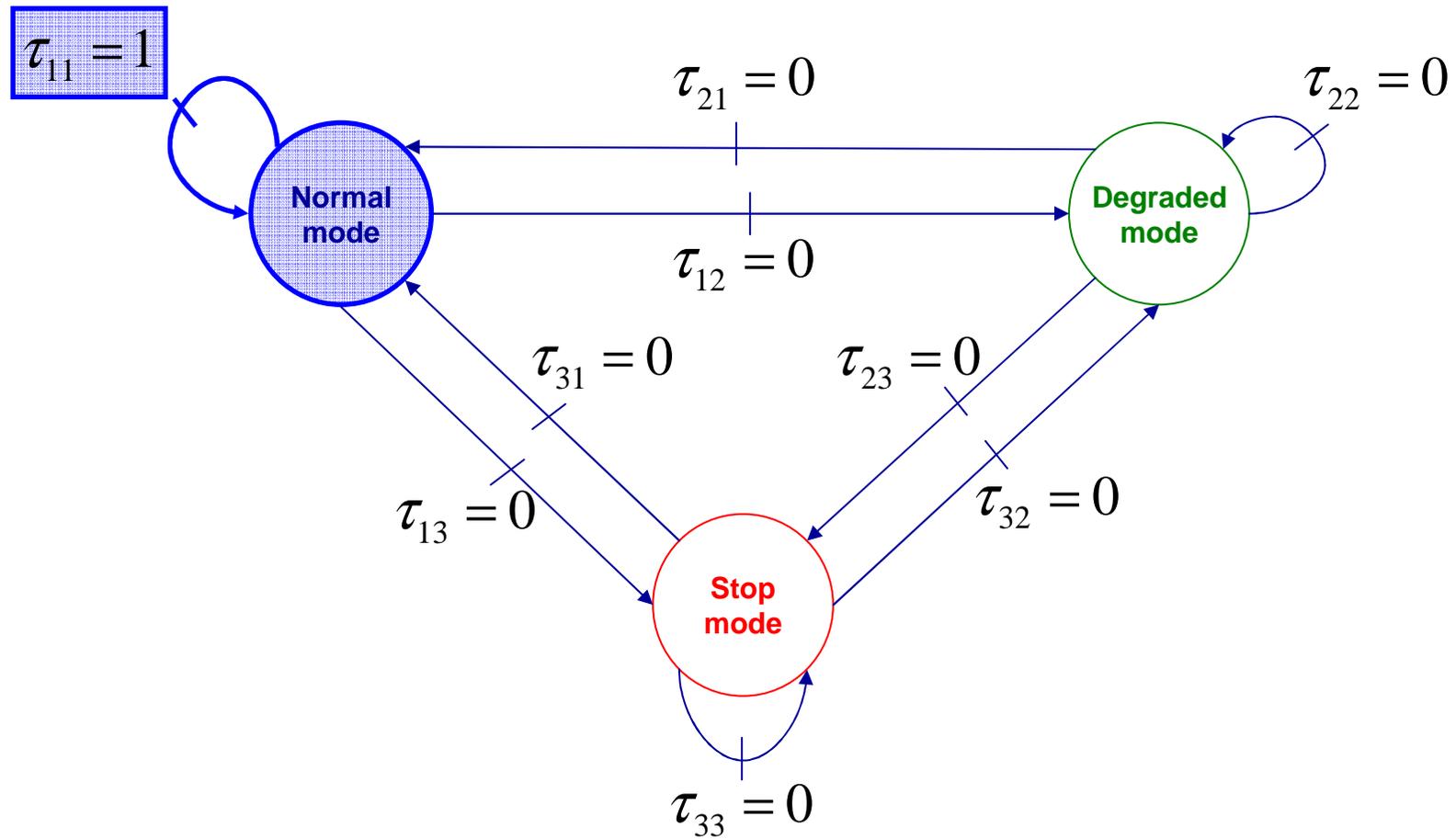
$$\begin{cases} \tau_{nm} = 1 \\ \tau_{\xi\eta} = 0 \end{cases} \quad \forall \xi, \eta \in \{1, \dots, N\} \text{ and } (n, m) \neq (\xi, \eta)$$

$$\begin{cases} \tau_{11} = 1 \\ \tau_{nm} = 0 \end{cases} \quad \forall n, m \in \{1, 2, 3\} \text{ and } (n, m) \neq (1, 1)$$



# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 1: normal operating



# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 2: degraded operating

1) Specification of the value of each sub-constraint  $e_p^j$ :

$$e_1^1 = e_1^2 = 0 \text{ and } e_1^3 = 1.$$

$$e_2^1 = e_2^3 = e_2^4 = 0 \text{ and } e_2^2 = 1.$$

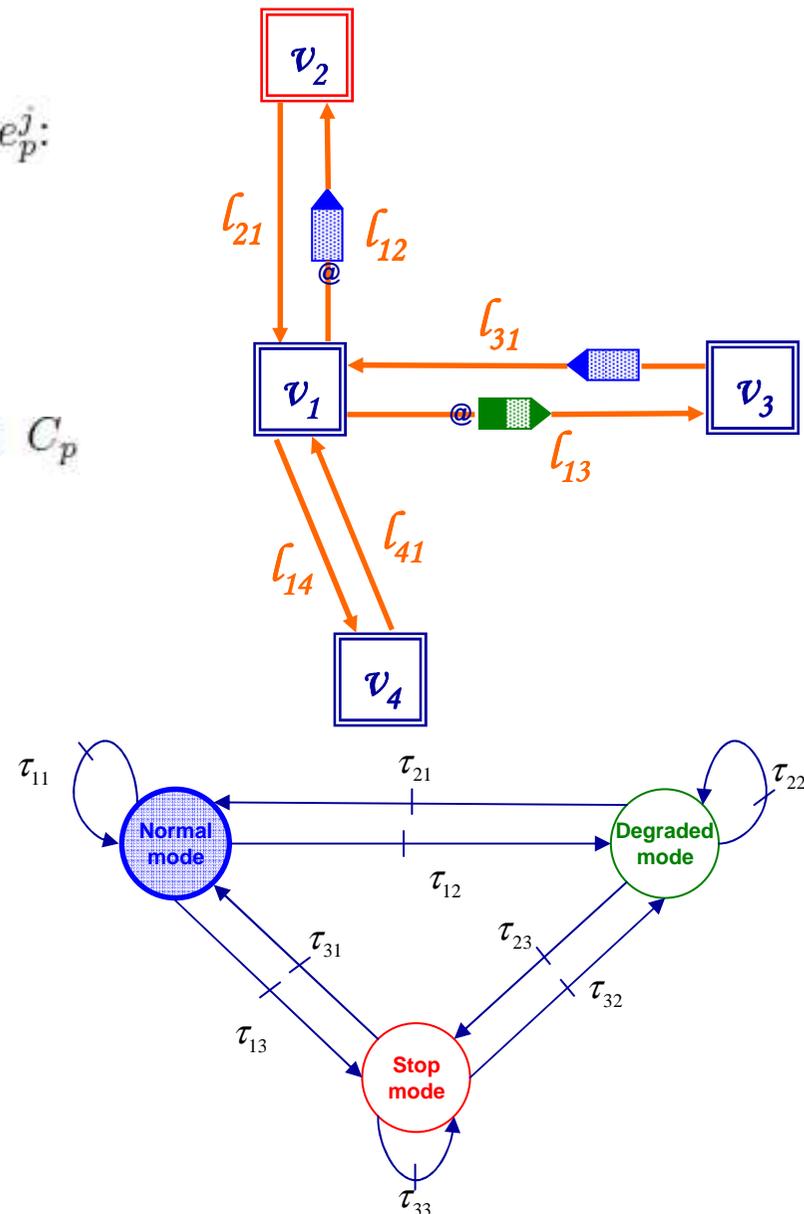
$$e_3^1 = 0.$$

2) Determination of the value of each constraint  $C_p$  according to its  $J_p$  sub-constraint :

$$C_1(t, 0, 0, 1) = 1.$$

$$C_2(t, 0, 1, 0, 0) = 1.$$

$$C_3(t, 0) = 0.$$



# Modélisation graphique – Application sur STI

## Case 2: degraded operating

- 3) Find the element of  $\mathcal{B}$  which corresponds to the triplet formed from the constraints  $(C_1, C_2, C_3)$  found into 2.

$(1, 1, 0)$  corresponds to the element  $\mathcal{U}_2^3$  of the set  $\mathcal{U}_2$ .

