

# Les Systèmes Coopératifs de Transport Intelligents (C-ITS)

Maxime Guériau

Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR),  
Université de Lyon 1

*Smart environments : C-ITS*

Mercredi 14 décembre 2016

# Sommaire

- 1 Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain**
  - Depuis les années 70
  - Aujourd'hui et demain
- 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes**
  - Véhicule intelligent ?
  - Contexte technologique actuel
  - Véhicule automatisé ?
  - Véhicule coopératif ?
- 3 Systèmes Coopératifs de trafic**
  - Un monde connecté !
  - Architecture
  - Enjeux des C-ITS ?
- 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs**
  - Comment modéliser la coopération ?
  - Approche
  - Simulation

# Sommaire

- 1 Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain**
  - Depuis les années 70
  - Aujourd'hui et demain
- 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes**
  - Véhicule intelligent ?
  - Contexte technologique actuel
  - Véhicule automatisé ?
  - Véhicule coopératif ?
- 3 Systèmes Coopératifs de trafic**
  - Un monde connecté !
  - Architecture
  - Enjeux des C-ITS ?
- 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs**
  - Comment modéliser la coopération ?
  - Approche
  - Simulation

# Sommaire

- 1** Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain
  - Depuis les années 70
  - Aujourd'hui et demain
- 2** De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes
  - Véhicule intelligent ?
  - Contexte technologique actuel
  - Véhicule automatisé ?
  - Véhicule coopératif ?
- 3** Systèmes Coopératifs de trafic
  - Un monde connecté !
  - Architecture
  - Enjeux des C-ITS ?
- 4** Modélisation des Systèmes Coopératifs
  - Comment modéliser la coopération ?
  - Approche
  - Simulation

# Sommaire

- 1** Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain
  - Depuis les années 70
  - Aujourd'hui et demain
- 2** De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes
  - Véhicule intelligent ?
  - Contexte technologique actuel
  - Véhicule automatisé ?
  - Véhicule coopératif ?
- 3** Systèmes Coopératifs de trafic
  - Un monde connecté !
  - Architecture
  - Enjeux des C-ITS ?
- 4** Modélisation des Systèmes Coopératifs
  - Comment modéliser la coopération ?
  - Approche
  - Simulation

# Les Systèmes Coopératifs

## 1 Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain

- Depuis les années 70
  - Années 70 à 90
  - Années 2000
  - Quels défis pour l'avenir ?
- Aujourd'hui et demain
  - Contexte Européen

# Les Systèmes Coopératifs

## 1 Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain

### ■ Depuis les années 70

- Années 70 à 90
- Années 2000
- Quels défis pour l'avenir ?

### ■ Aujourd'hui et demain

- Contexte Européen

# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 70 à 90

- Informations aux usagers
- Régulation des feux tricolores
- Métro automatique
- Panneaux à messages variables
- Contrôle des bus
- Billetterie sur carte à puce
- Télépéage



# Historique : Années 2000

- Vélos en libre service



- Autopartage

- Covoiturage

# Historique : Années 2000

- Vélos en libre service
- Autopartage
- Covoiturage



# Historique : Années 2000

- Vélos en libre service
- Autopartage
- Covoiturage



# Quels défis pour l'avenir ?

- Accès aux zones urbaines et périurbaines
- Congestion
- Transition énergétique
- Enjeux économiques

# Les Systèmes Coopératifs

## 1 Les transports intelligents hier, aujourd'hui et demain

- Depuis les années 70
  - Années 70 à 90
  - Années 2000
  - Quels défis pour l'avenir ?
- Aujourd'hui et demain
  - Contexte Européen

# Contexte Européen



- **Projet SCOOP :**
  - Modifier la gestion du trafic et l'information routière.
  - Remplacer les équipements dynamiques
  - Améliorer le service
  - Sensibiliser les constructeurs
- **en chiffres :**
  - 20 millions d'euros
  - 3 000 véhicules
  - 2 000 km de routes et rues
  - 5 sites pilotes

# Les Systèmes Coopératifs

- 2** De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes
  - Véhicule intelligent ?
  - Contexte technologique actuel
    - Communication
    - Localisation
    - Capteurs
  - Véhicule automatisé ?
    - Systèmes ADAS
    - Véhicules automatiques
  - Véhicule coopératif ?
    - Résumé
    - Exemple
    - Objectif

# Les Systèmes Coopératifs

## 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes

### ■ Véhicule intelligent ?

#### ■ Contexte technologique actuel

- Communication
- Localisation
- Capteurs

#### ■ Véhicule automatisé ?

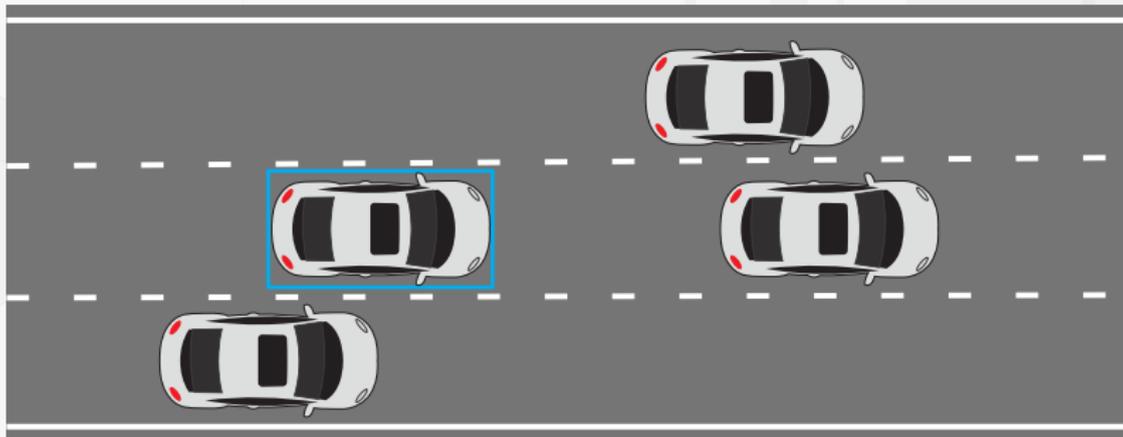
- Systèmes ADAS
- Véhicules automatiques

