

Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents 2017

# Contrôle par apprentissage constructiviste pour le trafic coopératif

Maxime Guériau<sup>1,2</sup>, Frédéric Armetta<sup>1</sup>, Salima Hassas<sup>1</sup>,  
Romain Billot<sup>3</sup>, Nour-Eddin El Faouzi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Lyon, UMR CNRS 5205 LIRIS, F-69622 Villeurbanne

<sup>2</sup> LICIT, Univ. Lyon – IFSTTAR, F-69675 Bron – ENTPE, F-69518 Vaulx En Velin

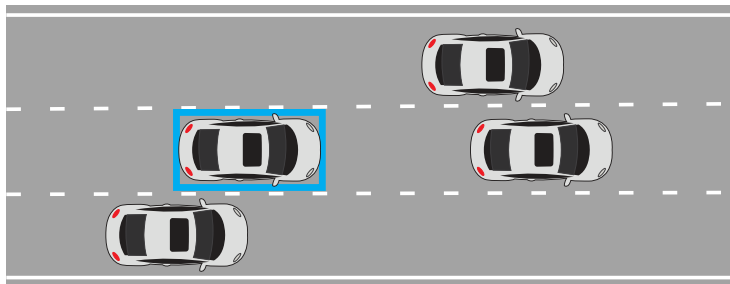
<sup>3</sup> IMT Atlantique, Lab-STICC, Univ. Bretagne Loire, F-29238 Brest

