

Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents 2017

Contrôle par apprentissage constructiviste pour le trafic coopératif

Maxime Guériau^{1,2}, Frédéric Armetta¹, Salima Hassas¹,
Romain Billot³, Nour-Eddin El Faouzi²

¹ Univ. Lyon, UMR CNRS 5205 LIRIS, F-69622 Villeurbanne

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

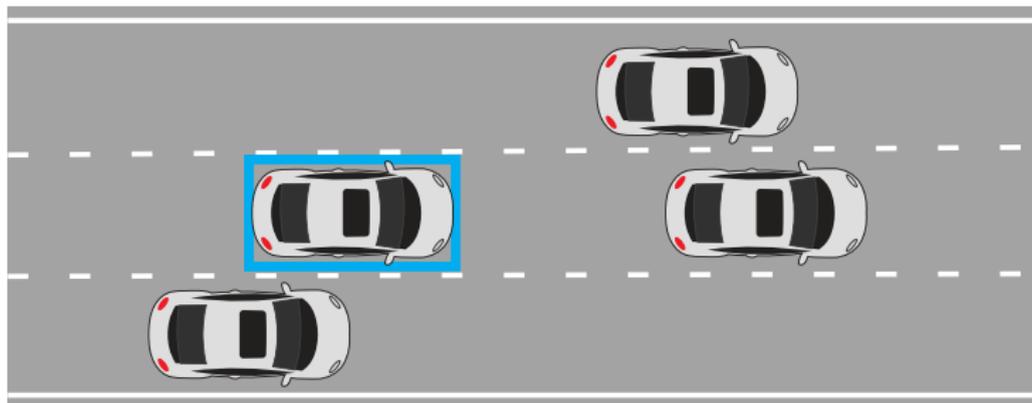
³ IMT Atlantique, Lab-STICC, Univ. Bretagne Loire, F-29238 Brest

Mardi 4 juillet 2017

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule classique

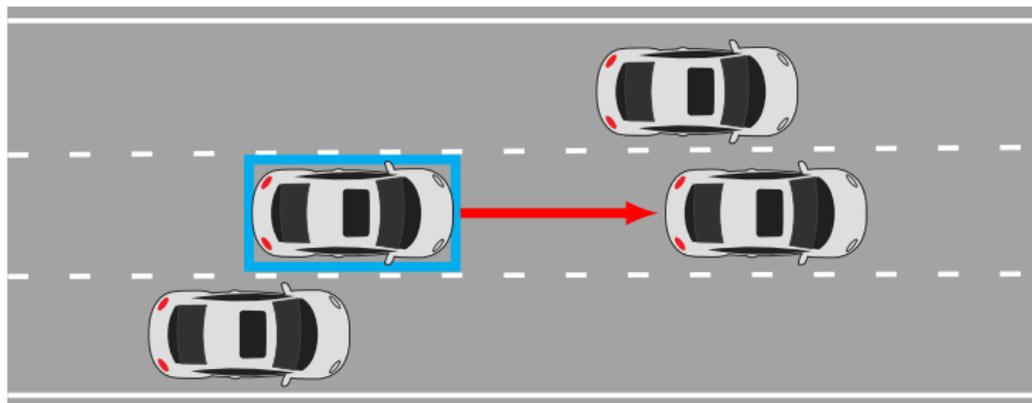


Véhicule courant

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule équipé



Véhicule courant

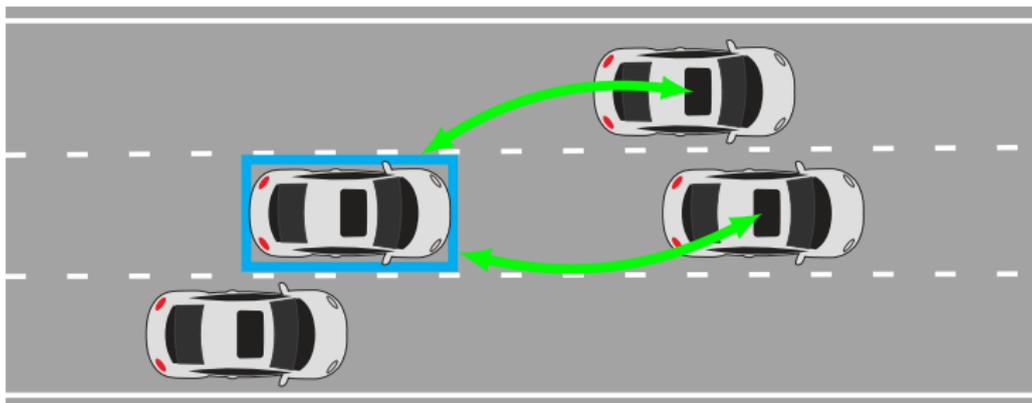


Mesure capteur

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule connecté (V2V)



Véhicule courant

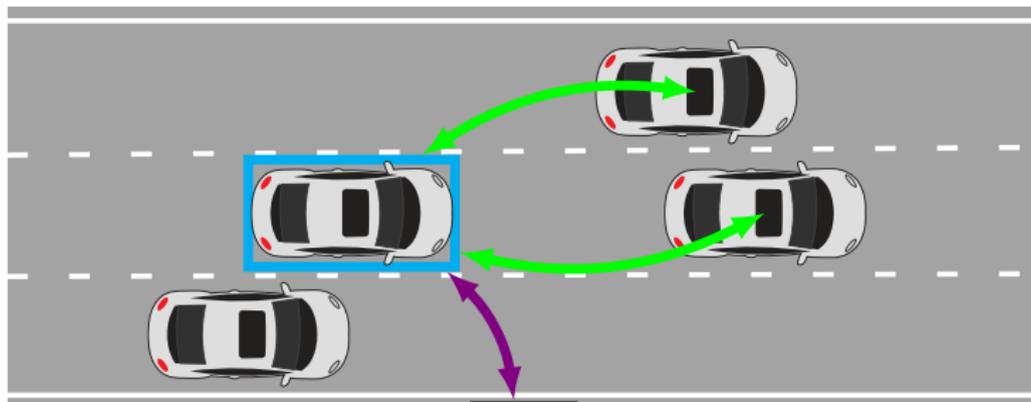


Communication V2V

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule connecté (V2V et V2I/I2V)