#### ■ Véhicule coopératif ?

- Résumé
- Exemple
- Objectif

# Véhicule intelligent ?

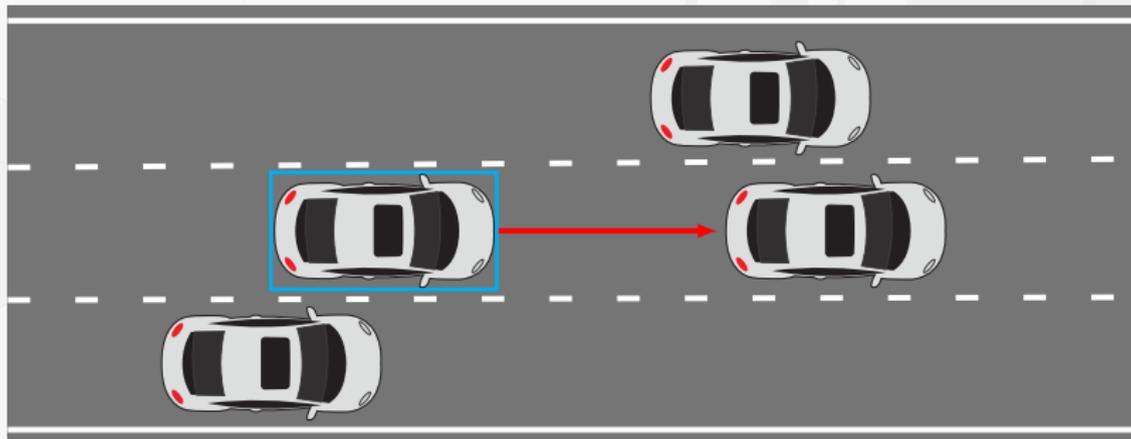
- Véhicule classique



Véhicule courant

# Véhicule intelligent ?

- Véhicule équipé



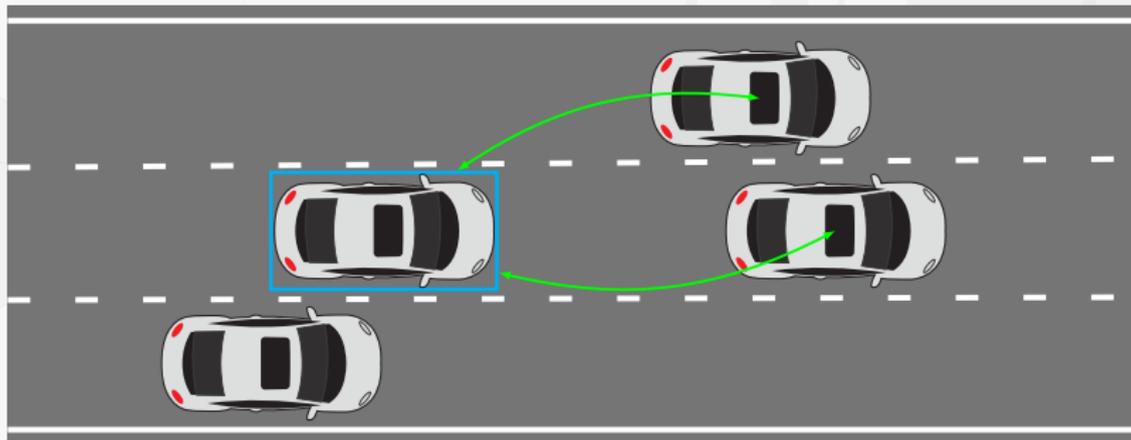
Véhicule courant



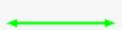
Mesure capteur

# Véhicule intelligent ?

- Véhicule connecté (V2V)



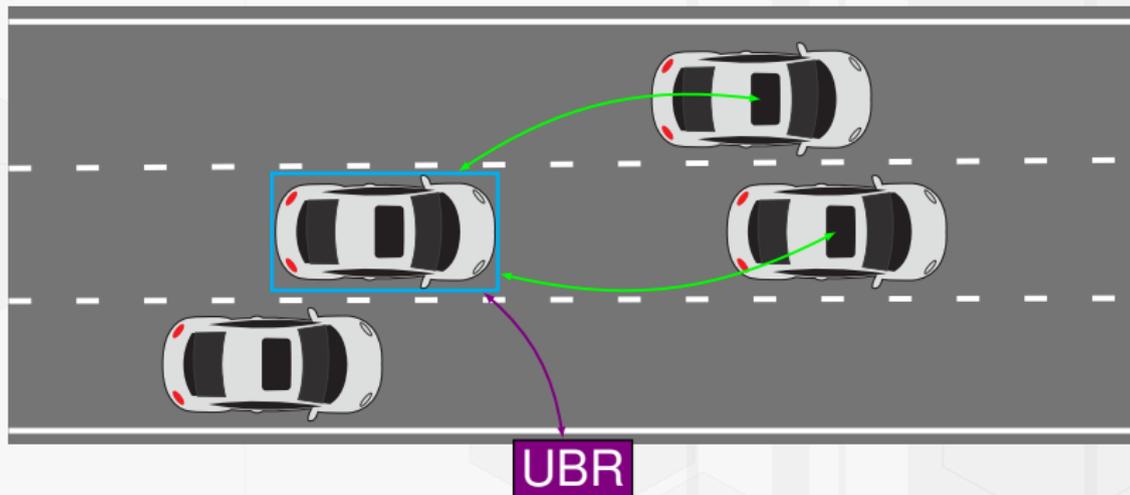
Véhicule courant



Informations échangées – V2V

# Véhicule intelligent ?

- Véhicule connecté (V2V & V2I/I2V)



