

Approche décentralisée pour l'allocation de courses à la demande à une flotte de taxis autonomes

Flavien Balbo *Gauthier Picard* Olivier Boissier

MINES Saint-Étienne, CNRS
Lab Hubert Curien UMR 5516

Travail financé par Renault Innovation



Introduction

Contexte technologique

- Essor des solutions de transport à la demande
- + Développement des véhicules autonomes
- + Communications V2V
- = Gestion en ligne de flottes de taxis autonomes

Approche

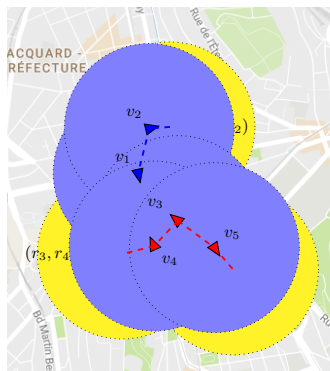
- **Systèmes multi-agents pour problèmes d'allocation**
(EGAN et JAKOB, 2016 ; GRAU et ROMEU, 2015 ; MACIEJEWSKI et NAGEL, 2013 ; SANTANI et al., 2008 ; SHEN et LOPES, 2015)
- **Approches décentralisées par auto-organisation**
(ZARGAYOUNA et al., 2016)
- **Optimisation sous contraintes distribuée**
(PUJOL-GONZALEZ et al., 2013, 2015)

Problème de gestion d'une flotte de taxis

Comment trouver la meilleure allocation demande-taxis en ligne (sans visibilité) ?

Hypothèses

- N sources
 - ▶ origine et destination des requêtes
 - ▶ point de diffusion des requêtes
- Les taxis prennent en charge les requêtes
 - ▶ décisions + ou - autonomes
 - ▶ communication via VANET (local) or réseau cellulaire (global)



Objectif de l'étude

Comparer des stratégies d'allocation afin de satisfaire au moins 90% des requêtes en utilisant uniquement VANET et un processus de décision décentralisé