Véhicule courant



Communication V2V

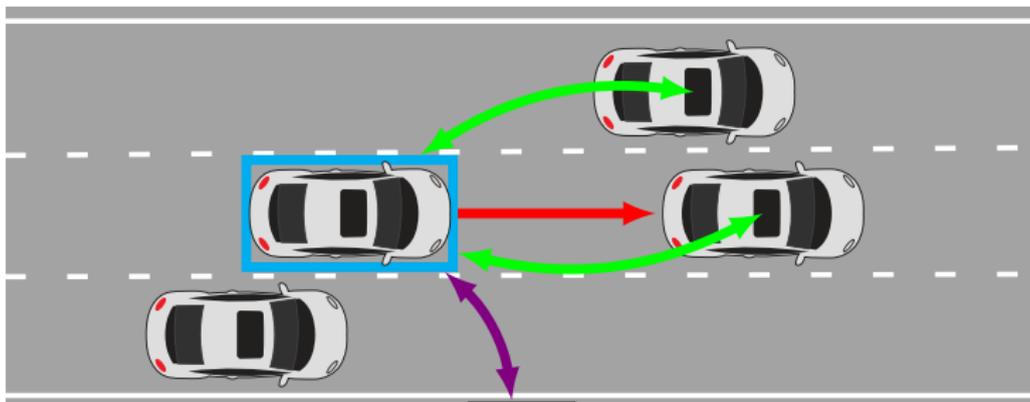


Communication V2I/I2V

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule intelligent



Véhicule courant



Communication V2V



Mesure capteur



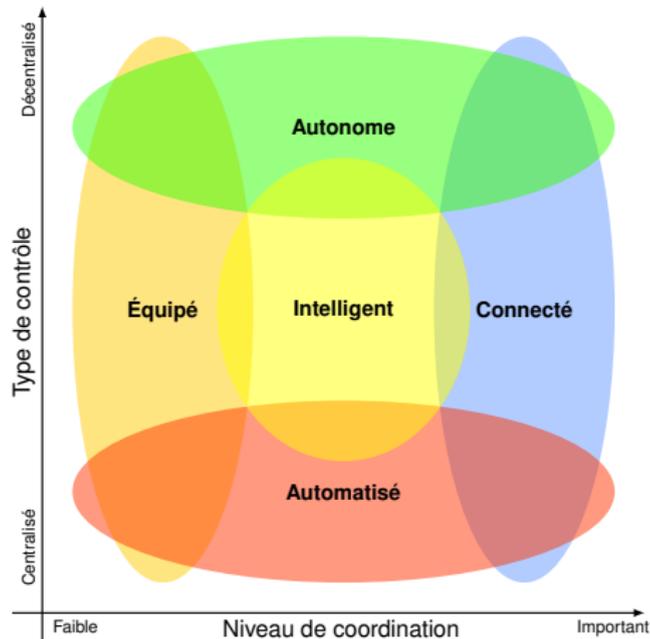
Communication V2I/I2V

UBR

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule coopératif [1] ?

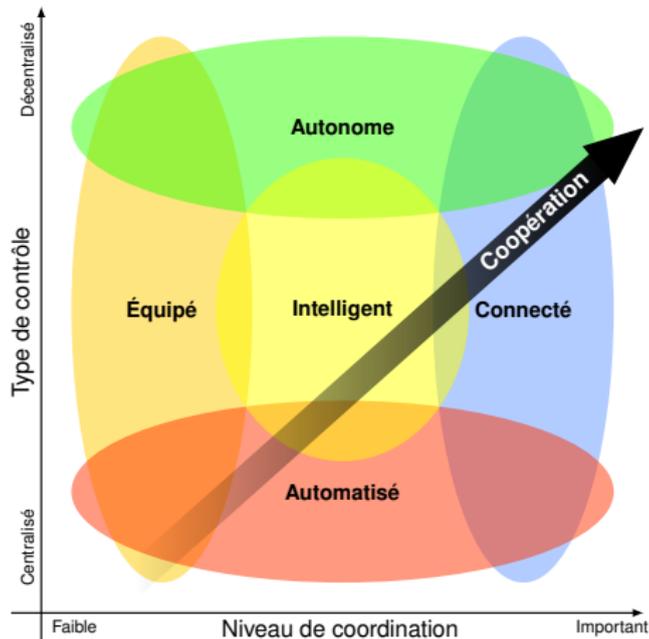


[1] Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Maxime Guériau, and Julien Monteil. Can c-its lead to the emergence of traffic management 2.0? In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 483–488, Oct 2014

Contexte

Systèmes de transport intelligent coopératifs

► Véhicule coopératif [1] ?

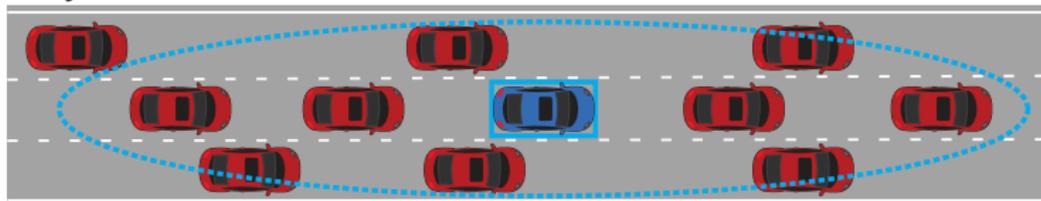


[1] Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Maxime Guériau, and Julien Monteil. Can c-its lead to the emergence of traffic management 2.0? In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 483–488, Oct 2014

Contexte

Architecture des C-ITS

► Aujourd'hui



Véhicule connecté



Véhicule courant



Véhicule non connecté

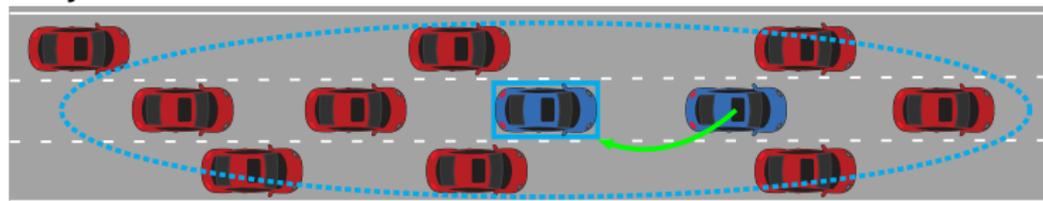


Rayon de communication

Contexte

Architecture des C-ITS

► Aujourd'hui



Véhicule connecté



Véhicule non connecté



Communication V2V



Véhicule courant



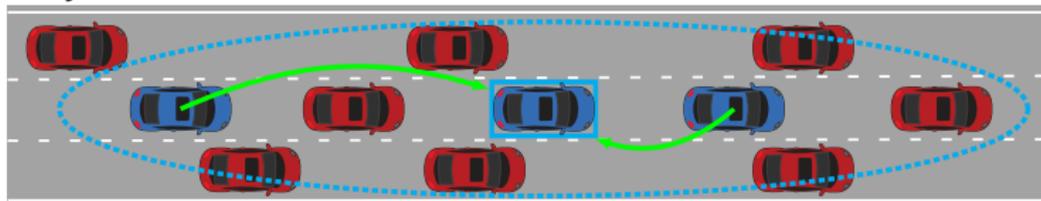
Rayon de communication

► 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]

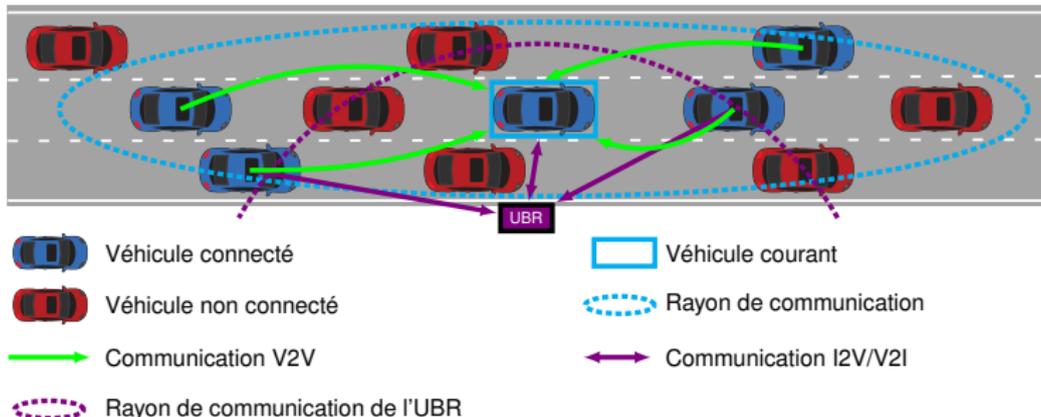
[2] Maxime Guériau, Romain Billot, Nour-Eddin El Faouzi, Julien Monteil, Frédéric Armetta, and Salima Hassas. How to assess the benefits of connected vehicles? a simulation framework for the design of cooperative traffic management strategies.