Véhicule courant



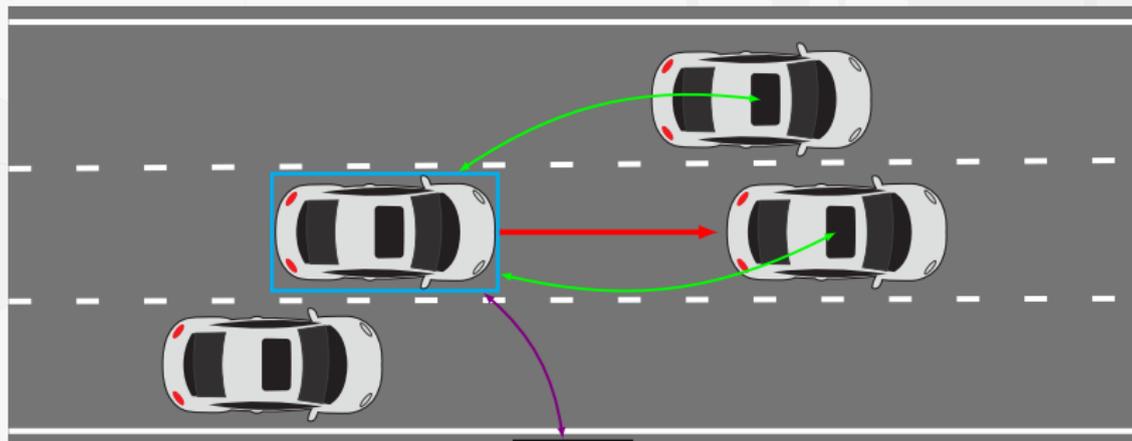
Informations échangées – V2V



V2I/I2V

# Véhicule intelligent ?

- Véhicule intelligent



UBR



Véhicule courant



Mesure capteur



Informations échangées – V2V



V2I/I2V

# Les Systèmes Coopératifs

## 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes

### ■ Véhicule intelligent ?

### ■ Contexte technologique actuel

- Communication
- Localisation
- Capteurs

### ■ Véhicule automatisé ?

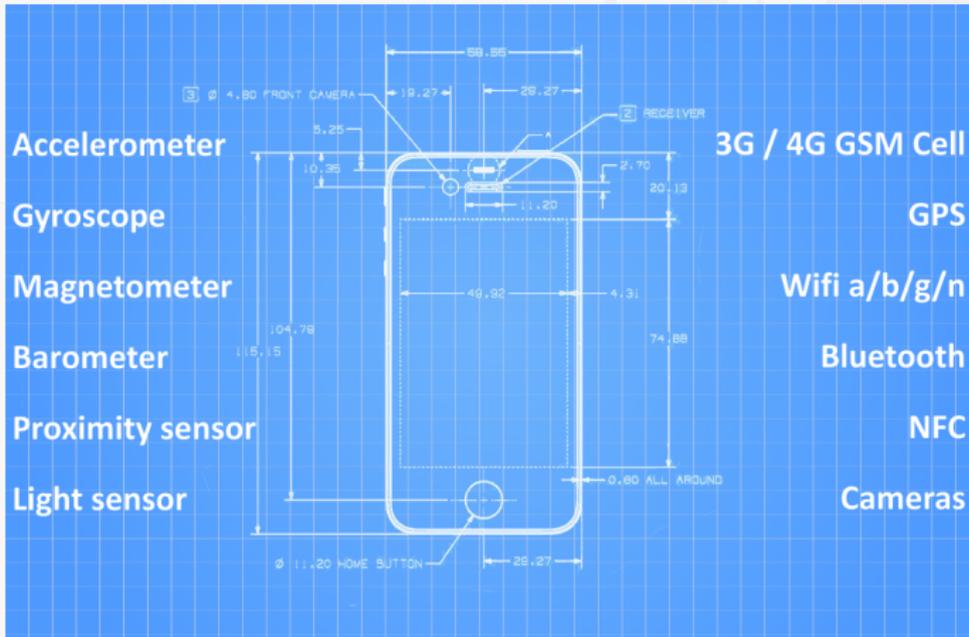
- Systèmes ADAS
- Véhicules automatiques

### ■ Véhicule coopératif ?

- Résumé
- Exemple
- Objectif

# Contexte technologique : Smartphone

## Autopsie d'un smartphone :



# Contexte technologique : Capteurs embarqués

Un véhicule bien équipé :



# Contexte technologique : Communication

- Standardisation



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

# Contexte technologique : Communication

- Standardisation



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

- Wifi IEEE 802.11p

**IEEE**  
**802.11**<sup>TM</sup>

# Contexte technologique : Communication

- Standardisation



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

- Wifi IEEE 802.11p



- Réseau cellulaire

# Contexte technologique : Communication

- Standardisation



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

- Wifi IEEE 802.11p

**IEEE**  
**802.11**<sup>TM</sup>

- Réseau cellulaire

- Bluetooth



# Contexte technologique : Communication

- Standardisation



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

- Wifi IEEE 802.11p

**IEEE**  
**802.11**<sup>TM</sup>

- Réseau cellulaire

- Bluetooth



# Contexte technologique : Localisation

- GPS

# Contexte technologique : Localisation

- GPS
- Galileo



# Contexte technologique : Localisation

- GPS
- Galileo
- Réseau cellulaire et A-GPS



# Contexte technologique : Perception

Des idées ?

# Contexte technologique : Perception

- Télémétrie



# Contexte technologique : Perception

- Télémétrie
- Scanner 3D



# Contexte technologique : Perception

- Télémétrie



- Scanner 3D



- Stéréovision



# Les Systèmes Coopératifs

## 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes

- Véhicule intelligent ?
- Contexte technologique actuel
  - Communication
  - Localisation
  - Capteurs
- Véhicule automatisé ?
  - Systèmes ADAS
  - Véhicules automatiques
- Véhicule coopératif ?
  - Résumé
  - Exemple
  - Objectif

# Véhicules automatisés : Systèmes ADAS

- Lane-Keeping System



- Active park-assist

# Véhicules automatisés : Systèmes ADAS

- Lane-Keeping System



- Active park-assist



# Véhicules automatisés : Systèmes ADAS (2)

- Adaptive Cruise Control

# Véhicules automatisés : Systèmes ADAS (3)

- Collision avoidance

# Véhicules automatisés : Systèmes ADAS (3 bis)

- Collision avoidance

# Véhicules automatiques : sans conducteur !

- Google Car



- DARPA Challenge

# Véhicules automatiques : sans conducteur !

- Google Car



- DARPA Challenge



# Véhicules automatiques : sans conducteur ! (2)

- DARPA Challenge (Bonus)

# Véhicules automatiques : Platooning

- **Projet ANR Safeplatoon**

# Véhicules automatiques : Piloted Parking

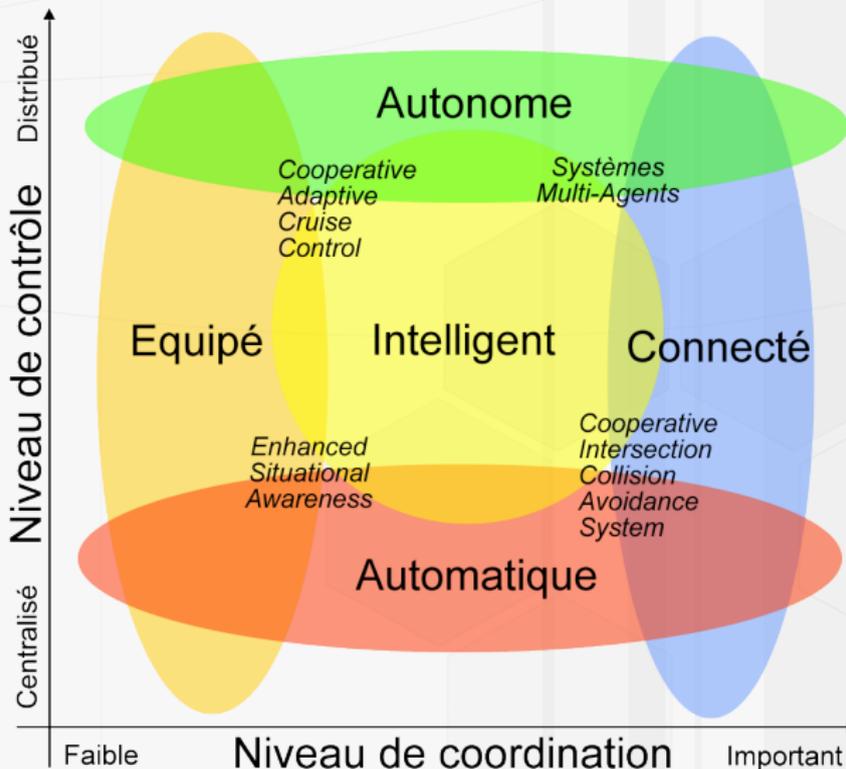
- **Démonstration commerciale Audi**

# Les Systèmes Coopératifs

## 2 De l'aide à la conduite aux véhicules entièrement autonomes

- Véhicule intelligent ?
- Contexte technologique actuel
  - Communication
  - Localisation
  - Capteurs
- Véhicule automatisé ?
  - Systèmes ADAS
  - Véhicules automatiques
- Véhicule coopératif ?
  - Résumé
  - Exemple
  - Objectif