Mardi 4 juillet 2017

# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

### ► Véhicule classique

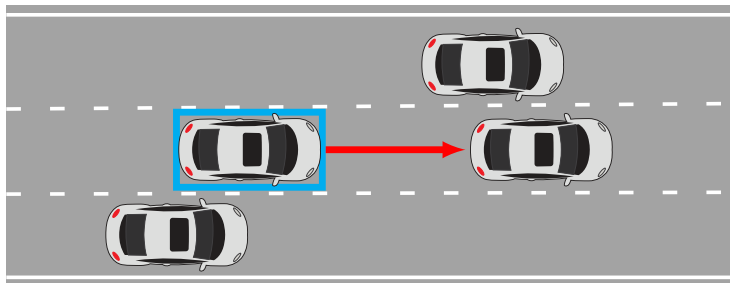


Véhicule courant

# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

### ► Véhicule équipé



Véhicule courant

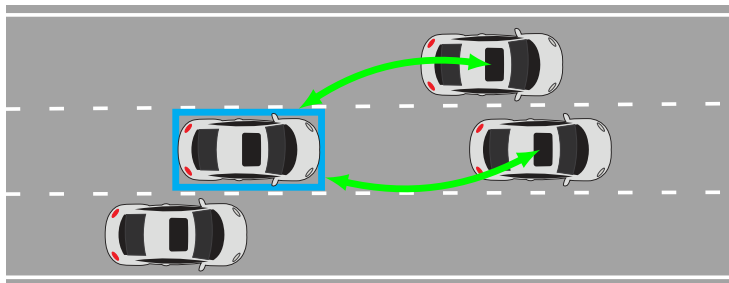


Mesure capteur

# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

### ► Véhicule connecté (V2V)



Véhicule courant

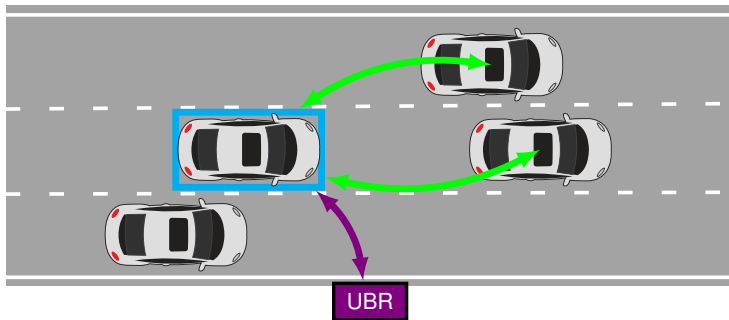


Communication V2V

## Contexte

### Systèmes de transport intelligent coopératifs

#### ► Véhicule connecté (V2V et V2I/I2V)



Véhicule courant



Communication V2V

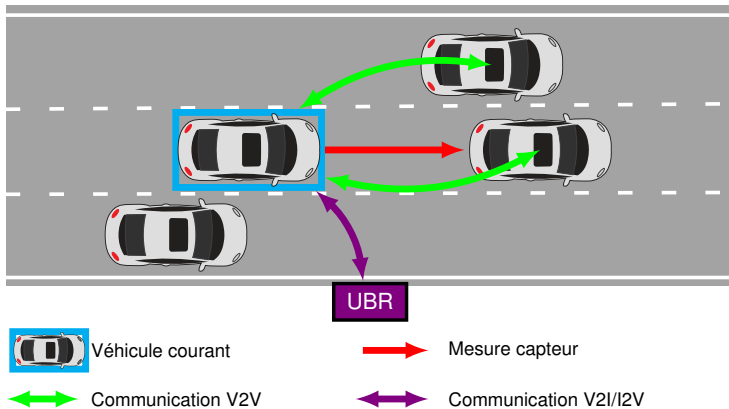


Communication V2I/I2V

# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

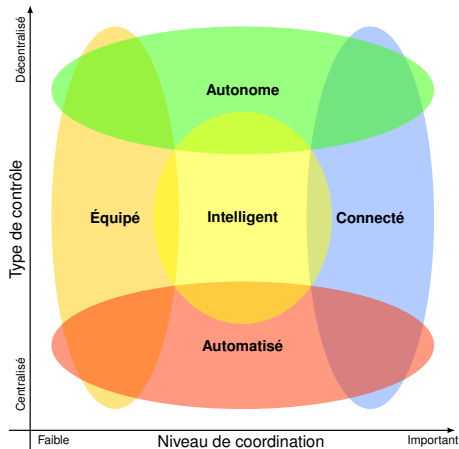
### ► Véhicule intelligent



# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

### ► Véhicule coopératif [1] ?

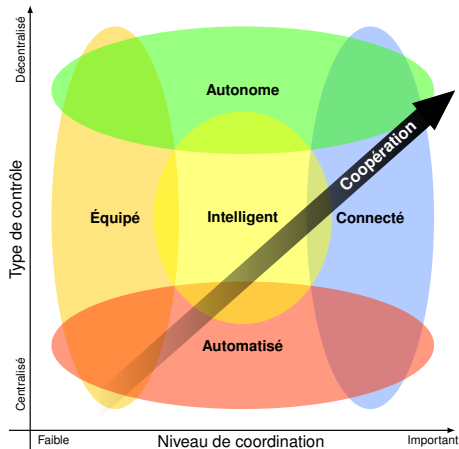


[1] Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Maxime Guériau, and Julien Monteil. Can c-its lead to the emergence of traffic management 2.0? In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 483–488, Oct 2014

# Contexte

## Systèmes de transport intelligent coopératifs

### ► Véhicule coopératif [1] ?



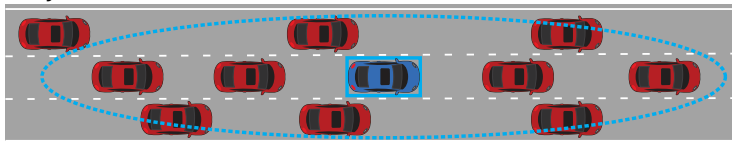
[1] Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Maxime Guériau, and Julien Monteil. Can c-its lead to the emergence of traffic management 2.0? In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 483–488, Oct 2014



# Contexte

## Architecture des C-ITS

### ► Aujourd'hui



Véhicule connecté



Véhicule courant



Véhicule non connecté

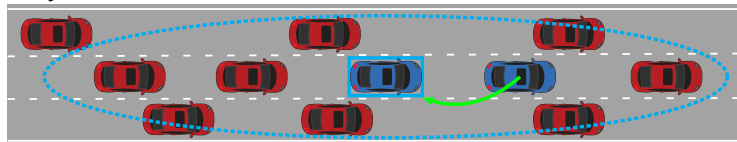


Rayon de communication

# Contexte

## Architecture des C-ITS

### ► Aujourd'hui



Véhicule connecté



Véhicule non connecté



Communication V2V



Véhicule courant



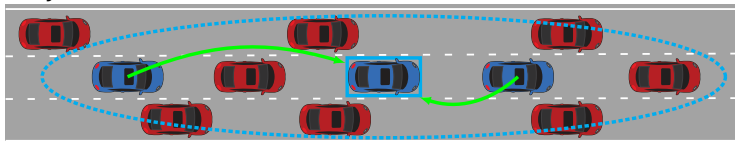
Rayon de communication

### ► Introduire la coopération dans une situation de flux mixte

# Contexte

## Architecture des C-ITS

### ► Aujourd'hui



Véhicule connecté



Véhicule courant



Véhicule non connecté



Rayon de communication



Communication V2V

### ► Évaluer les **bénéfices** et les **limitations** des systèmes coopératifs [2]

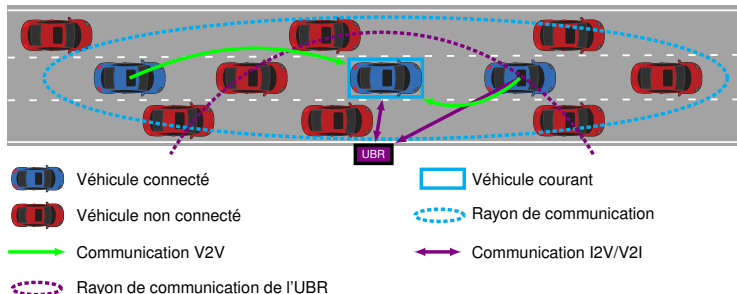
[2] Maxime Guériau, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Julien Monteil, Frédéric Armetta, and Salima Hassas. How to assess the benefits of connected vehicles? a simulation framework for the design of cooperative traffic management strategies.

*Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67:266 – 279, 2016

# Contexte

## Architecture des C-ITS

### ► Demain



### ► Proposer un **cadre de modélisation** [3]

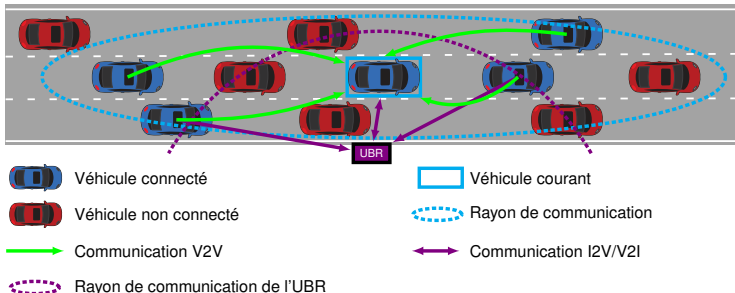
[3] Maxime Guériau, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Salima Hassas, and Armetta Frédéric. Multi-agent dynamic coupling for cooperative vehicles modeling.