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

Contexte

Architecture des C-ITS

► Demain



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

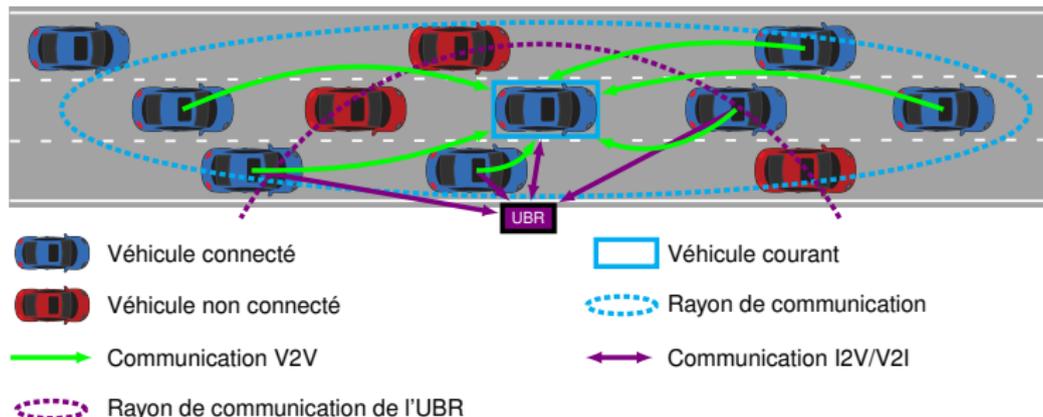
[4] Maxime Guériaux, Romain Billot, Frédéric Armetta, Salima Hassas, and Nour-Eddin El Faouzi. Un simulateur multiagent de trafic coopératif.

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

Contexte

Architecture des C-ITS

► Dans 10 ans ?

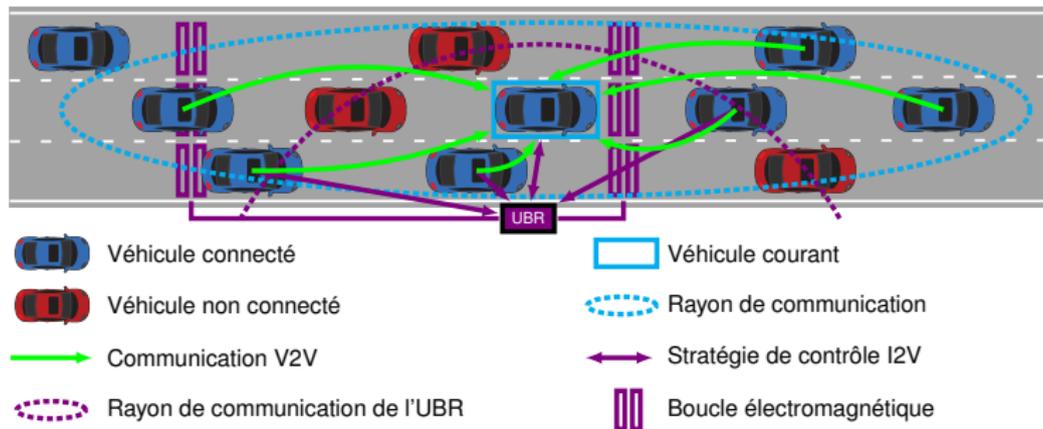


► Anticiper les phases de déploiement successives

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

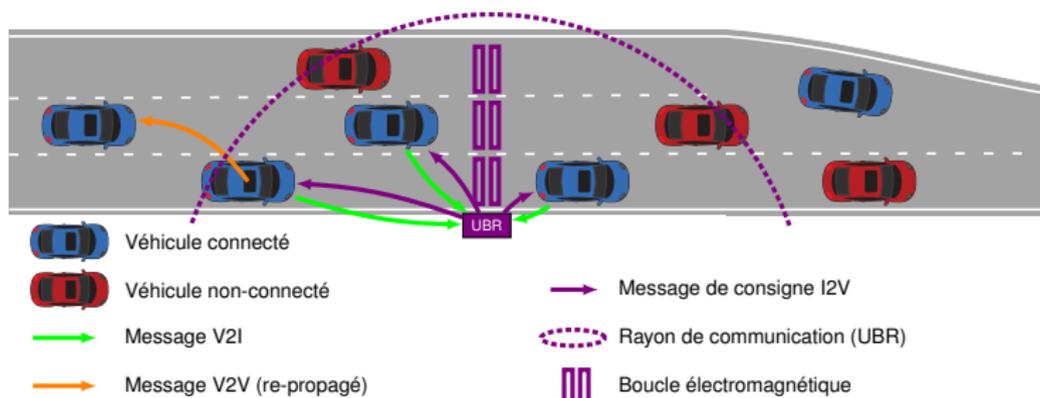
Vers un affinage de la représentation
Premiers résultats