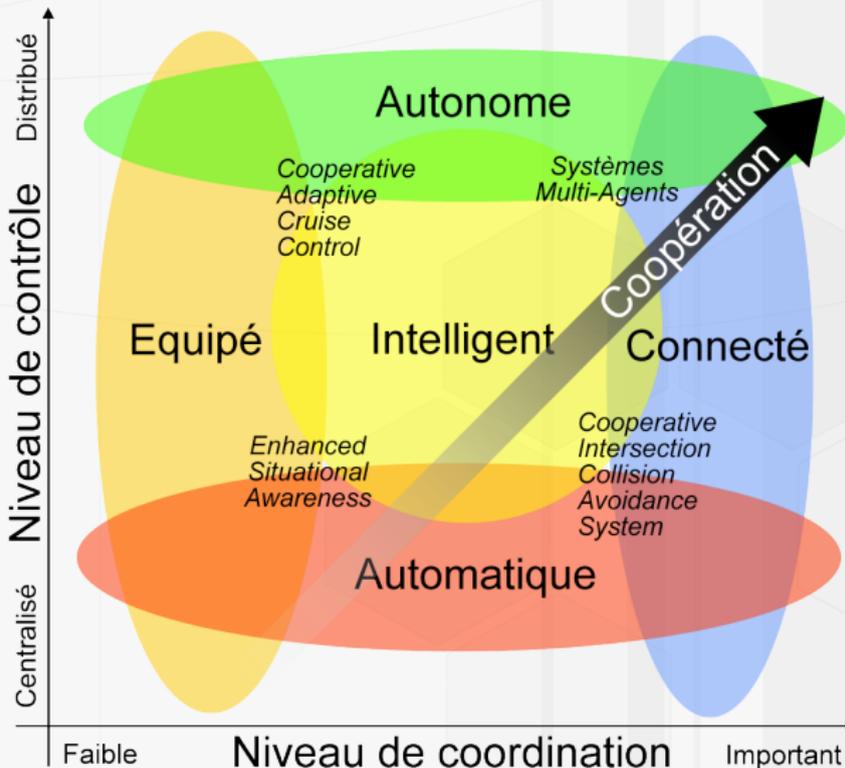
# Véhicule coopératif



# Véhicules coopératifs : CACC

- Cooperative Adaptive Cruise Control

# Véhicule coopératif



# Les Systèmes Coopératifs

## 3 Systèmes Coopératifs de trafic

- Un monde connecté !
- Architecture
- Enjeux des C-ITS ?

# Les Systèmes Coopératifs

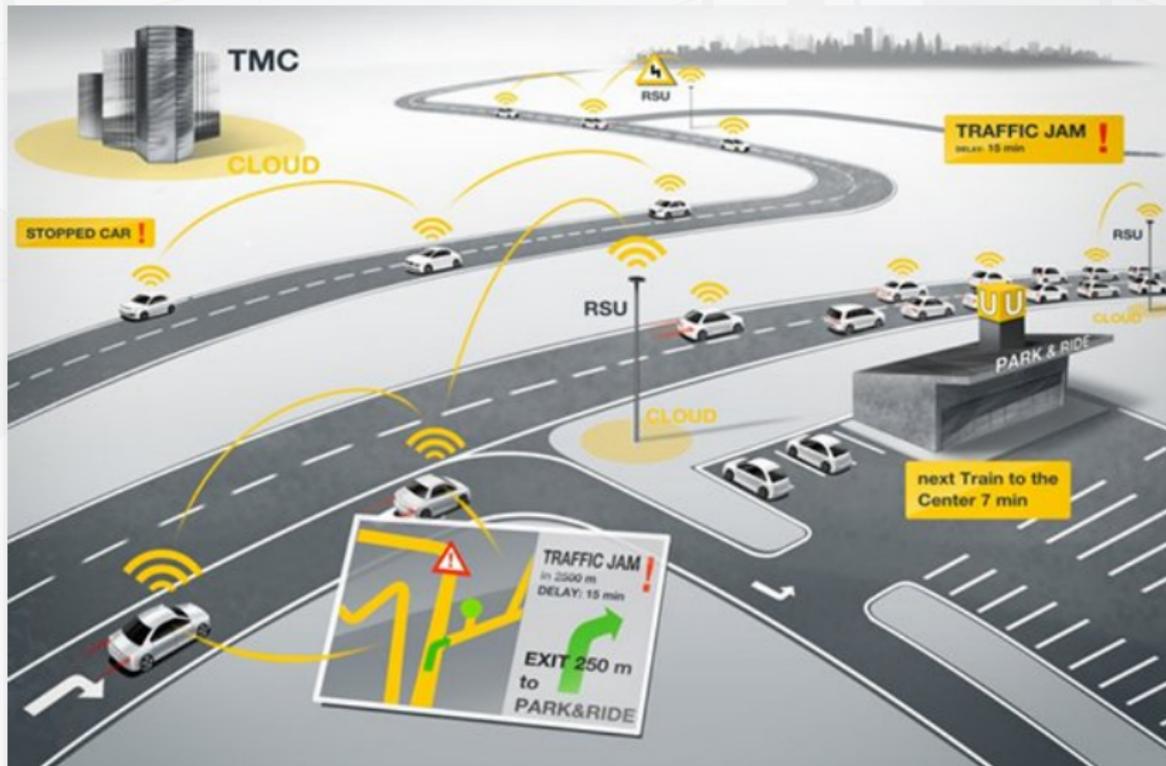
## 3 Systèmes Coopératifs de trafic

### ■ Un monde connecté !

#### ■ Architecture

#### ■ Enjeux des C-ITS ?

# Systèmes Coopératifs : Un monde connecté !

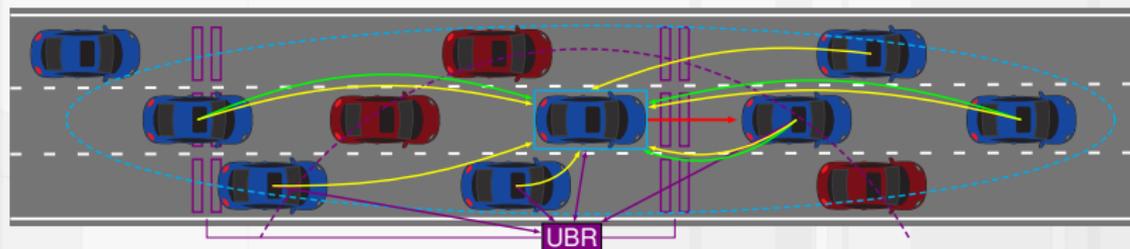


# Les Systèmes Coopératifs

## 3 Systèmes Coopératifs de trafic

- Un monde connecté !
- Architecture
- Enjeux des C-ITS ?