In *The Twenty-Ninth Conference on Artificial Intelligence AAAI'2015 - (DEMO Track)*, Austin, Texas, Jan 2015

# Contexte

## Architecture des C-ITS

### ► Demain



### ► Valider les technologies et le système grâce à la simulation [4]

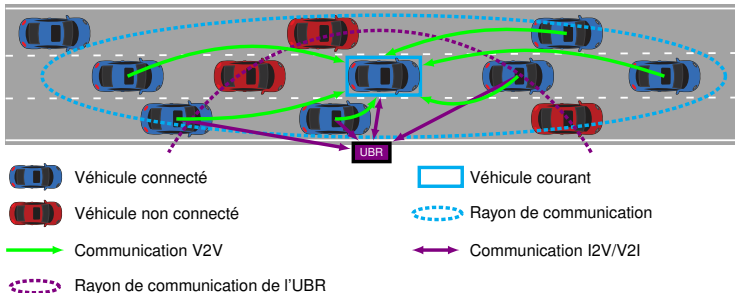
[4] Maxime Guériaux, Romain Billot, Frédéric Armetta, Salima Hassas, and Nour-Eddin El Faouzi. Un simulateur multiagent de trafic coopératif.

In *23es Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA'15)*, pages 165–174. Cépaduès, 2015

## Contexte

### Architecture des C-ITS

#### ► Dans 10 ans ?

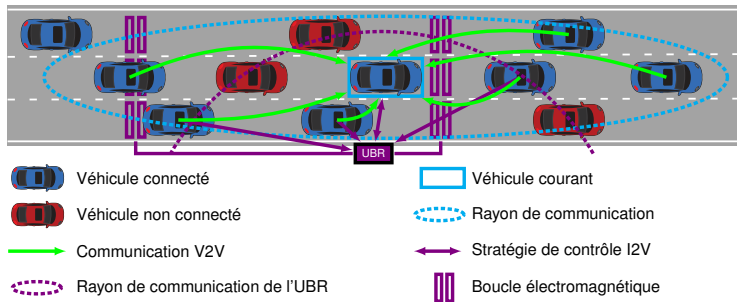


#### ► Anticiper les phases de déploiement successives

## Contexte

### Architecture des C-ITS

#### ► Dans 10 ans ?



#### ► Proposer des **stratégies de contrôle** opérationnelles et adaptatives

# Plan

## Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
Application au trafic coopératif

## Perspectives

Vers un affinage de la représentation  
Premiers résultats

## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives



# Plan

## Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
Application au trafic coopératif

## Perspectives

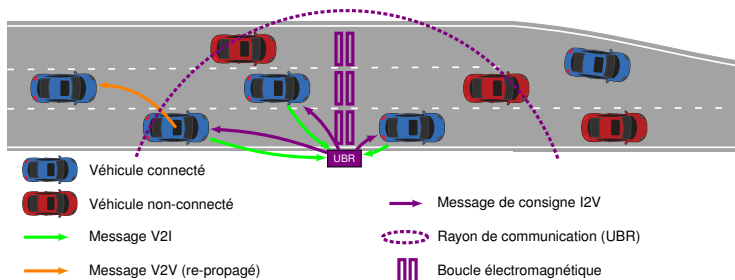
Vers un affinage de la représentation  
Premiers résultats

## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

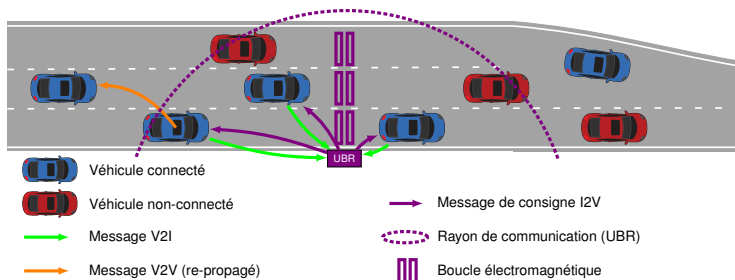
## Contrôle I2V du trafic coopératif



- ▶ **Caractéristiques de l'environnement du véhicule connecté :**
  - ▶ Temps continu
  - ▶ Espace continu
  - ▶ Non-déterministe
  - ▶ En perpétuelle évolution

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

## Contrôle I2V du trafic coopératif

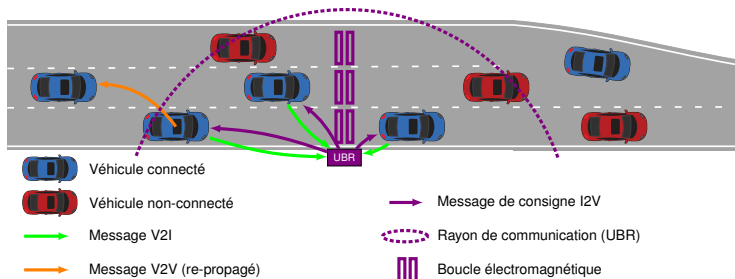


### ► Objectifs :

- **Contrôler un flux mixte** composé de véhicules connectés et non-connectés
- **Intégrer les objectifs des gestionnaires** dans la stratégie de contrôle
- Aider le système à être **rapidement opérationnel** tout en restant **adaptatif**

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

## Contrôle I2V du trafic coopératif



### ► Verrous scientifiques :

- Le problème de l'**amorçage** [5] : apprendre sans connaissances *a priori* [6] dans un environnement (partiellement) inconnu ;
- Le problème de l'**attribution de la récompense** ;
- Les problématiques de **fusion de capteurs**.