Conclusion

Synthèse des contributions
Perspectives

Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

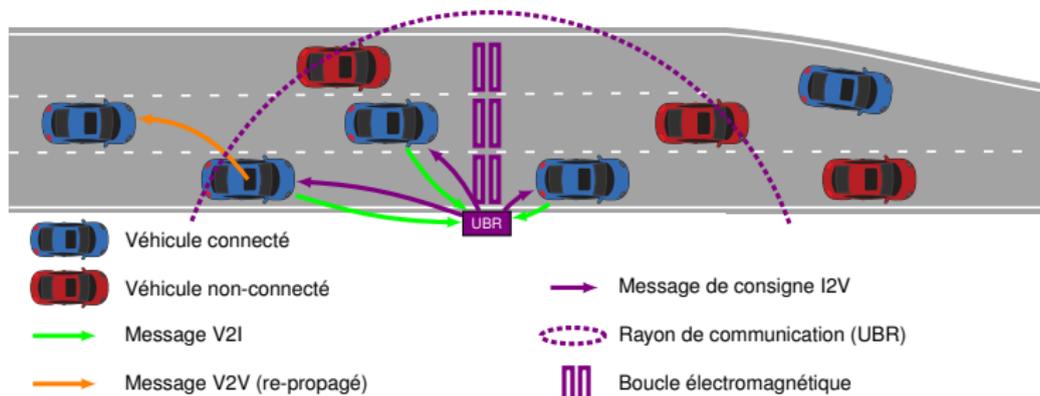
Contrôle I2V du trafic coopératif



- ▶ **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

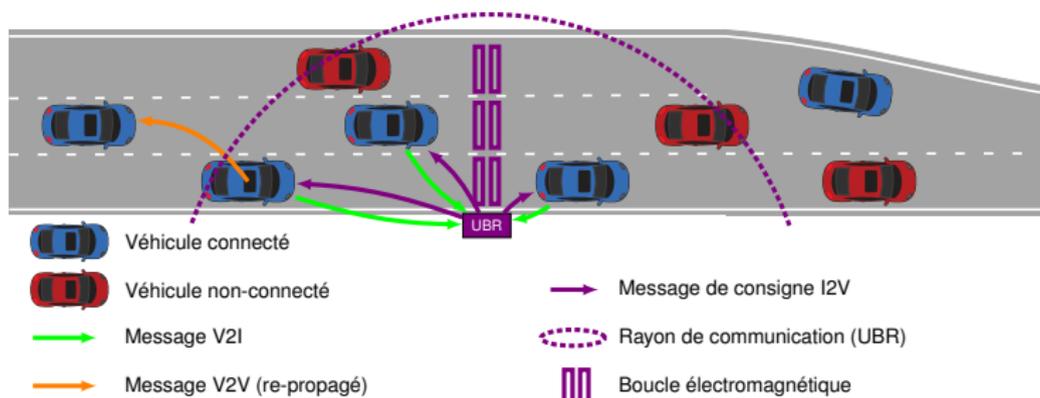


► Objectifs :

- **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**

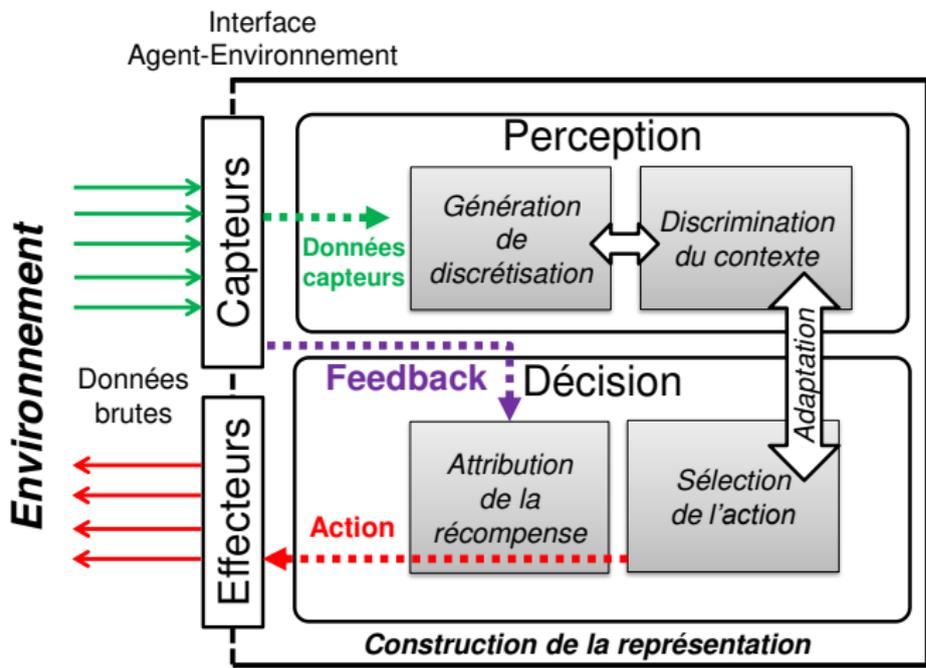
Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

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**)

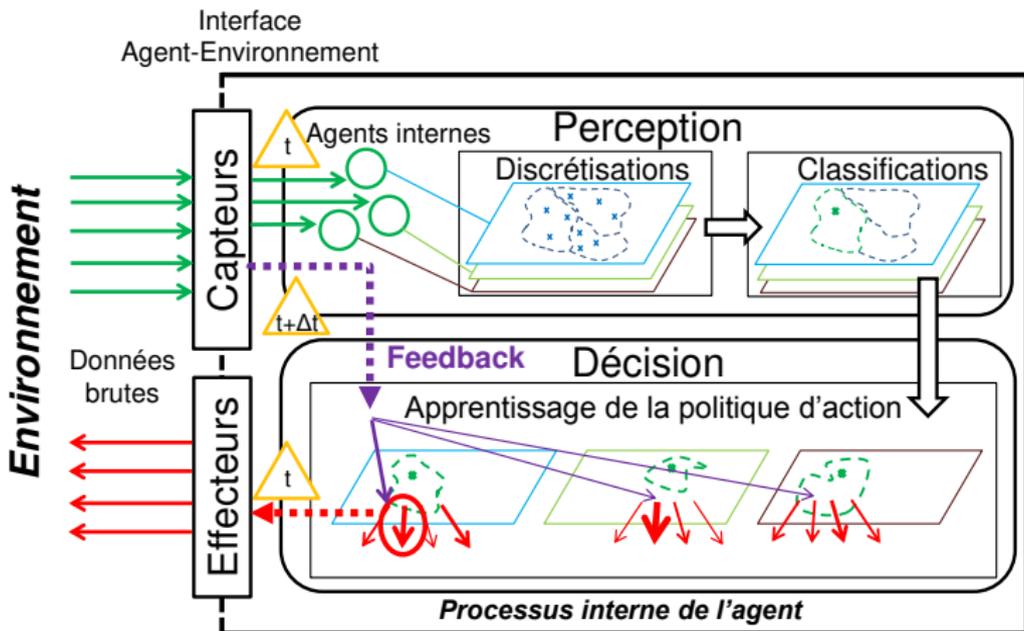
Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Constructivisme : architecture de référence



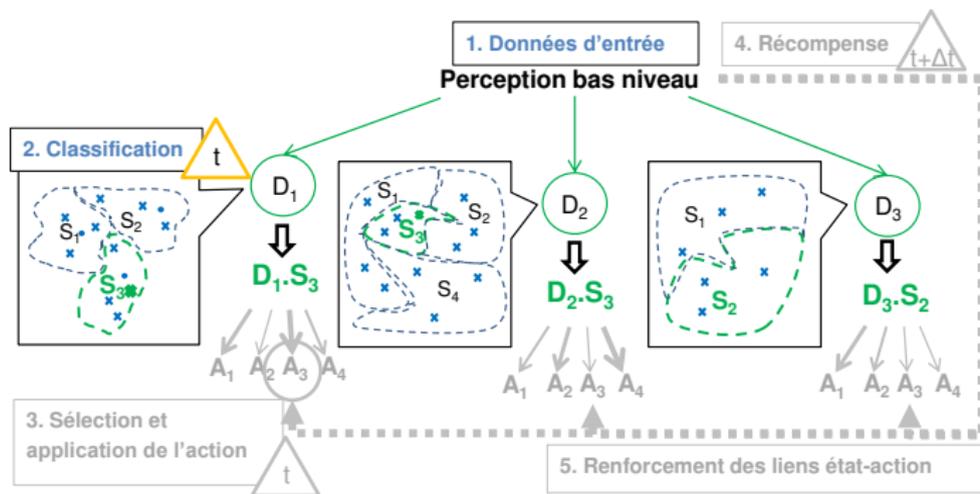
Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : aperçu



Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : perception

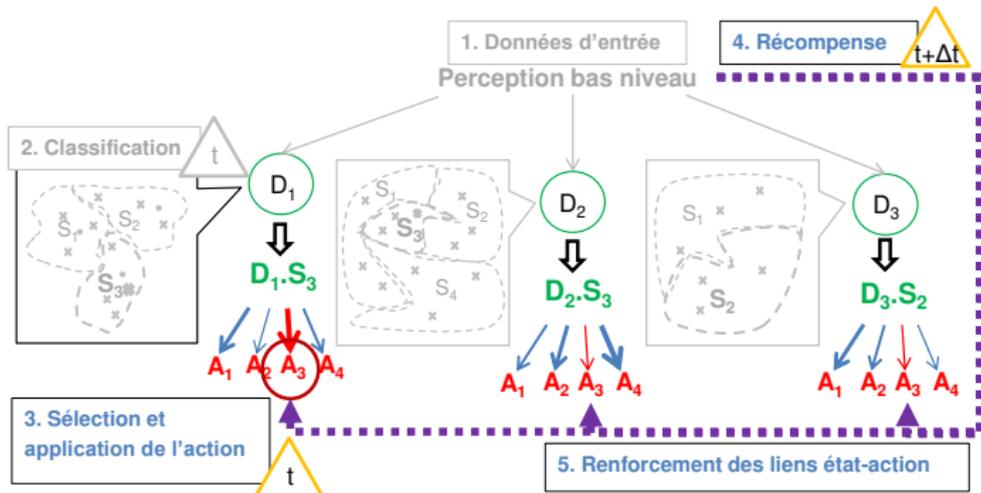


► Résultat de cette étape :

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

Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : décision

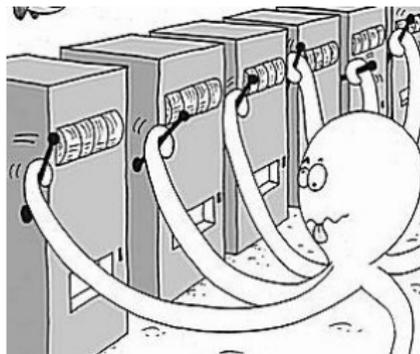


Problème : comment explorer et exploiter les liens perception-action disponibles ?

Approche constructiviste pour un contrôle décentralisé

Modèle : décision

► Le dilemme exploration-exploitation [8]