# Systèmes Coopératifs : architecture



- |   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  | Véhicule connecté  |  | Véhicule courant         |
|  | Véhicule non-connecté                                      |  | Rayon de communication   |
|  | Mesure directe ( $\Delta x, \Delta \dot{x}$ )              |  | Stratégie de contrôle    |
|  | Mesure échangée ( $\Delta x, \Delta \dot{x}, x, \dot{x}$ ) |  | Rayon de com. de l'UBR   |
|  | Valeur de confiance partagée                               |  | Boucle électromagnétique |

# Les Systèmes Coopératifs

## 3 Systèmes Coopératifs de trafic

- Un monde connecté !
- Architecture
- Enjeux des C-ITS ?

# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

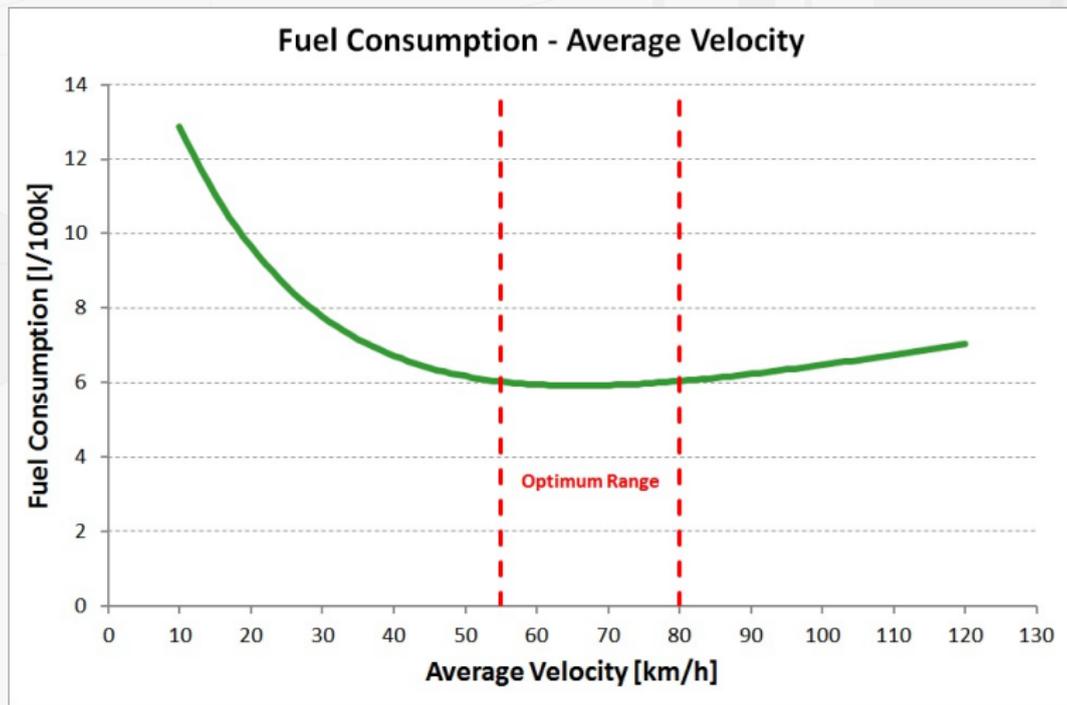
# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

# Systèmes Coopératifs : les enjeux

- Enjeux des systèmes coopératifs =  
**trafic + homogène et + stable**
  - Sécurité
  - Fluidité
  - Confort
  - Environnement

# Systèmes Coopératifs : l'enjeu environnemental



# Les Systèmes Coopératifs

## 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs

### ■ Comment modéliser la coopération ?

- Problématique
- Approche centralisée/décentralisée ?

### ■ Approche

- Rappel : niveaux de modélisation du trafic
- Modèle non-coopératif
- Application : conditions de stabilité
- Modèle coopératif
- Application : homogénéisation du flux
- Application : Stratégies de contrôle

### ■ Simulation

- Résultats
- Application : Stratégies de contrôle (2)
- Démonstration

# Les Systèmes Coopératifs

## 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs

### ■ Comment modéliser la coopération ?

- Problématique
- Approche centralisée/décentralisée ?

### ■ Approche

- Rappel : niveaux de modélisation du trafic
- Modèle non-coopératif
- Application : conditions de stabilité
- Modèle coopératif
- Application : homogénéisation du flux
- Application : Stratégies de contrôle

### ■ Simulation

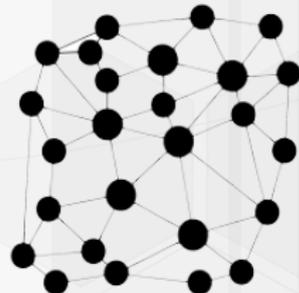
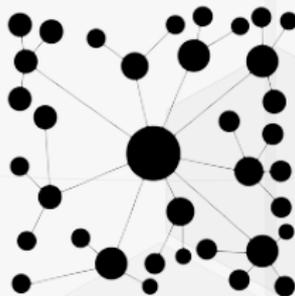
- Résultats
- Application : Stratégies de contrôle (2)
- Démonstration

# Modélisation : problématique

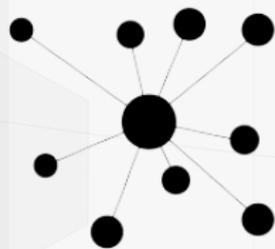
## Coopération

La coopération dans les systèmes ouverts composés de multiples entités est une initiative individuelle orientant les actions d'une entité vers la délégation de toute ou partie d'une tâche par une autre entité.

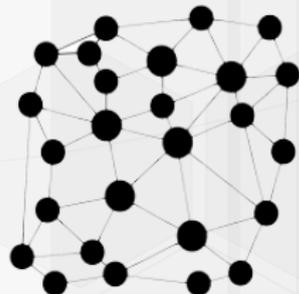
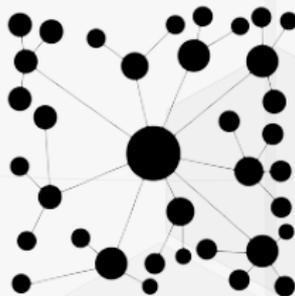
# Modélisation : Approche centralisée/décentralisée ?