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

## Le constructivisme et ses défis

- ▶ Inspiré des travaux de Piaget [7] :
  - ▶ développement cognitif chez l'enfant
  - ▶ construction de la représentation sous la forme de **schémas sensori-moteurs**

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

## Le constructivisme et ses défis

- ▶ Inspiré des travaux de Piaget [7] :
  - ▶ développement cognitif chez l'enfant
  - ▶ construction de la représentation sous la forme de **schémas sensori-moteurs**
- ▶ Hypothèses :
  - ▶ **construction itérative** de la représentation
  - ▶ processus d'**assimilation/accommodation**

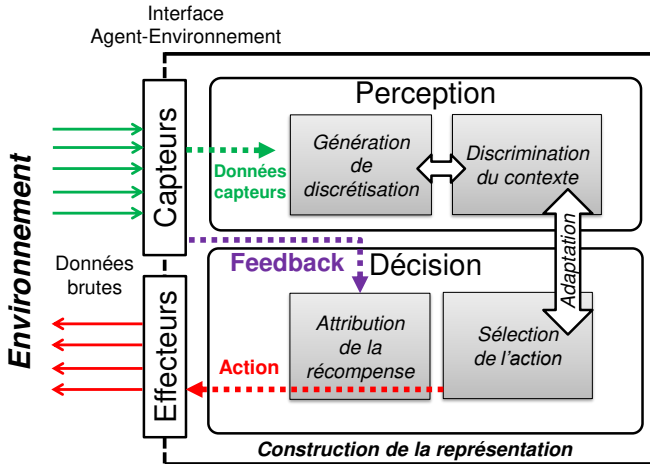
# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

## Le constructivisme et ses défis

- ▶ Inspiré des travaux de Piaget [7] :
  - ▶ développement cognitif chez l'enfant
  - ▶ construction de la représentation sous la forme de **schémas sensori-moteurs**
- ▶ Hypothèses :
  - ▶ **construction itérative** de la représentation
  - ▶ processus d'**assimilation/accommodation**
- ▶ Défis :
  - ▶ discriminer les **contextes** par rapport à l'**usage**
  - ▶ guider le système dans sa construction (**récompense**)

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

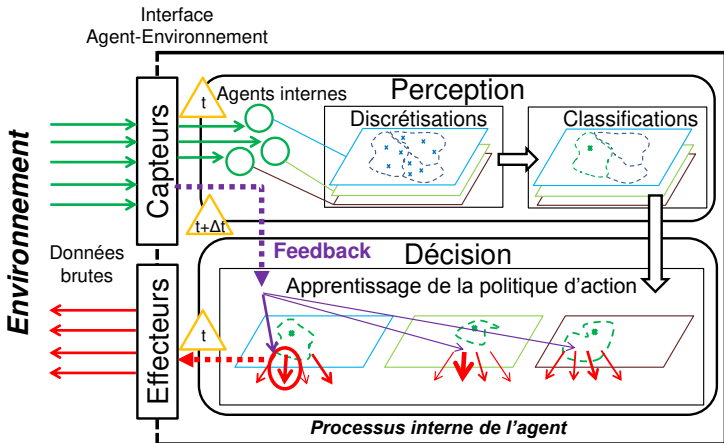
Constructivisme : architecture de référence





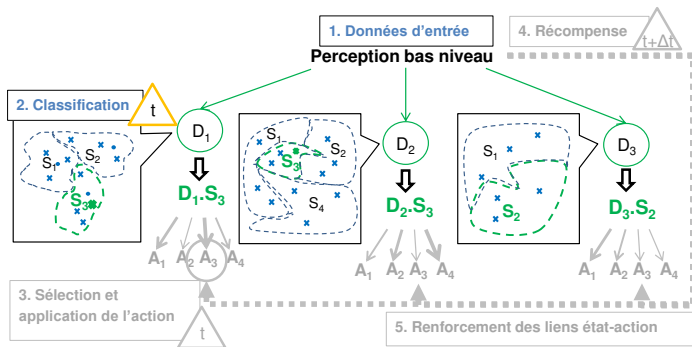
# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : aperçu



# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : perception

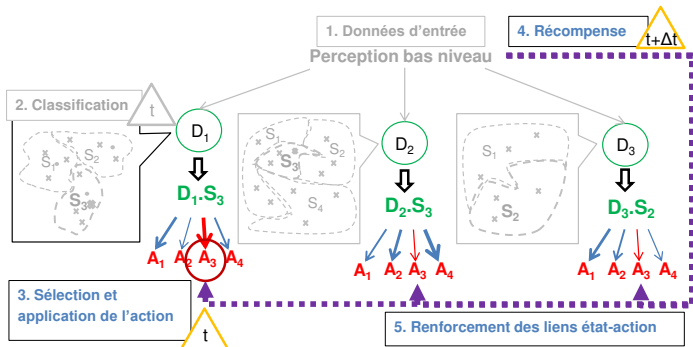


## ► Résultat de cette étape :

- Représentations concurrentes (ensembles de classes  $S_i$ ) ;
- Sélection parallèle d'hypothèses d'état.

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : décision

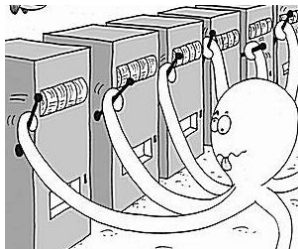


**Problème** : comment explorer et exploiter les liens perception-action disponibles ?

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : décision

## ► Le dilemme exploration-exploitation [8]

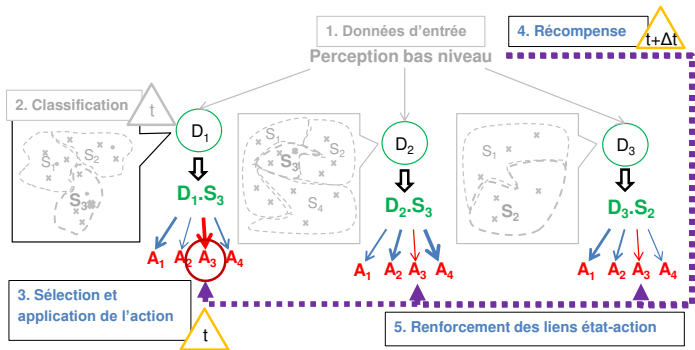


Le problème du bandit  
à  $n$  bras

- Trouver la/les meilleure(s) stratégie(s) pour maximiser la récompense totale ;
- Compromis entre le nombre d'essais (exploration) et les récompenses immédiates (exploitation).

# Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : décision



- ▶ **Résultat de cette étape :**
  - ▶ **Exploration dynamique** et liée à l'usage de l'espace des actions ;
  - ▶ **Apprentissage** par renforcement des meilleurs liens perception-action.

# Plan

## Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
Application au trafic coopératif

## Perspectives

Vers un affinage de la représentation  
Premiers résultats

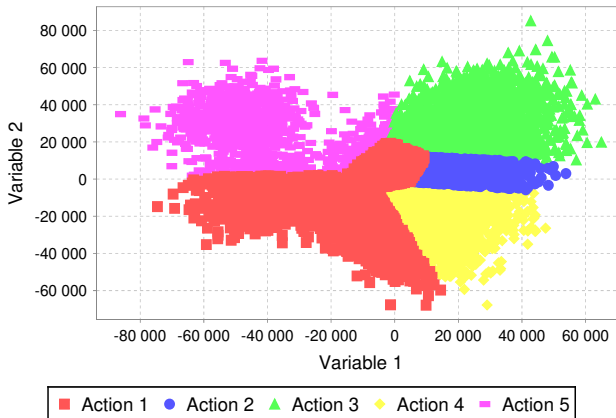
## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives

# Résultats

Prototype expérimental : environnement

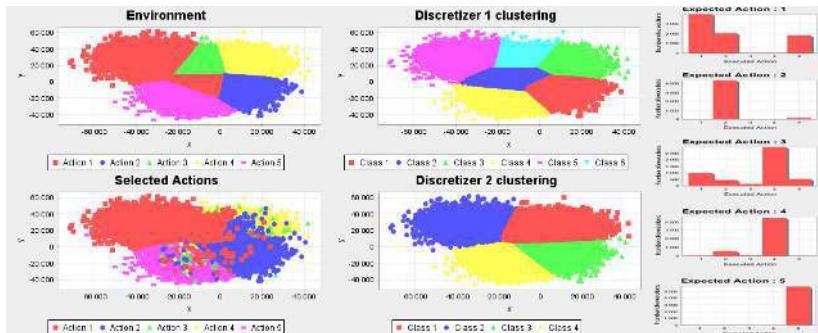
## Environnement



Exemple d'environnement aléatoire où la fréquence des observations n'est pas liée à l'action attendue

# Résultats

Prototype expérimental : exemple

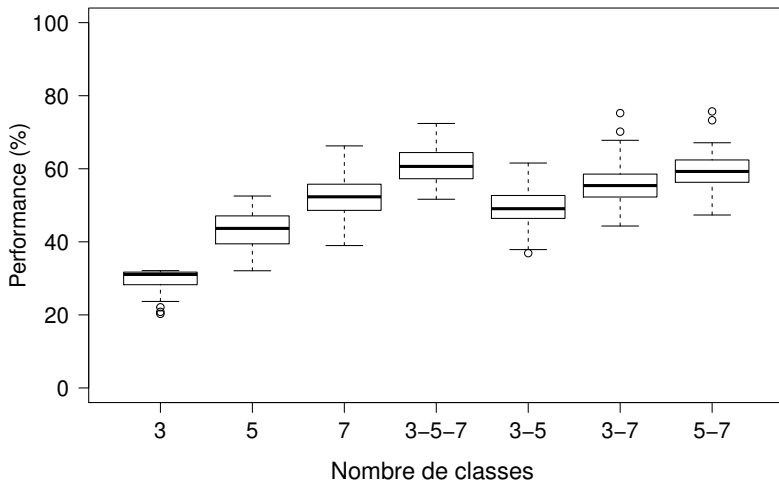


Capture d'écran du prototype expérimental après convergence pour une implémentation du modèle avec deux agents discrétiseurs (4 et 6 classes)



## Résultats

Prototype expérimental : l'apport des représentations concurrentes



Comparaison de la performance de 7 implémentations du modèle

# Plan

## Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
**Application au trafic coopératif**

## Perspectives

Vers un affinage de la représentation  
Premiers résultats

## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives

# Résultats

Application au trafic coopératif : simulateur

23e édition des Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA), Rennes

## Un simulateur multi-agent de trafic coopératif

Maxime Guériaux<sup>1,2</sup>, Romain Billot<sup>1</sup>, Frédéric Armetta<sup>2</sup>,  
Salima Hassas<sup>2</sup>, Nour-Eddin El Faouzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LICIT,  
IFSTTAR-ENTPE,  
Lyon,  
France

<sup>2</sup>LIRIS  
CNRS UMR 5205,  
Université de Lyon,  
France

30 juin 2015



IFSTTAR UNIVERSITÉ DE LYON

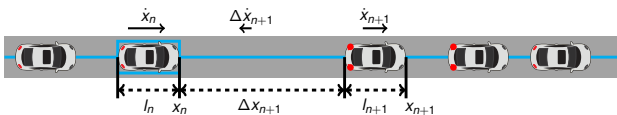


Rhône-Alpes

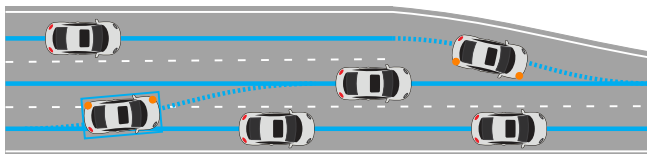


## Résultats

### Application au trafic coopératif : modélisation



- Comportement longitudinal : loi de poursuite IDM [9]