Problème de gestion d'une flotte de taxis

Critères d'évaluation

■ Optimalité

- ▶ Qualité de service
- ▶ Temps d'attente moyen
- ▶ Gain

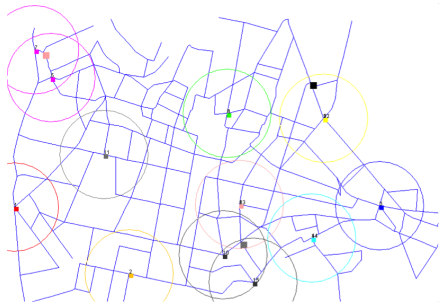
■ Robustesse

- ▶ Autonomie limitée
- ▶ Communication perturbée

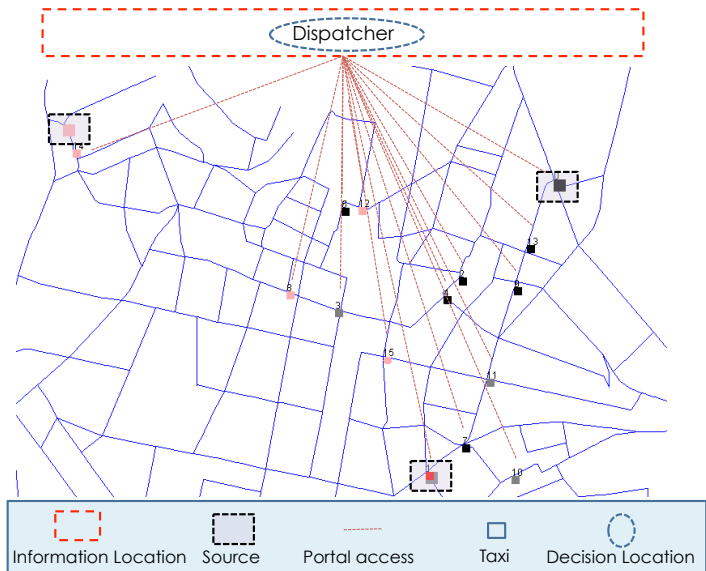
■ Passage à l'échelle

- ▶ Nombre de messages
- ▶ Temps de calcul par nœud

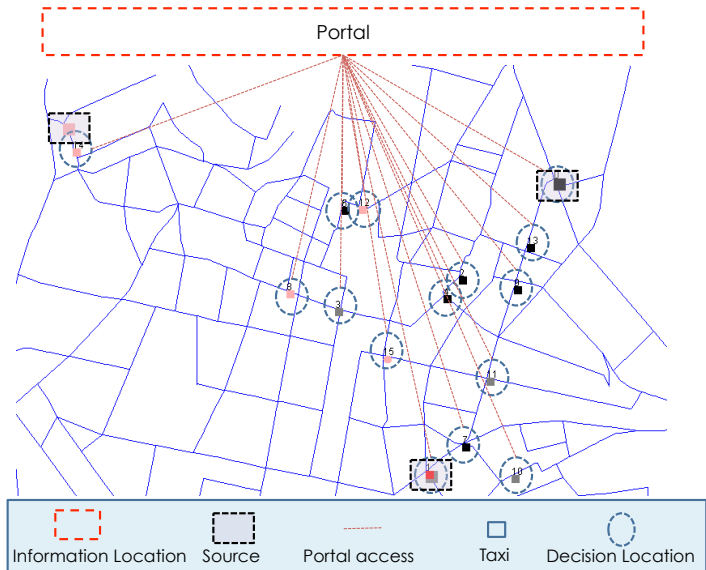
■ Coût



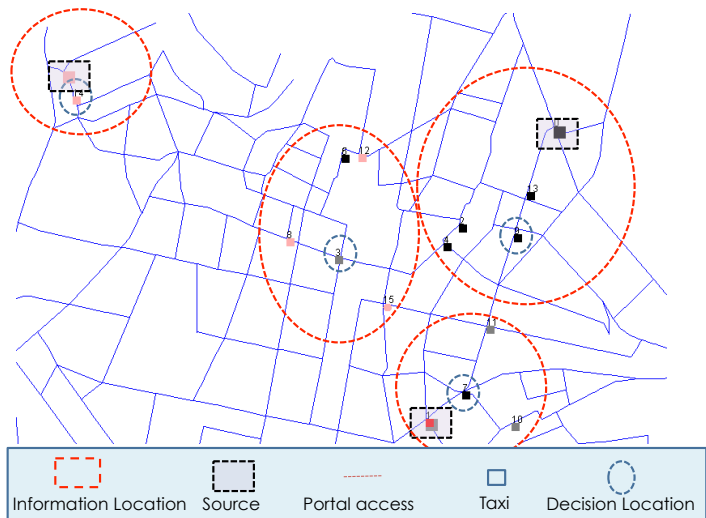
Typologie des solutions étudiées



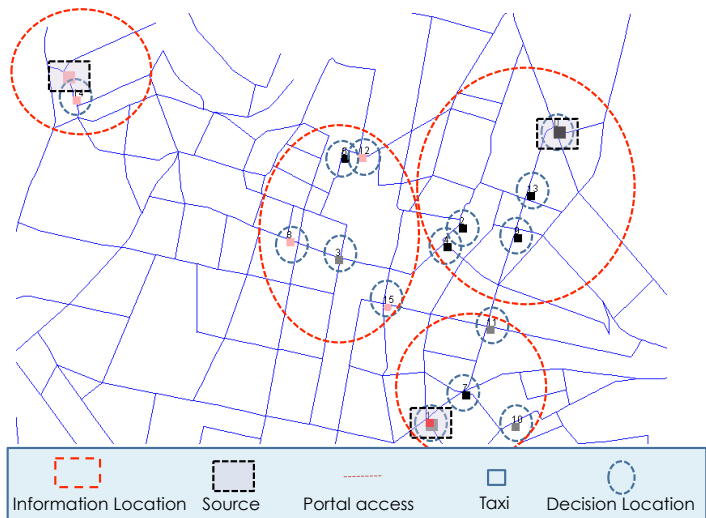
Typologie des solutions étudiées



Typologie des solutions étudiées



Typologie des solutions étudiées



Comportement des taxis

Boucle comportementale

1. lecture des messages entrants (concernant les autres taxis, les demandes, etc.)
2. mise à jour de ses croyances à propos des demandes et taxis
3. décision de la prochaine destination
 - ▶ vers une source pour satisfaire une demande
 - ▶ vers une autre position sur le réseau, pour par exemple anticiper l'arrivée de nouvelles demandes
4. déplacement vers la prochaine position en direction de la destination
5. émission de messages sur lui-même et transmission des messages concernant les demandes et autres taxis

Critère de décision

■ $\kappa : \mathcal{A} \times \mathcal{R} \times T \rightarrow]0, 1]$

- fonction de la distance ou temps

(ALSHAMSI et al., 2009; EGAN et JAKOB, 2016; GLASCHENKO et al., 2009; MACIEJEWSKI et NAGEL, 2013; SANTANI et al., 2008; SHEN et LOPES, 2015)

Modèle de coopération

1. Comportement non coopératif

- ▶ Préférer servir les requêtes atteignables les plus urgentes

2. Comportement coopératif

- ▶ Critère temporel : idem
- ▶ Critère spatial : préférer les requêtes qui ont le moins de taxis proches
- + toute combinaison des deux

$$\kappa_{\text{coop}}(v_i, r_j, t) = \alpha \cdot \kappa_{\text{space}}(v_i, r_j, t) + (1 - \alpha) \cdot \kappa_{\text{time}}(v_i, r_j, t)$$