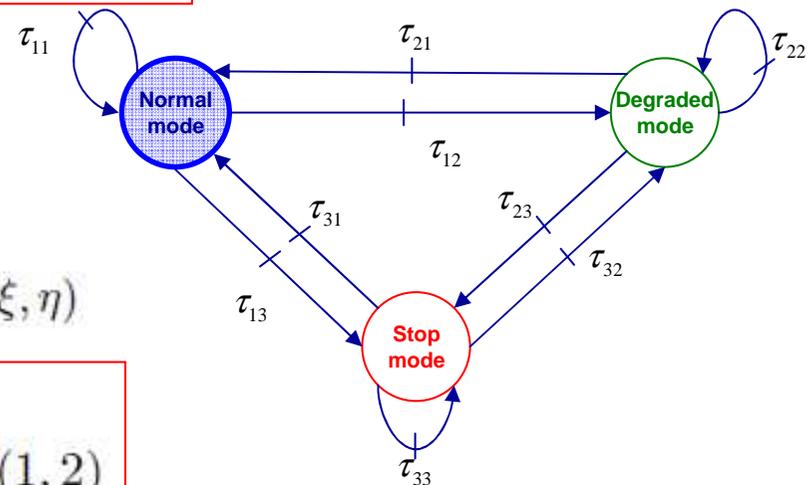
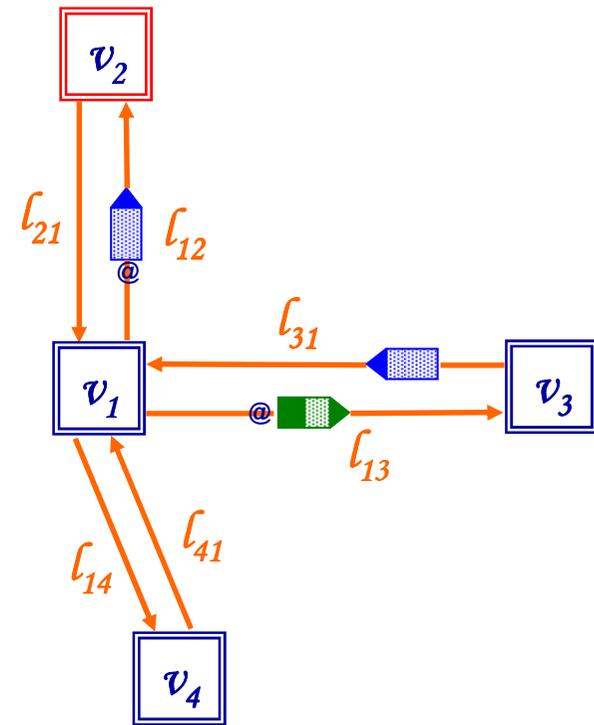
- 4) Deduce the mode and the sub-mode by using the bijections  $\mathcal{L}$  et  $\mathcal{L}'$ .

we deduce that the system is in degraded mode  $\mathcal{M}_2$  from where  $n = 1$  and  $m = 2$ .

- 5) Evaluation of the graph' arcs as follows:

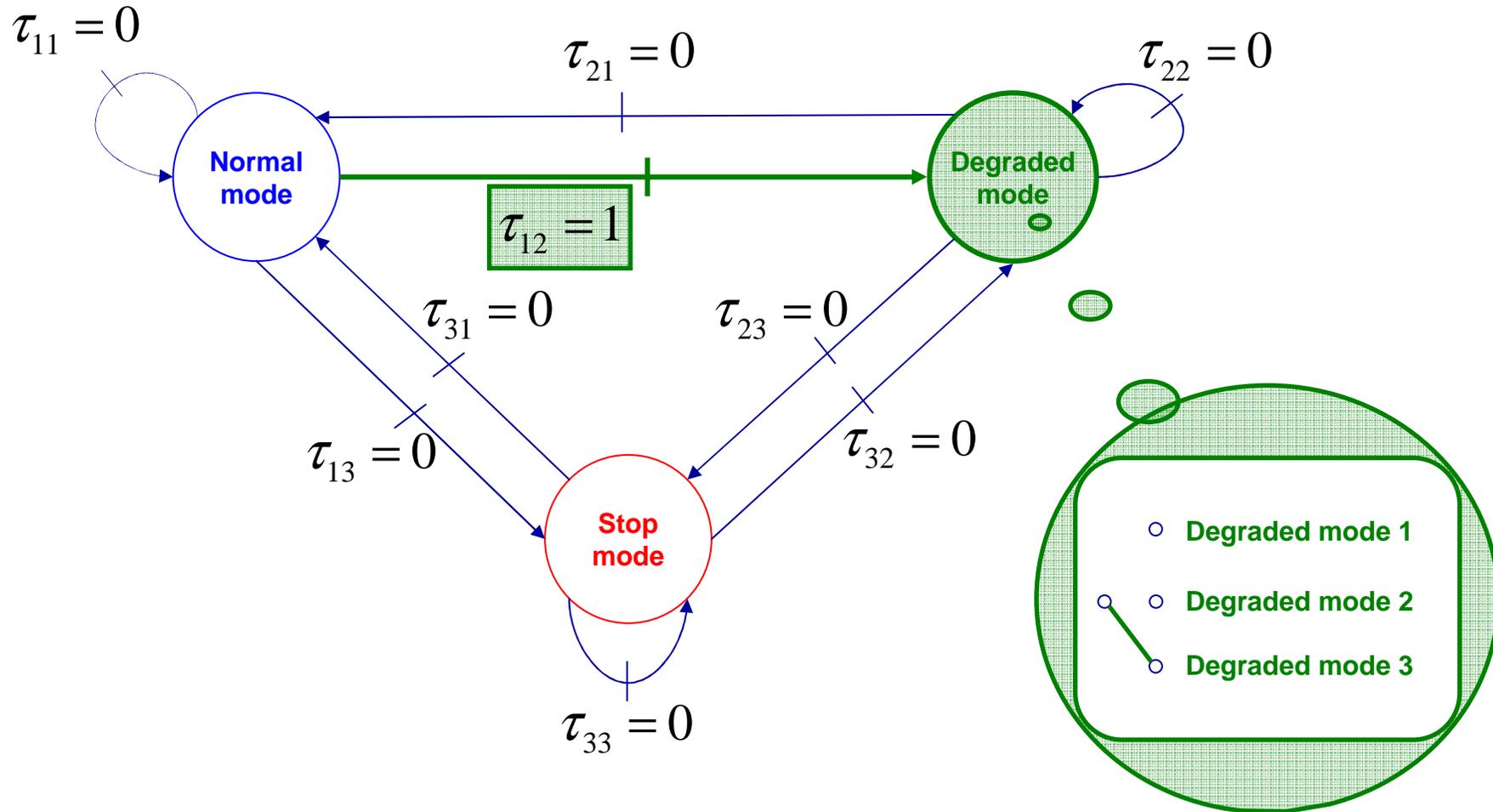
$$\begin{cases} \tau_{nm} = 1 \\ \tau_{\xi\eta} = 0 \end{cases} \quad \forall \xi, \eta \in \{1, \dots, N\} \text{ and } (n, m) \neq (\xi, \eta)$$

$$\begin{cases} \tau_{12} = 1 \\ \tau_{nm} = 0 \end{cases} \quad \forall n, m \in \{1, 2, 3\} \text{ and } (n, m) \neq (1, 2)$$



# Modélisation graphique – Application sur STI

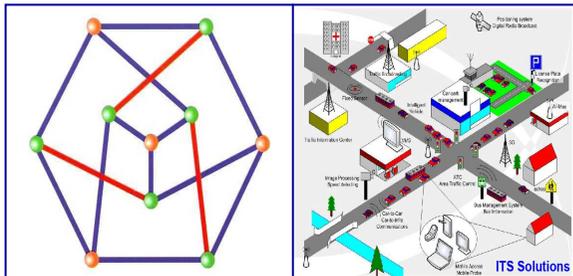
## Case 2: degraded operating



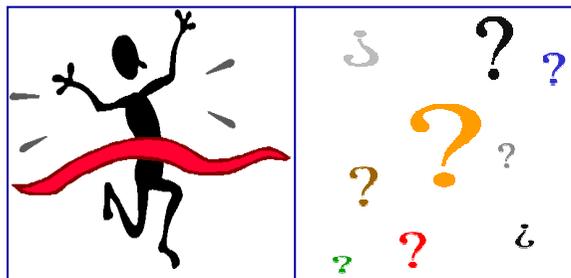
# Cette présentation se concentre sur la modélisation graphique de la supervision d'un système de systèmes



Définitions



Modélisation graphique  
Application sur STI



Conclusion

# En résumé, un modèle de supervision d'un système de systèmes a été présenté

Ce modèle est basé sur la théorie de graphe tenant en considération la supervision du système en temps réel.

Une application sur un système de transport intelligent dans un espace confiné a été réalisée

**Merci**