# Modélisation : Approche centralisée/décentralisée ?



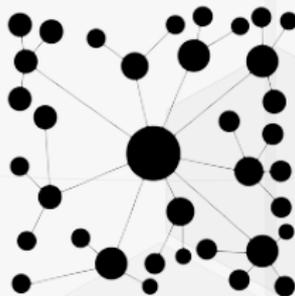
Centralisée



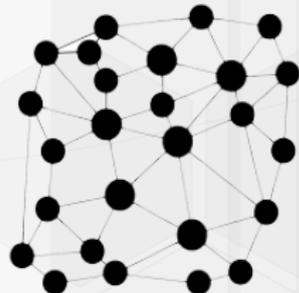
# Modélisation : Approche centralisée/décentralisée ?



Centralisée



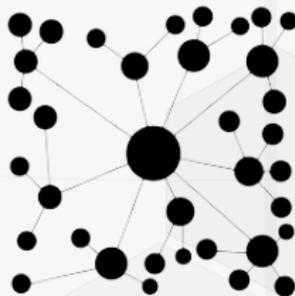
Décentralisée



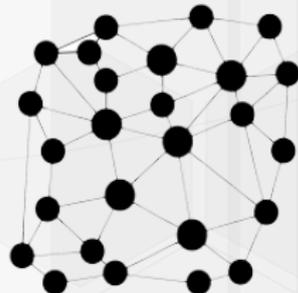
# Modélisation : Approche centralisée/décentralisée ?



Centralisée

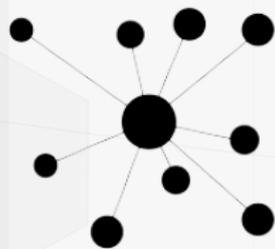


Décentralisée

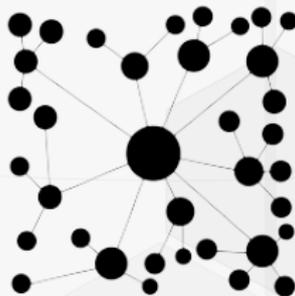


Distribuée

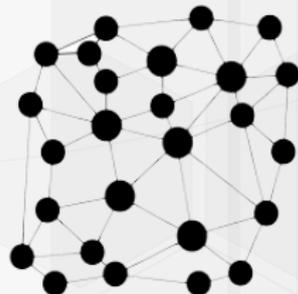
# Modélisation : Approche centralisée/décentralisée ?



Centralisée



Décentralisée



Distribuée

# Les Systèmes Coopératifs

## 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs

### ■ Comment modéliser la coopération ?

- Problématique
- Approche centralisée/décentralisée ?

### ■ Approche

- Rappel : niveaux de modélisation du trafic
- Modèle non-coopératif
- Application : conditions de stabilité
- Modèle coopératif
- Application : homogénéisation du flux
- Application : Stratégies de contrôle

### ■ Simulation

- Résultats
- Application : Stratégies de contrôle (2)
- Démonstration

# Niveau de modélisation du trafic

- **Modélisation macroscopique**
  - Indicateurs globaux : densité, débit, vitesse moyenne
  - Modèle d'ordre 1, d'ordre 2
- **Modélisation mésoscopique**
  - Niveau intermédiaire
  - "Gas-kinetic models"
  - Fonction de densité de probabilité
- **Modélisation microscopique**
  - Comportements individuels
  - Modélisation particulière
  - Lois de poursuite

# Niveau de modélisation du trafic

- **Modélisation macroscopique**
  - Indicateurs globaux : densité, débit, vitesse moyenne
  - Modèle d'ordre 1, d'ordre 2
- **Modélisation mésoscopique**
  - Niveau intermédiaire
  - "Gas-kinetic models"
  - Fonction de densité de probabilité
- **Modélisation microscopique**
  - Comportements individuels
  - Modélisation particulière
  - Lois de poursuite

# Niveau de modélisation du trafic

- **Modélisation macroscopique**
  - Indicateurs globaux : densité, débit, vitesse moyenne
  - Modèle d'ordre 1, d'ordre 2
- **Modélisation mésoscopique**
  - Niveau intermédiaire
  - "Gas-kinetic models"
  - Fonction de densité de probabilité
- **Modélisation microscopique**
  - Comportements individuels
  - Modélisation particulière
  - Lois de poursuite

# Niveau de modélisation du trafic

- **Modélisation macroscopique**
  - Indicateurs globaux : densité, débit, vitesse moyenne
  - Modèle d'ordre 1, d'ordre 2
- **Modélisation mésoscopique**
  - Niveau intermédiaire
  - "Gas-kinetic models"
  - Fonction de densité de probabilité
- **Modélisation microscopique**
  - Comportements individuels
  - Modélisation particulière
  - **Lois de poursuite**

# Modélisation : lois de poursuite

## Equation générale d'une loi de poursuite

$$\ddot{x}_n = f(\dot{x}_n, \Delta x_n, \Delta \dot{x}_n)$$

avec

- $n$  : l'indice du véhicule
- $x_n$  : la position du véhicule
- $\dot{x}_n$  : la vitesse instantanée du véhicule
- $\ddot{x}_n$  : l'accélération du véhicule
- $\Delta x_n$  : l'écart entre les position des véhicules  $n$  et  $n+1$  (*space headway*)
- $\Delta \dot{x}_n$  : l'écart entre les vitesses des véhicules  $n$  et  $n+1$  (vitesse relative)

# Modélisation : IDM

## Intelligent Driver Model

$$\ddot{x}_n = a \left[ 1 - \left( \frac{\dot{x}_n}{V_0} \right)^\delta - \left( \frac{s_0 + \dot{x}_n T + \frac{\dot{x}_n \Delta \dot{x}_n}{2\sqrt{ab}}}{\Delta x_n} \right)^2 \right]$$

- $a$  : accélération maximum
- $b$  : décélération désirée
- $V_0$  : vitesse désirée
- $s_0$  : distance en congestion
- $T$  : temps inter-véhicule désiré
- $\delta$  : traduit l'agressivité (accélération)

# Modélisation : IDM

## Intelligent Driver Model

$$\ddot{x}_n = a \left[ 1 - \left( \frac{\dot{x}_n}{V_0} \right)^\delta - \left( \frac{s_0 + \dot{x}_n T + \frac{\dot{x}_n \Delta \dot{x}_n}{2\sqrt{ab}}}{\Delta x_n} \right)^2 \right]$$

- $a$  : accélération maximum
- $b$  : décélération désirée
- $V_0$  : vitesse désirée
- $s_0$  : distance en congestion
- $T$  : temps inter-véhicule désiré
- $\delta$  : traduit l'agressivité (accélération)

# Modélisation : IDM

## Intelligent Driver Model

$$\ddot{x}_n = a \left[ 1 - \left( \frac{\dot{x}_n}{V_0} \right)^\delta - \left( \frac{s_0 + \dot{x}_n T + \frac{\dot{x}_n \Delta \dot{x}_n}{2\sqrt{ab}}}{\Delta x_n} \right)^2 \right]$$