avec $\alpha \in [0, 1]$

Modèles de coordination

1. Coordination centralisée

- ▶ ordres d'un dispatcheur
- ▶ infrastructure globale de communication
- ▶ collecte des informations en temps réel pour calculer les coûts
- ▶ résolution *PL en 0-1*

$$\underset{v_{ij}^t}{\text{minimiser}} \quad \sum_{v_{ij}^t} c_{ij}^t \cdot v_{ij}^t \quad (1)$$

avec

$$\forall i \in \mathcal{A} \quad \sum_{j \in \mathcal{R} \cup \{\emptyset\}} v_{ij}^t = 1 \quad (2)$$

$$\forall j \in \mathcal{R} \quad \sum_{i \in \mathcal{A}} v_{ij}^t \leq 1 \quad (3)$$

2. Coordination via un portail

- ▶ Demandes accessible via un portail
- ▶ Décisions par les taxis
- ▶ Portail = singleton

3. Coordination par DCOP

- ▶ Diffuse les demandes en P2P
- ▶ Décision par les taxis
- ▶ Coordination par protocole d'optimisation sous contraintes distribuée

Modèle de coordination DCOP

Définition (DCOP)

Un problème d'optimisation sous contraintes distribué (ou DCOP pour *Distributed Constraint Optimization Problem*) est un tuple $\langle \mathcal{A}, \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{C} \rangle$, où

- $\mathcal{A} = \{a_1, \dots, a_{|\mathcal{A}|}\}$ est un ensemble d'agents
- $\mathcal{X} = \{x_1, \dots, x_N\}$ sont les variables appartenant aux agents
- $\mathcal{D} = \{\mathcal{D}_{x_1}, \dots, \mathcal{D}_{x_N}\}$ est un ensemble de domaines finis tels que la variable x_i prend ses valeurs dans $\mathcal{D}_{x_i} = \{v_1, \dots, v_k\}$
- $\mathcal{C} = \{c_1, \dots, c_M\}$ est un ensemble de contraintes souples, où chaque c_i définit un coût $\in \mathbb{R} \cup \{\infty\}$ pour chaque combinaison d'affectation de valeurs au sous-ensemble de variables impliquées dans cette contrainte $\mathcal{X}_i \subseteq \mathcal{X}$

Une *solution* à un DCOP est une affectation de valeurs à toutes les variables qui minimise la somme totale de coûts $\sum_{m=1}^M c_m(\mathcal{X}_m)$

Modèle de coordination DCOP (cont.)