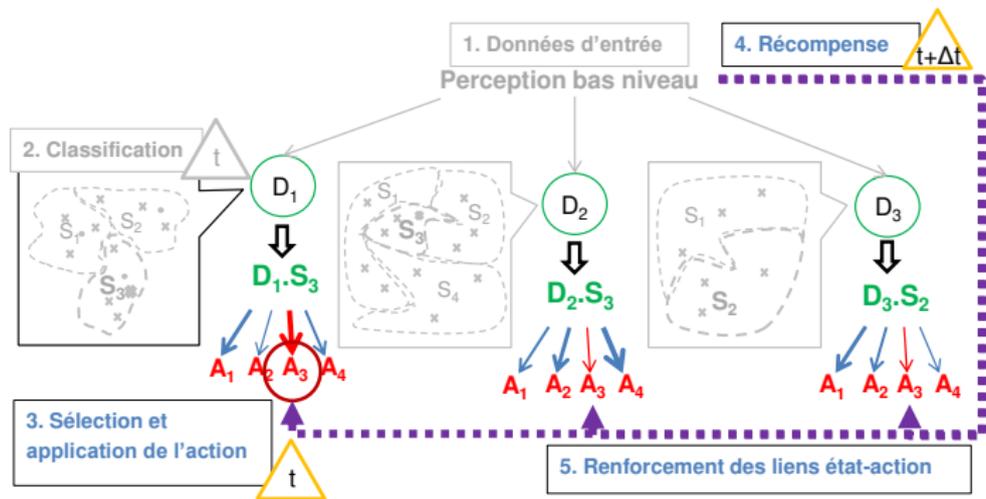


Le problème du bandit
à n bras

- 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

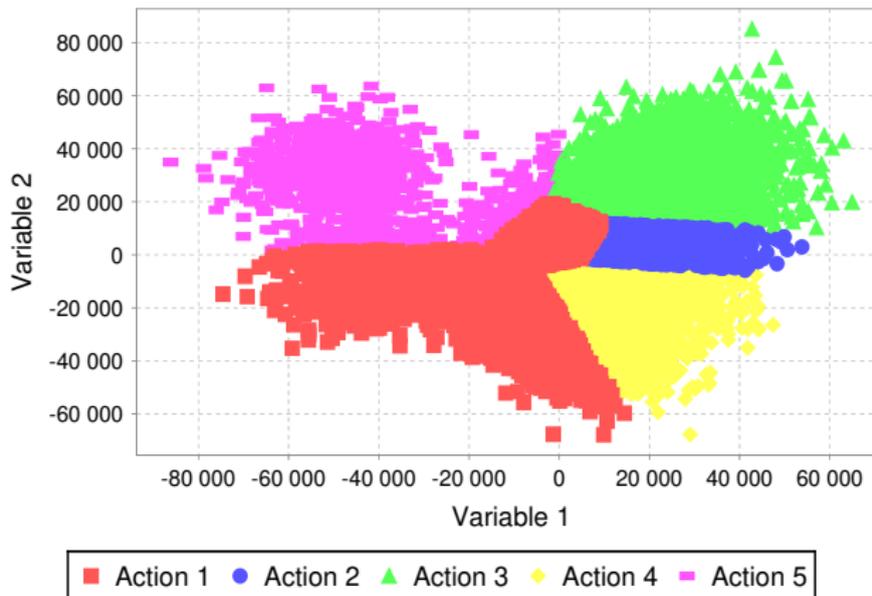
Conclusion

Synthèse des contributions
Perspectives

Résultats

Prototype expérimental : environnement

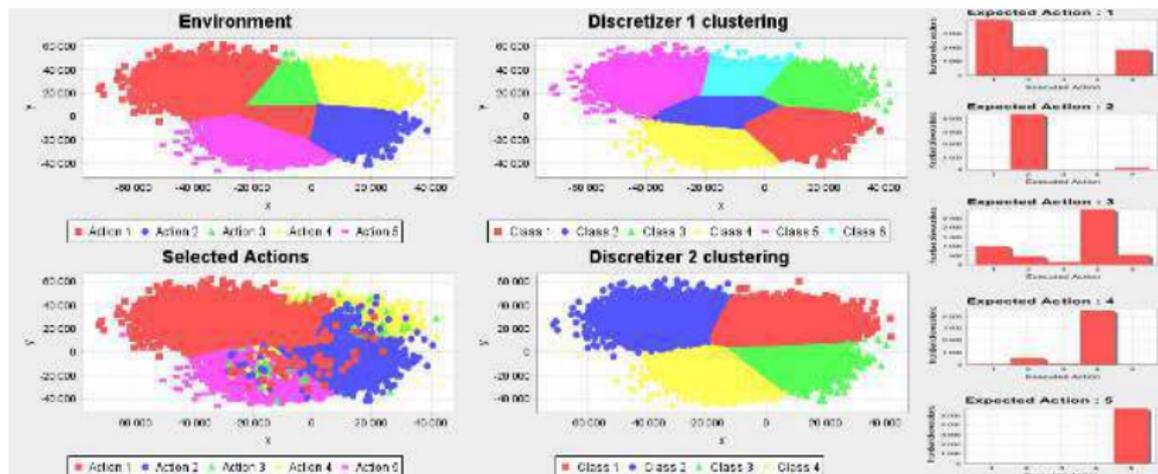
Environnement



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

Résultats

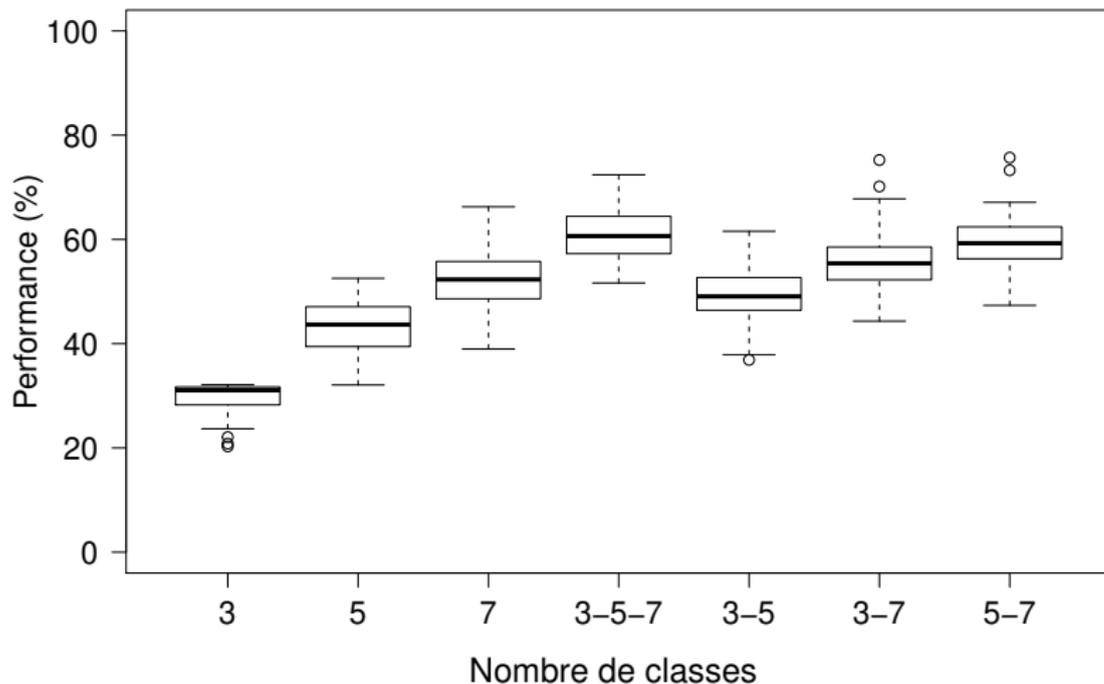
Prototype expérimental : exemple



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 Guériau^{1,2}, Romain Billot¹, Frédéric Armetta²,
Salima Hassas², Nour-Eddin El Faouzi¹

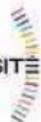
¹LICIT,
IFSTTAR-ENTPE,
Lyon,
France

²LIRIS
CNRS UMR 5205,
Université de Lyon,
France

30 juin 2015



IFSTTAR UNIVERSITÉ DE LYON

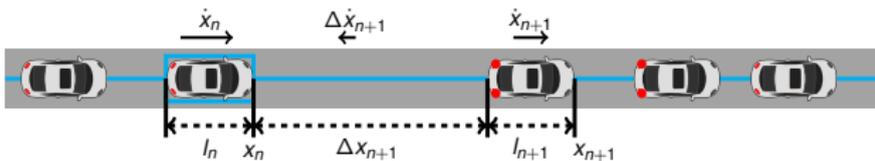


Rhône-Alpes

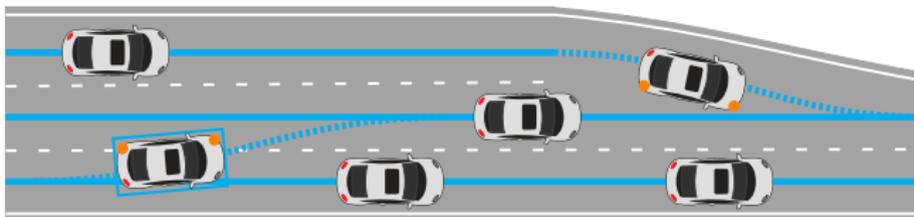


Résultats

Application au trafic coopératif : modélisation



- Comportement longitudinal :
loi de poursuite IDM [9]

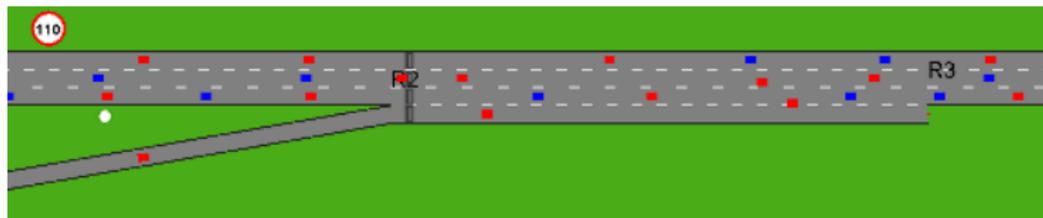


- Modèle de changement de voie :
stratégie opportuniste MOBIL [10]

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

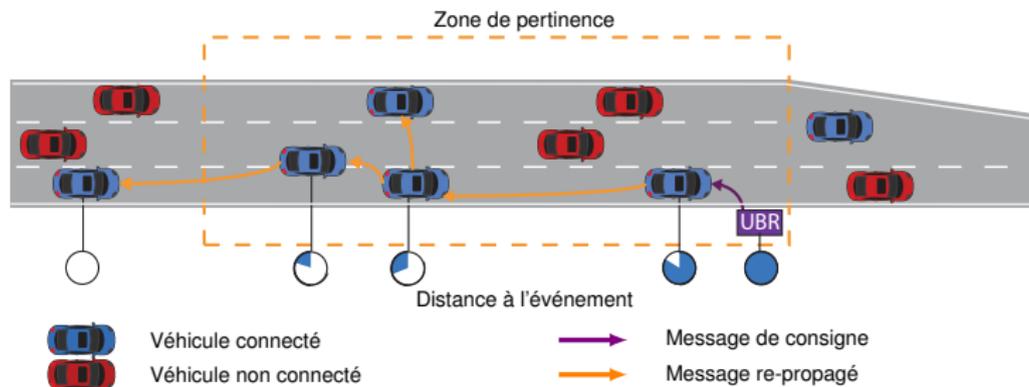
Application au trafic coopératif : actions

- ▶ 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.