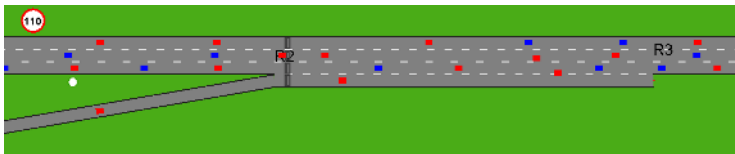


- Modèle de changement de voie : stratégie opportuniste MOBIL [10]

## Résultats

### Application au trafic coopératif : scénario

- ▶ Autoroute à 3 voies avec insertion (après 3 km) ;
- ▶ Débits d'entrée depuis données réelles (800–2000 véh/h/voie), période de type "pic du matin" (8h–9h) ;
- ▶ 30% de véhicules connectés ;
- ▶ Perception de l'UBR : débits/vitesses (boucles) et vitesses instantanées des connectés (V2I).



## Résultats

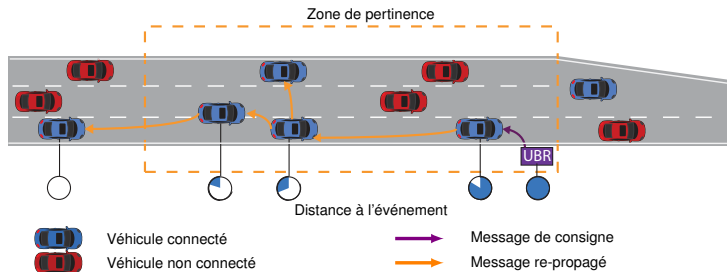
### Application au trafic coopératif : actions

- ▶ Chaque action correspond à l'envoi d'un **message de consigne** :
  - ▶  $A_1$  ∅ : Pas de contrôle
  - ▶  $A_2$  ↗ : Consigne de changement de voie (droite à gauche)
  - ▶  $A_3$  ↘ : Consigne de changement de voie (gauche à droite)
  - ▶  $A_4$  ↔ : Consigne d'interdistance (1.8 s)
  - ▶  $A_5$  ⇄ : Consigne d'interdistance (1.2 s)
  - ▶  $A_6$  110 : Limite de vitesse (110 km/h)
  - ▶  $A_7$  50 : Limite de vitesse (50 km/h)

## Résultats

### Application au trafic coopératif : actions

- ▶ Les messages de consigne sont **propagés** suivant :
  - ▶ l'**aire de pertinence** définie,
  - ▶ la **position** du véhicule,
  - ▶ la **distance** à l'**événement** déclaré.

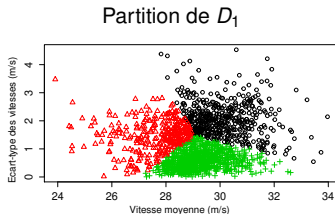
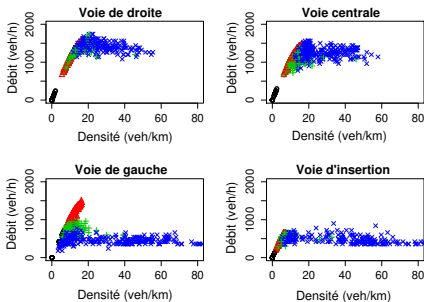


# Résultats

## Application au trafic coopératif : paramètres

► Implémentations comparées :

- Témoin : pas d'UBR
- $D_1$  : Données boucles (K-means 4 classes)
- $D_2$  : Messages des connectés (K-means 3 classes)
- $D_{1-2}$  : Implémentation avec  $D_1$  et  $D_2$



Partition de  $D_2$



# Résultats

## Application au trafic coopératif : récompense

- ▶ Feedback :
  - ▶ Vitesse la plus faible sur les 4 voies
- ▶ Algorithme d'exploration-exploitation :
  - ▶ Upper Confidence Bound [11] (UCB).

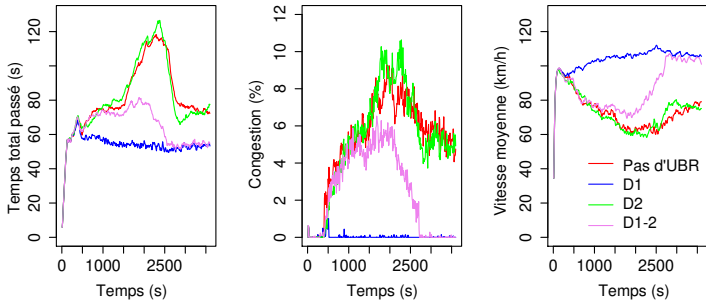
$$\bar{x}_j + \sqrt{\frac{2 \ln n}{n_j}}$$

où :

- ▶  $\bar{x}_j$  est la récompense moyenne obtenue pour le lien perception-action  $j$ ,
- ▶  $n_j$  est le nombre de fois que le lien  $j$  a été sélectionné,
- ▶  $n$  est le nombre total d'interactions du système.