Objectif

$$\underset{v_{ij}^t}{\text{minimiser}} \sum_{v_{ij}^t} c_{ij}^t(v_{ij}^t) + \sum_{\substack{C \in CSet_{\mathcal{A}}(t) \\ r_j \in KR(C,t)}} \mathbf{AMO}_j^t(v_{1j}^t, \dots, v_{|C|j}^t) \quad (4)$$

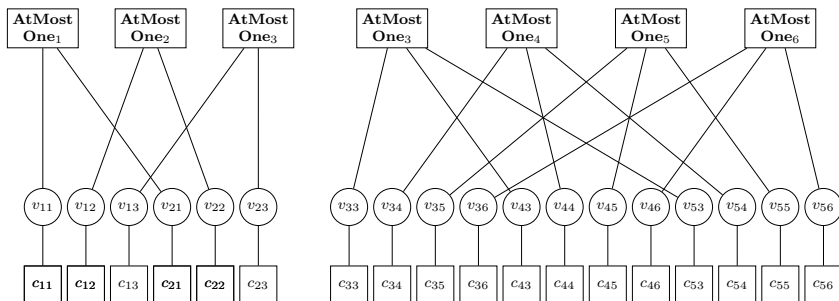
avec

$$c_{ij}^t(v_{ij}^t) = \begin{cases} \frac{1}{\kappa(v_i, r_j, t)}, & \text{si } v_{ij}^t = 1 \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (5)$$

Méthodes de résolution

- Codage binaire : Binary MaxSum (BMS) (PUJOL-GONZALEZ et al., 2015)
- Codage non binaire : DPOP (PETCU et FALTINGS, 2005) ou MaxSum (FARINELLI et al., 2008)
- ou résoudre *PL en 0-1* pour un ensemble connecté par un taxi

Représentation graphique du DCOP



Configuration des expérimentations

■ 13 combinaisons

- ▶ Cooperation
- ▶ Coordination
- ▶ Infrastructure (VANET, Portal)

■ Topologie

- ▶ Saint-Étienne (OSM)
- ▶ 503 arcs, 4645 points
- ▶ Distance entre sources : {0.8, 1.5, 2} km

■ Taxi

- ▶ 8 à 20
- ▶ vitesse simulée 30 km/h
- ▶ Rayon de comm. entre 0.25% and 16% de la surface de la carte

■ Simulation

- ▶ Un cycle de simulation \approx 5 secondes réelles
- ▶ Durée : 3.5h (2500 cycles), 4h (3000 cycles) ou 8h (6000 cycles)

■ Requêtes

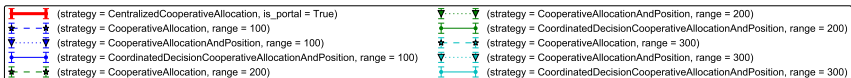
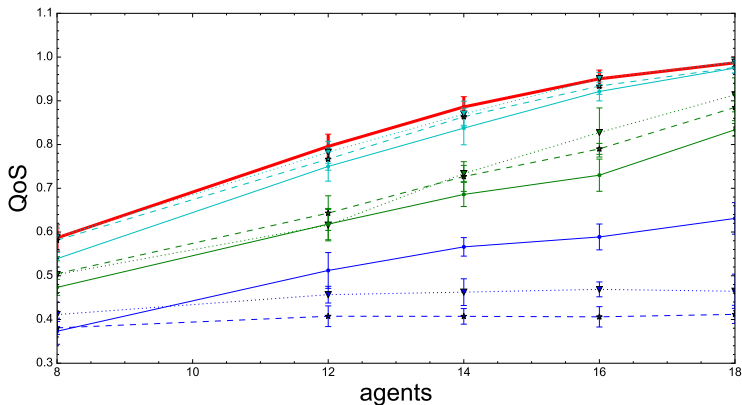
- ▶ [0 : 2] requêtes par cycle
- ▶ Distribution
 - ▶ Uniforme
 - ▶ Concentrée (pic tous les 100 cycles sur une source)
 - ▶ Découplée (une destination n'est jamais source)