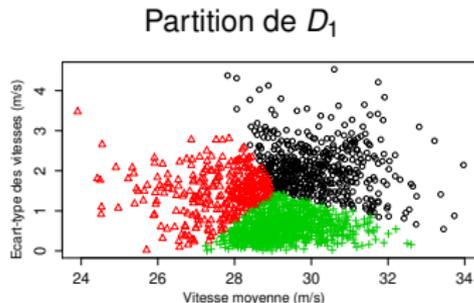
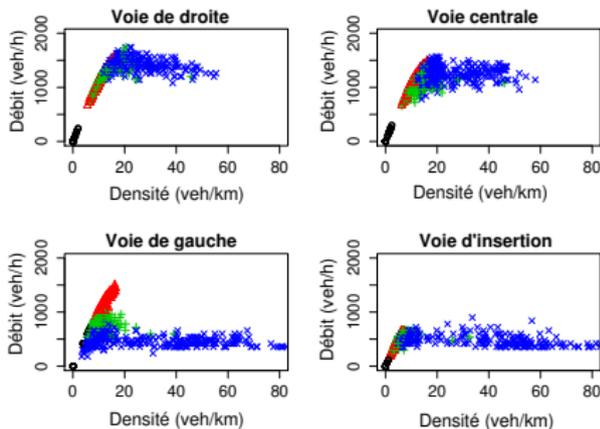


Résultats

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



Résultats

Application au trafic coopératif : récompense

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

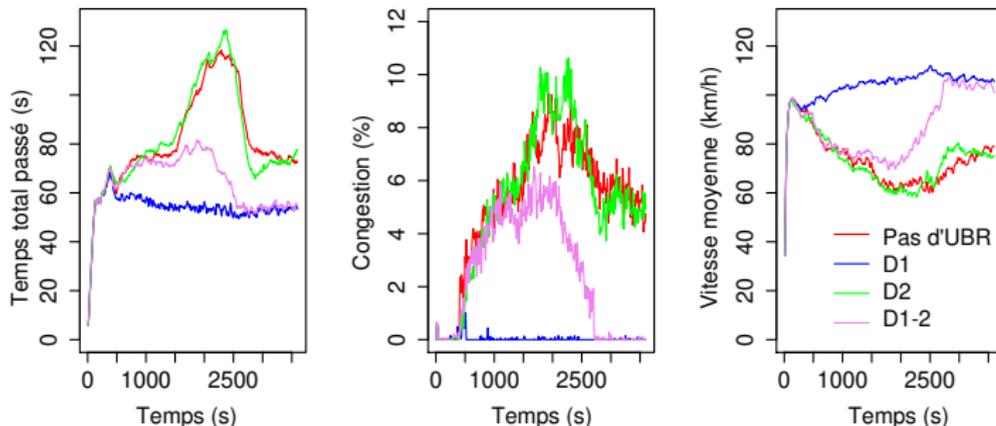
$$\bar{x}_j + \sqrt{\frac{2 \ln n}{n_j}}$$

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

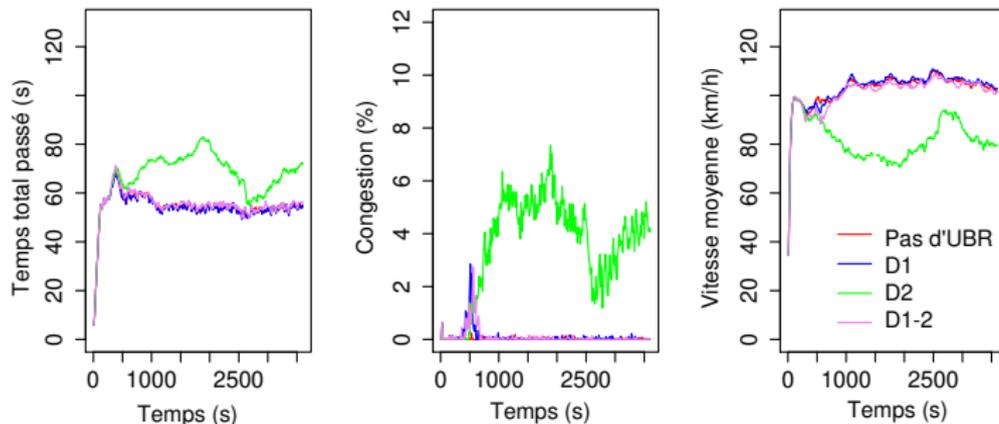


Scénario 1 : débits d'entrée du lundi 18.

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

Résultats

Application au trafic coopératif : résultats

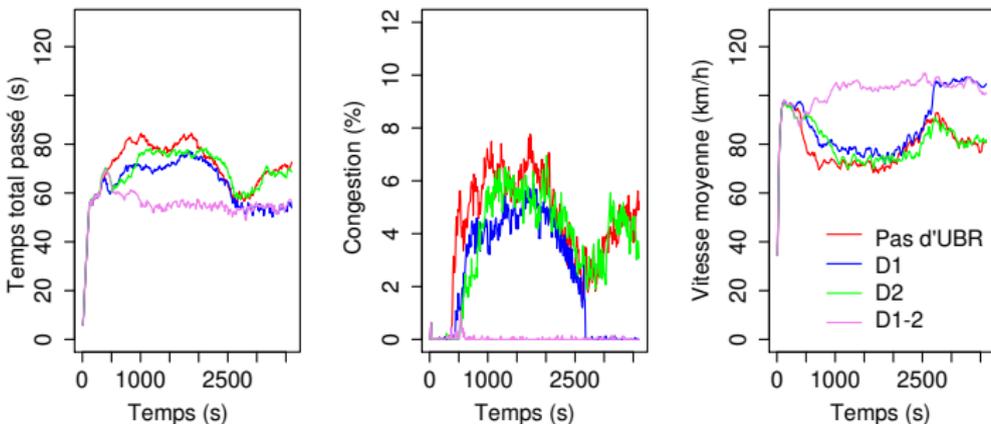


Scénario 2 : débits d'entrée du jeudi 21.

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

Résultats

Application au trafic coopératif : résultats

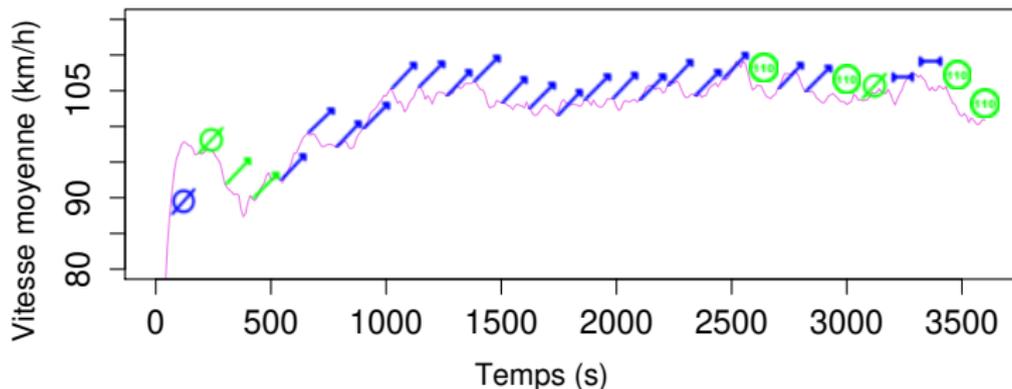


Scénario 3 : débits d'entrée du mardi 26.