- $a$  : accélération maximum
- $b$  : décélération désirée
- $V_0$  : vitesse désirée
- $s_0$  : distance en congestion
- $T$  : temps inter-véhicule désiré
- $\delta$  : traduit l'agressivité (accélération)

# Modélisation : IDM

## Intelligent Driver Model

$$\ddot{x}_n = a \left[ 1 - \left( \frac{\dot{x}_n}{V_0} \right)^\delta - \left( \frac{s_0 + \dot{x}_n T + \frac{\dot{x}_n \Delta \dot{x}_n}{2\sqrt{ab}}}{\Delta x_n} \right)^2 \right]$$

- $a$  : accélération maximum
- $b$  : décélération désirée
- $V_0$  : vitesse désirée
- $s_0$  : distance en congestion
- $T$  : temps inter-véhicule désiré
- $\delta$  : traduit l'agressivité (accélération)

# Application : conditions de stabilité

## Mini TP n° 1 : stabilité du flux de trafic

1. Ouvrir la page :  
<http://www.traffic-simulation.de/>
2. Sélectionner le scénario "ring road"
3. Répondre aux questions suivantes :
  - 3.1 Quel(s) phénomène(s) peut-on observer ?
  - 3.2 Identifier les causes de ce(s) phénomène(s)
4. Proposer une solution au(x) problème(s) observé(s)
  - 4.1 Quels paramètres du scénario permettent d'éviter le(s) problème(s) ?
  - 4.2 Quelle(s) conclusion(s) peut-on en tirer ?

# Application : conditions de stabilité

## Mini TP n° 2 : scénarios dans MovSim

1. Télécharger une version du simulateur MovSim :  
`http://liris.cnrs.fr/~mgueriau/enseignement/entpe/c-its/tp\_c-its.zip`
2. Lancer le scénario "ring road"
3. Editer le fichier de configuration  
(`sim/TP/ringroad_2lanes.xprj`) :
  - 3.1 Modifier la composition du flux pour retirer les poids lourds
  - 3.2 Identifier les paramètres du modèle longitudinal
  - 3.3 Ajuster ces paramètres pour éviter la congestion (utiliser les conclusions du TP n° 1)

# Application : homogénéisation du flux

## Mini TP n° 3 : véhicules coopératifs

1. Dans le simulateur, lancer le scénario "3 lanes motorway" et observer le résultat
2. Editer le fichier de configuration (`sim/3lanes.xprj`) :
  - 2.1 Modifier la composition du flux pour introduire une fraction de véhicules coopératifs (10%, 20%, 30%, 40%, 50%)
  - 2.2 Quel pourcentage permet d'éviter la congestion ?
  - 2.3 Lancer le scénario avec ce pourcentage et observer les informations d'un seul véhicule (stopper le scénario, puis cliquer sur un véhicule coopératif - en bleu)
  - 2.4 Déduire de cette observation le comportement exécuté par les véhicules coopératifs

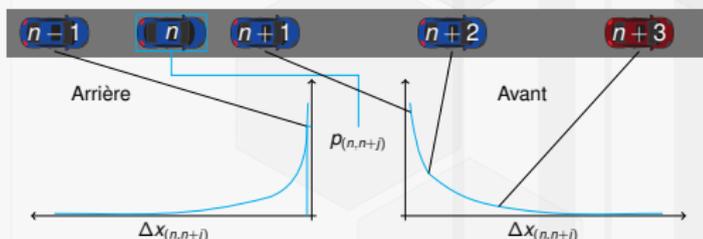
# Modèle coopératif : loi multi-anticipative bilatérale

## Loi multi-anticipative bilatérale

$$\ddot{x}_n = f_{IDM}(\dot{x}_n, \sum_j a_{nj} \Delta x_{n+j}, \sum_j a_{nj} \Delta \dot{x}_{n+j})$$

avec

- $a_{ij}$  : coefficient de pondération de  $j$  par  $i$



## Application : routage

### Mini TP n° 4 : routage

1. Dans le simulateur, lancer le scénario "routing" ou télécharger l'application Android sur <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.movsim.movdroid>  
Ce scénario est un mini jeu dont l'objectif est de minimiser le temps de trajet des véhicules.  
Un clic sur la vue trafic oriente une partie des véhicules :
  - sur l'itinéraire principal qui comporte une fermeture de voie (travaux)
  - sur l'itinéraire de délestage qui traverse une agglomération
2. Jouer tour à tour et comparer vos scores
3. Conclure sur la difficulté d'optimiser un tel problème et proposer une solution

# Les Systèmes Coopératifs

## 4 Modélisation des Systèmes Coopératifs

### ■ Comment modéliser la coopération ?

- Problématique
- Approche centralisée/décentralisée ?

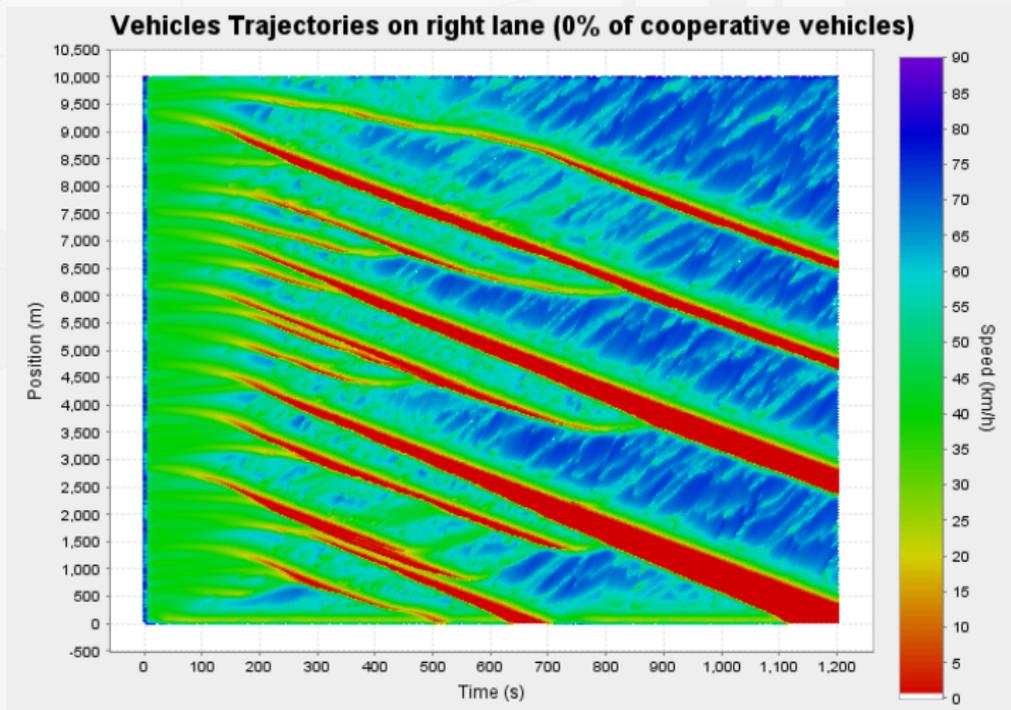
### ■ Approche

- Rappel : niveaux de modélisation du trafic
- Modèle non-coopératif
- Application : conditions de stabilité
- Modèle coopératif
- Application : homogénéisation du flux
- Application : Stratégies de contrôle