■ Energie

- ▶ Autonomie : 100 Km (2325 cycles), 215 Km (5000 cycles)
- ▶ Durée de recharge : 30 min (360 cycles)

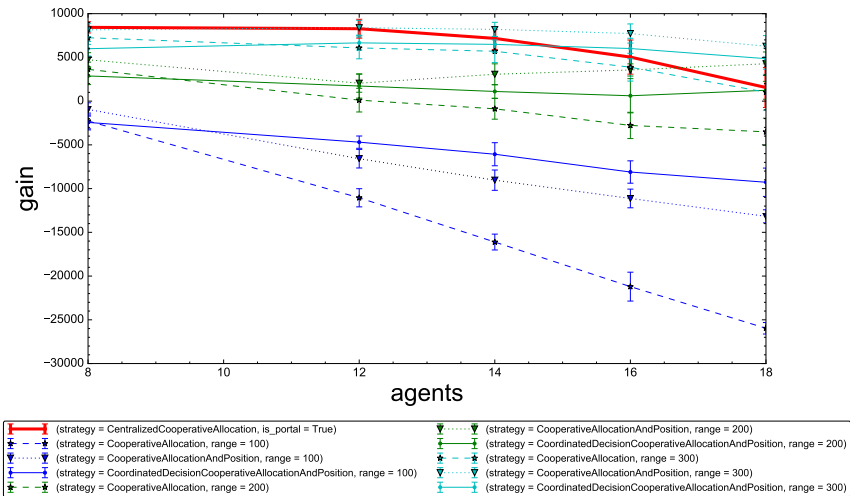
Quelques résultats

Sous quelles conditions la coopération sans coordination est-elle avantageuse ?



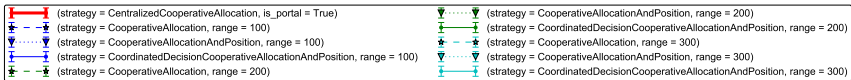
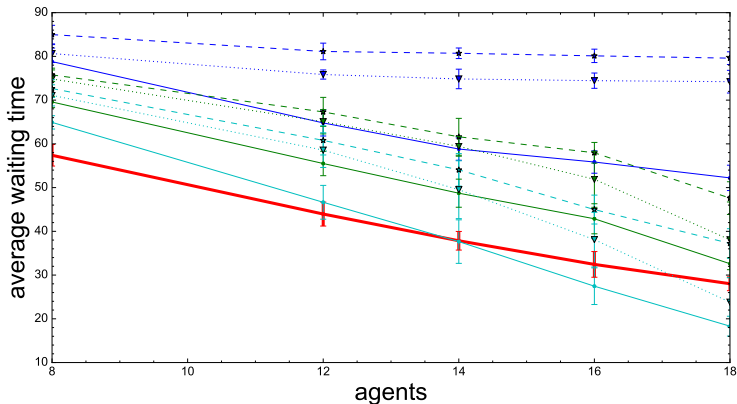
Quelques résultats (cont.)

Sous quelles conditions la coopération sans coordination est-elle avantageuse ?



Quelques résultats (cont.)

Sous quelles conditions la coopération sans coordination est-elle avantageuse ?



Conclusions

- Modèle multi-agent pour le contrôle de flotte de taxi autonomes
- Coopération + Coordination \Rightarrow approche sous-optimale en QoS, mais meilleur utilité client

Ce dont je n'ai pas parlé...