# Résultats

## Application au trafic coopératif : résultats

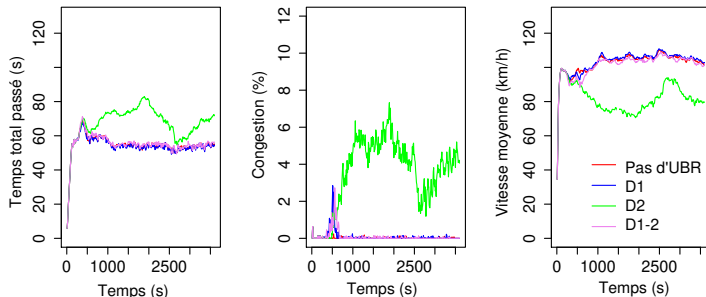


*Scénario 1 : débits d'entrée du lundi 18.*

- **Combinaison dynamique** des discrétisations et politiques d'action associées.

# Résultats

## Application au trafic coopératif : résultats

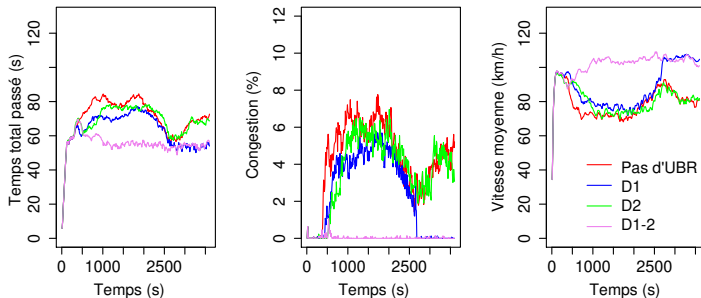


### Scénario 2 : débits d'entrée du jeudi 21.

- Sélection **adaptée du contexte** d'une représentation individuelle.

# Résultats

## Application au trafic coopératif : résultats

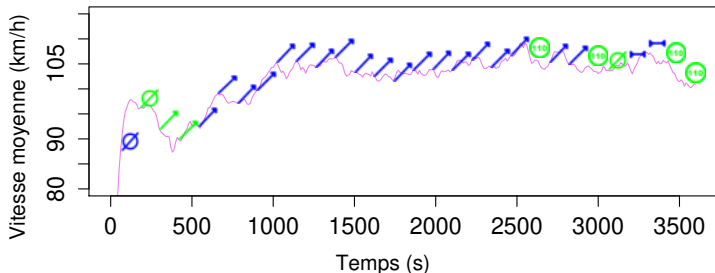


*Scénario 3 : débits d'entrée du mardi 26.*

- Construction d'une représentation plus précise.

# Résultats

## Application au trafic coopératif : résultats



Exemple des consignes données (scénario 3)

- Combinaison **dynamique** des **representations** des agents discrétiseurs.

# Plan

## Contexte

Systemes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
Application au trafic coopératif

## Perspectives

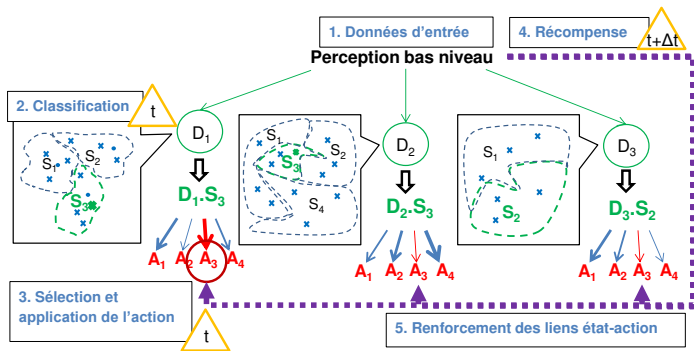
Vers un affinement de la représentation  
Premiers résultats

## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives

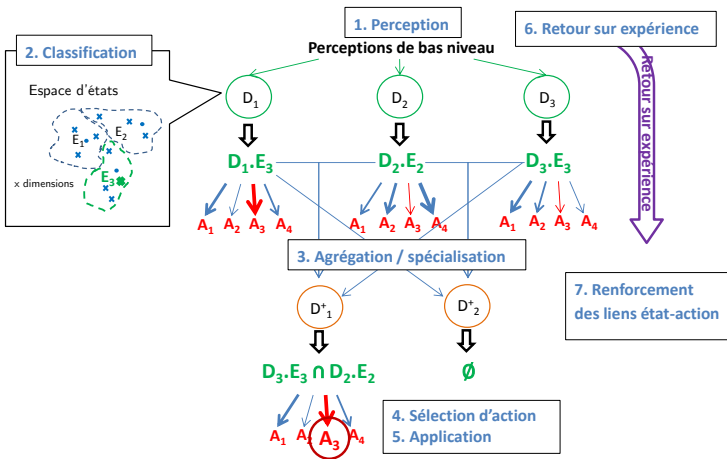
# Perspectives

## Rappel du modèle



# Perspectives

Vers un affinage de la représentation





# Perspectives

Vers un affinage de la représentation

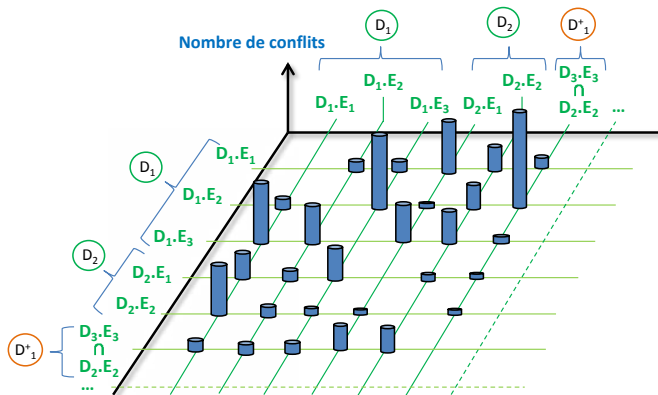
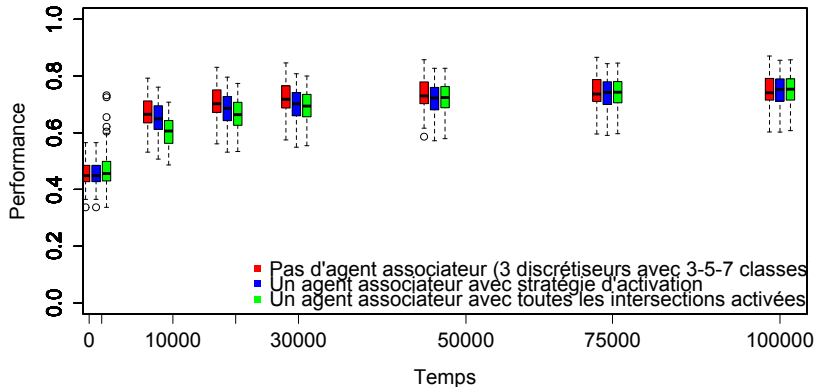


Illustration simplifiée des conflits entre les états sous la forme d'une matrice de conflits. Les agents associateurs sont notés  $D^+$

# Perspectives

## Premiers résultats



Comparaison de trois implémentations du modèle impliquant ou non un agent associateur.

# Plan

## Contexte

Systemes de transport intelligent coopératifs  
Besoins opérationnels et verrous scientifiques

## Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Contrôle I2V du trafic coopératif  
Le constructivisme et ses défis  
Modèle

## Résultats

Prototype expérimental  
Application au trafic coopératif

## Perspectives

Vers un affinement de la représentation  
Premiers résultats

## Conclusion

Synthèse des contributions  
Perspectives

# Conclusion

## Synthèse des contributions

- ▶ Exploitation des processus d'apprentissage concurrent
- ▶ Construction d'une représentation adaptative
- ▶ Adaptation dynamique aux changements de contexte
- ▶ Contrôle décentralisé des C-ITS

# Conclusion

## Perspectives pour le trafic coopératif

- ▶ Coopération inter-UBR : **partage de représentation**
- ▶ Intégration du contrôle dans les véhicules

# Conclusion

## Perspectives pour l'IA

- ▶ Proposer des **discrétisations dynamiques** :
  - ▶ utilisation d'**algorithmes en-ligne**
- ▶ Améliorer les processus d'**assimilation/accommodation** :
  - ▶ Montée en **abstraction**
  - ▶ **Méta**-apprentissage

## Merci de votre attention

Maxime Guériau Université  
Claude Bernard Lyon 1

*maxime.gueriau@ifsttar.fr*

[http://liris.cnrs.fr/  
maxime.gueriau](http://liris.cnrs.fr/maxime.gueriau)



### LICIT

Laboratoire Ingénierie Circulation Transports  
UMR T\_E IFSTTAR-ENTPE  
Université de Lyon

IFSTTAR  
COSYS/LICIT  
25 Avenue François Mitterrand  
Cité des mobilités  
69675 Bron Cedex, France

ENTPE  
LICIT  
Rue Maurice Audin  
69518 Vaulx-en-Velin Cedex,  
France



### LIRIS-CNRS

Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information  
UMR 5205 CNRS  
Université Claude Bernard Lyon 1  
Bâtiment Nautibus  
Campus de la Doua  
25 avenue Pierre de Coubertin  
69622 Villeurbanne Cedex, France

## Bibliographie I

- [1] Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Maxime Guériau, and Julien Monteil. Can c-its lead to the emergence of traffic management 2.0 ? In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 483–488, Oct 2014.
- [2] Maxime Guériau, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Julien Monteil, Frédéric Armetta, and Salima Hassas. How to assess the benefits of connected vehicles ? a simulation framework for the design of cooperative traffic management strategies. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 67 :266 – 279, 2016.
- [3] Maxime Guériau, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Salima Hassas, and Armetta Frédéric. Multi-agent dynamic coupling for cooperative vehicles modeling. In *The Twenty-Ninth Conference on Artificial Intelligence AAAI'2015 - (DEMO Track)*, Austin, Texas, Jan 2015.
- [4] Maxime Guériau, Romain Billot, Frédéric Armetta, Salima Hassas, and Nour-Eddin El Faouzi. Un simulateur multiagent de trafic coopératif. In *23es Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA'15)*, pages 165–174. Cépaduès, 2015.
- [5] Benjamin J Kuipers, Patrick Beeson, Joseph Modayil, and Jefferson Provost. Bootstrap learning of foundational representations. *Connection Science*, 18(2) :145–158, 2006.
- [6] Gary L Drescher. *Made-up minds : a constructivist approach to artificial intelligence*. MIT press, 1991.
- [7] Jean Piaget. The construction of reality in the child. *Journal of Consulting Psychology*, 19(1) :77, 1955.
- [8] Peter Auer, Nicolo Cesa-Bianchi, Yoav Freund, and Robert E Schapire. Gambling in a rigged casino : The adversarial multi-armed bandit problem. In *Foundations of Computer Science, 1995. Proceedings., 36th Annual Symposium on*, pages 322–331. IEEE, 1995.



## Bibliographie II

- [9] Arne Kesting, Martin Treiber, and Dirk Helbing. Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical Physical & Engineering Sciences*, 368(1928) :4585–4605, October 2010.
- [10] Arne Kesting, Martin Treiber, and Dirk Helbing. General lane-changing model mobil for car-following models. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 1999 / 2007 Traffic Flow Theory 2007 :86–94, 2007.
- [11] Peter Auer, Nicolo Cesa-Bianchi, and Paul Fischer. Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem. *Machine learning*, 47(2-3) :235–256, 2002.