### ■ Simulation

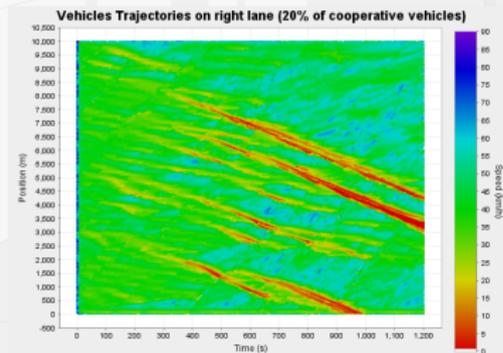
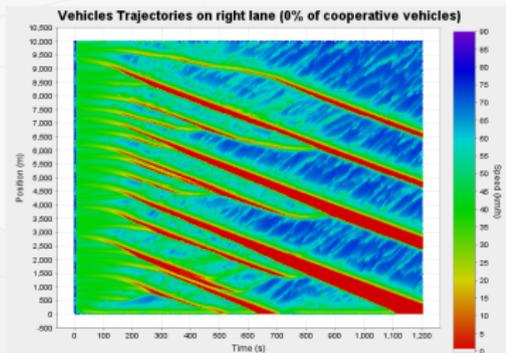
- Résultats
- Application : Stratégies de contrôle (2)
- Démonstration

# Résultats : loi multi-anticipative bilatérale

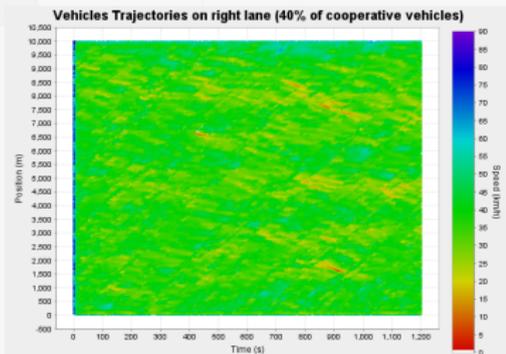
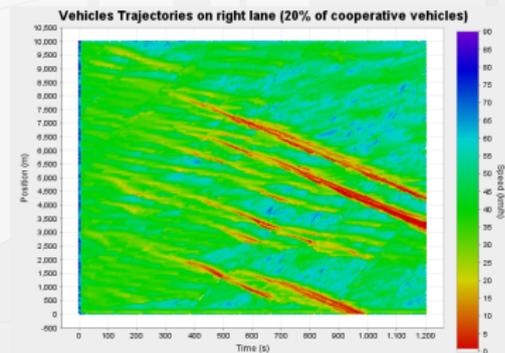
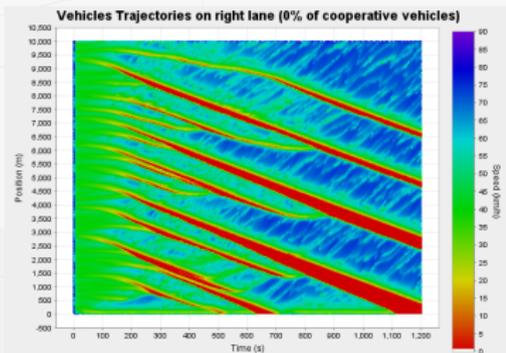




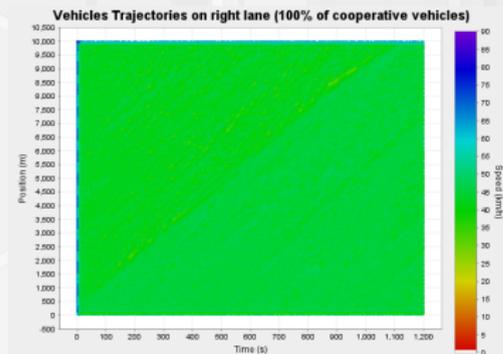
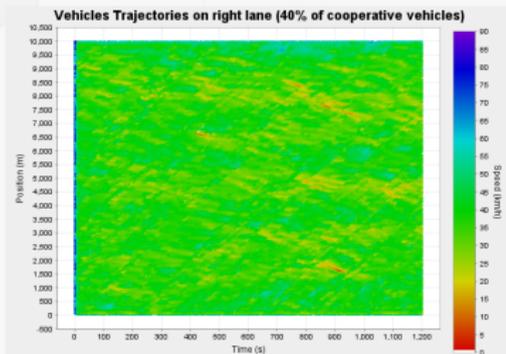
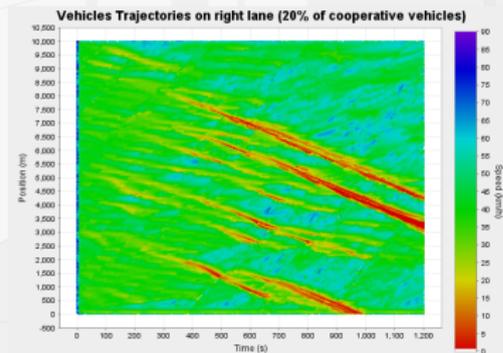
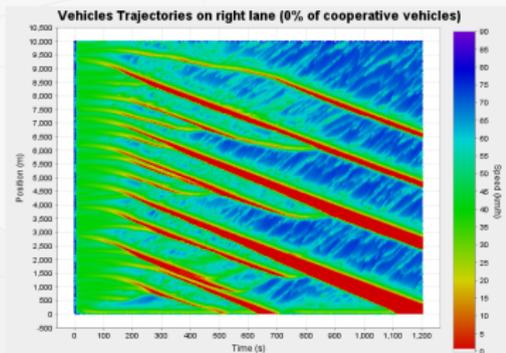
# Résultats : loi multi-anticipative bilatérale



# Résultats : loi multi-anticipative bilatérale



# Résultats : loi multi-anticipative bilatérale



# Application : fermeture de voie

## Mini TP n° 5 : fermeture de voie

### 1. Ré-ouvrir la page :

<http://www.traffic-simulation.de/>

### 2. Sélectionner le scénario "Lane closing"

### 3. Répondre aux questions suivantes :

3.1 Dans quelle(s) condition(s) observe-t-on la formation de congestion ?

3.2 Proposer une solution

3.3 Conclure

# Démonstration



## Merci de votre attention

Maxime Guériau  
PhD

Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et  
des Réseaux (IFSTTAR)  
Université de Lyon 1

Contact :

*maxime.gueriau@ifsttar.fr*