- 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

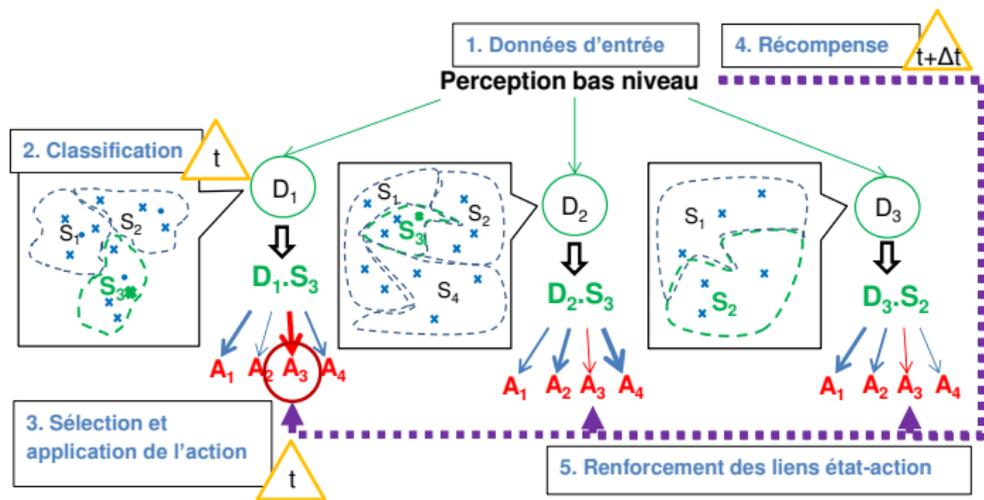
Vers un affinement de la représentation
Premiers résultats

Conclusion

Synthèse des contributions
Perspectives

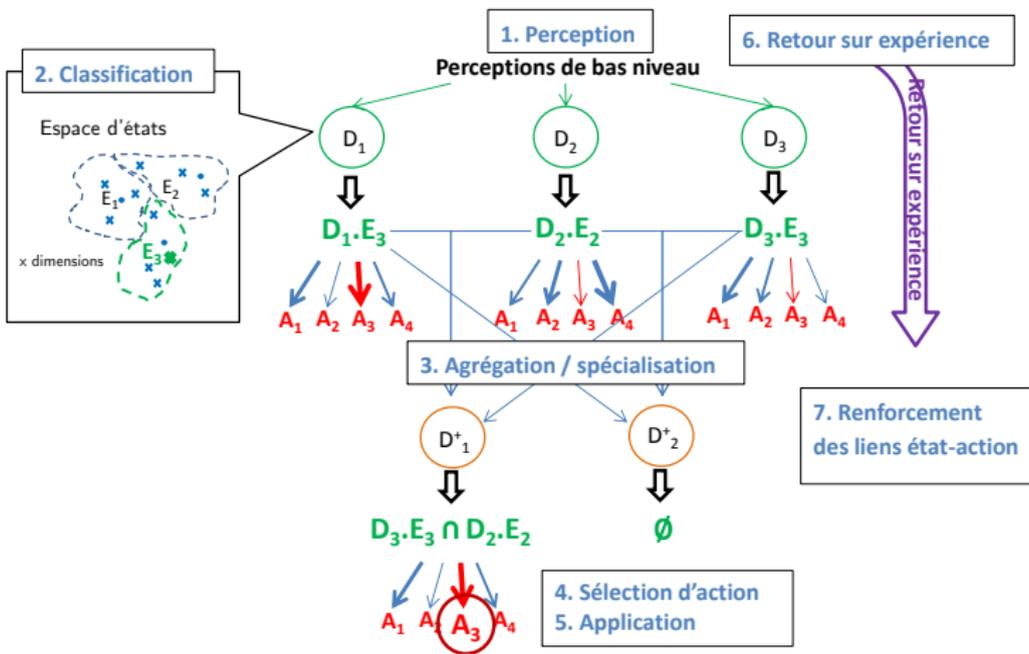
Perspectives

Rappel du modèle



Perspectives

Vers un affinage de la représentation



Perspectives

Vers un affinement de la représentation

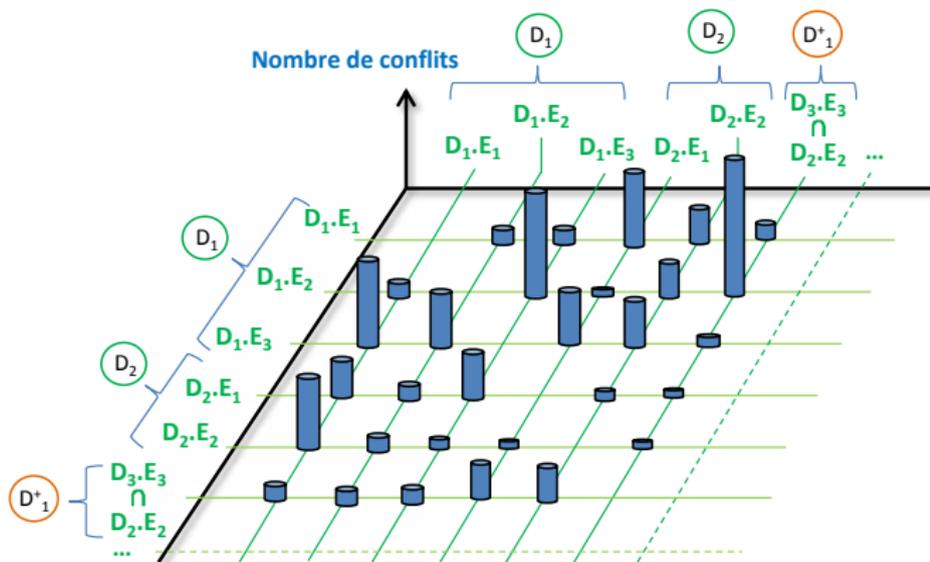
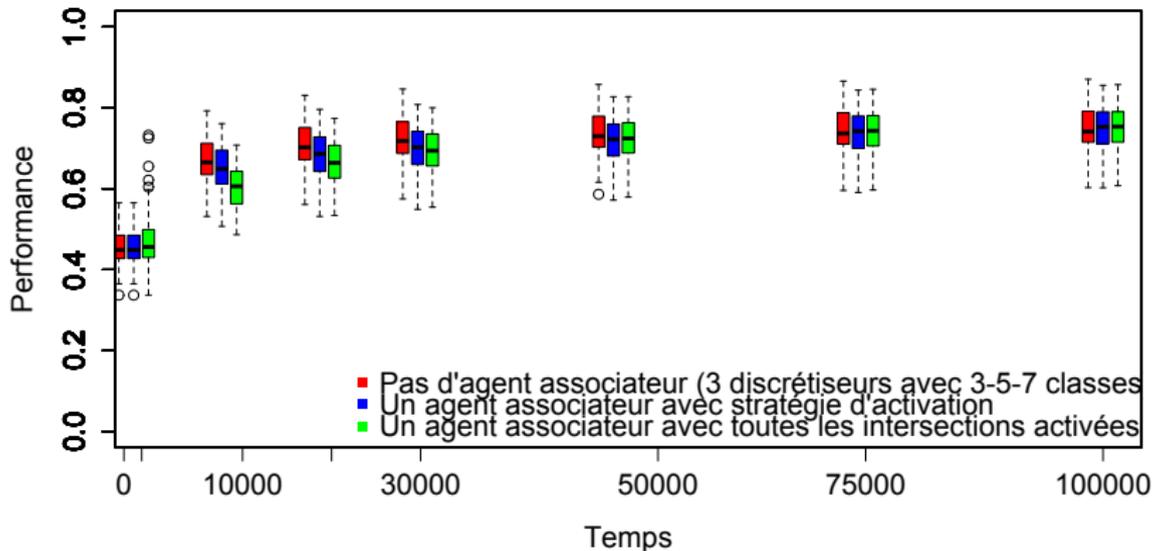


Illustration simplifiée des conflits entre les états sous la forme d'une matrice de conflits. Les agents associateurs sont notés D^+

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 affinage 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.