- Adaptation (dynamique des sources)
- Passage à l'échelle (nombre de taxis, nombre de courses)
- Robustesse (perte de messages)

Références



ALSHAMSI, Aamena, Sherief ABDALLAH et Iyad RAHWAN (2009). "Multiagent self-organization for a taxi dispatch system". In : *8th international conference on autonomous agents and multiagent systems*. Citeseer, p. 21–28.



EGAN, Malcolm et Michal JAKOB (2016). "Market mechanism design for profitable on-demand transport services". In : *Transportation Research Part B : Methodological* 89, p. 178–195.



FARINELLI, A., A. ROGERS, A. PETCU et N. R. JENNINGS (2008). "Decentralised Coordination of Low-power Embedded Devices Using the Max-sum Algorithm". In : *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'08)*, p. 639–646. ISBN : 978-0-9817381-1-6. URL : <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1402298.1402313>.



GLASCHENKO, Andrey, Anton IVASCHENKO, George RZEVSKI et Petr SKOBELEV (2009). "Multi-agent real time scheduling system for taxi companies". In : *8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), Budapest, Hungary*, p. 29–36. URL : <https://pdfs.semanticscholar.org/dc25/22cfba5bd99e107c93feb4d75d593327a753.pdf> (visité le 04/02/2017).



GRAU, Josep Maria Salanova et Miquel Angel Estrada ROMEU (2015). "Agent based modelling for simulating taxi services". In : *Procedia Computer Science* 52, p. 902–907.



MACIEJEWSKI, Michal et Kai NAGEL (2013). "The influence of multi-agent cooperation on the efficiency of taxi dispatching". In : *International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics*. Springer, p. 751–760.



PETCU, Adrian et Boi FALTINGS (2005). "A scalable method for multiagent constraint optimization". In : *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*, p. 266–271. ISSN : 10450823.

Références (cont.)



PUJOL-GONZALEZ, Marc, Jesús CERQUIDES, Pedro MESEGUER, Juan Antonio RODRÍGUEZ-AGUILAR et Milind TAMBE (2013). "Engineering the Decentralized Coordination of UAVs with Limited Communication Range". In : *Advances in Artificial Intelligence : 15th Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence, CAEPIA 2013, Madrid, Spain, September 17-20, 2013. Proceedings*. Sous la dir. de Concha BIELZA, Antonio SALMERÓN, Amparo ALONSO-BETANZOS, J. Ignacio HIDALGO, Luis MARTÍNEZ, Alicia TRONCOSO, Emilio CORCHADO et Juan M. CORCHADO. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, p. 199–208. ISBN : 978-3-642-40643-0. DOI : 10.1007/978-3-642-40643-0_21. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40643-0_21.



PUJOL-GONZALEZ, Marc, Jesus CERQUIDES, Alessandro FARINELLI, Pedro MESEGUER et Juan Antonio RODRIGUEZ-AGUILAR (2015). "Efficient Inter-Team Task Allocation in RoboCup Rescue". In : *Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. AAMAS '15*. Istanbul, Turkey : International Foundation for Autonomous Agents et Multiagent Systems, p. 413–421. ISBN : 978-1-4503-3413-6. URL : <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2772879.2772933>.



SANTANI, Darshan, Rajesh Krishna BALAN et C Jason WOODARD (2008). "Spatio-temporal efficiency in a taxi dispatch system". In : *6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys*.



SHEN, Wen et Cristina LOPES (2015). "Managing Autonomous Mobility on Demand Systems for Better Passenger Experience". In : *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*. Springer, p. 20–35.



ZARGAYOUNA, Mahdi, Flavien BALBO et Khadim NDIAYE (2016). "Generic model for resource allocation in transportation. Application to urban parking management". In : *Transportation Research Part C : Emerging Technologies* 71, p. 538–554.