

# RÉSOLUTION PAR NÉGOCIATION DU PROBLÈME DE TRANSPORT À LA DEMANDE

flavien.balbo@emse.fr

# Le transport à la demande consiste à construire l'offre sur la base des réservations des clients avec différentes modalités

## Aujourd'hui

- ▶ Conception de tournées de minibus sur réservation
- ▶ Flotte de taxis individuels ou collectifs
- ▶ Flotte de VTC
- ▶ Covoiturage dynamique



## Demain

- ▶ Flotte de véhicules autonomes (VA) ?
  - Limiter le nombre de véhicules particulier en circulation et à l'arrêt
  - Donner accès à la mobilité individuelle à tous
  - Optimiser les coûts

## Problème : comment passer à l'échelle ?



# CONTEXTE : PROBLÈME DU TRANSPORT À LA DEMANDE

## DARP (Dial a Ride Problem) est un cas particulier du VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery) (Cordeau 2007)

- Quelques travaux illustratifs des problèmes à traiter
  - ▶ **Selon la demande** : une partie des demandes apparaissent ou disparaissent dans la journée pour une population spécifique (heuristique d'insertion, maximiser le nombre de demandes acceptées (Vallee 2020); minimiser le retard global)
  - ▶ **Selon l'offre** : E-DARP avec la prise ne compte des contraintes de gestion de batterie (MILP + algorithme Branch and cut, minimiser le temps de parcours total des véhicules et supplémentaire pour les clients (Bongiovanni 2019))
  - ▶ **Combiner avec d'autres alternatives** : DARP-PV-AN pour combiner transport public avec quelques arrêts (Alternative Nodes) pour des demandes particulières traitées par des Véhicules Privées qui peuvent prendre d'autres passagers (MILP + algorithme mémétique, (Brevet 2019))

C. Bongiovanni, M. Kaspi, and N. Geroliminis. The electric autonomous dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 122:436{456, 2019.

D. Brevet, C. Duhamel, M. Iori, and P. Lacomme. A dial-a-ride problem using private vehicles and alternative nodes. *Journal on Vehicle Routing Algorithms*, 2(2):89-107, 2019.

J.-F. Cordeau and G. Laporte. The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of Operations Research*, 153(1):29{46, June 2007.

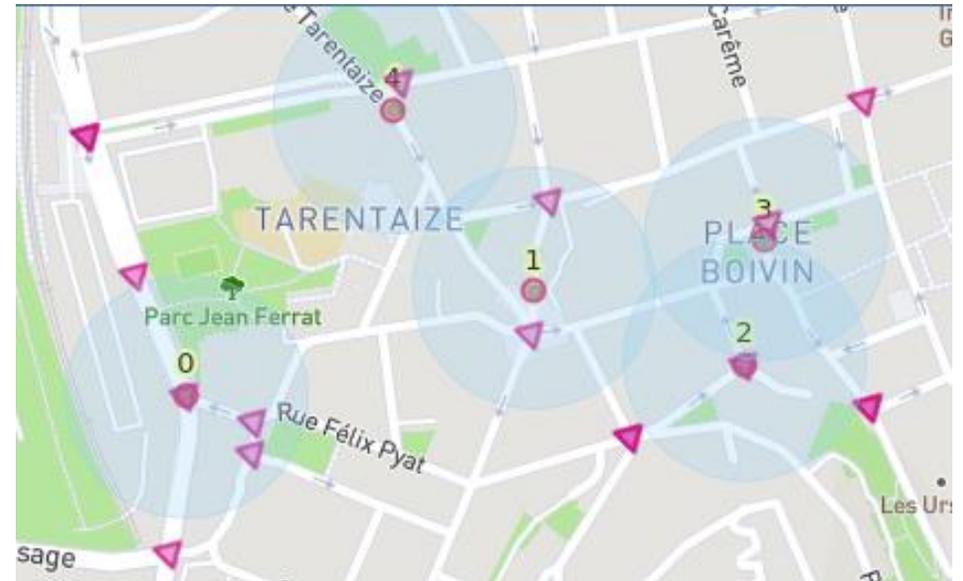
T. Gschwind and M. Drexler. Adaptive large neighborhood search with a constant-time feasibility test for the dial-a-ride problem. *Transportation Science*, 3(2):480{491, 2019

U. Ritzinger, J. Puchinger, Rudloff et al. Comparison of anticipatory algorithms for a dial-a-ride problem. *European Journal of Operational Research*, 2022, vol. 301, no 2, p. 591-608.

S. Vallee, A. Oulamara, and W. Cherif-Khettaf. New online reinsertion approaches for a dynamic dial-a-ride problem. *Journal of Computational Science*, 47, 2020.

## Solution proposée

- Utiliser le paradigme multiagent de résolution de problèmes pour
  - ▶ Déléguer le processus de décision aux véhicules
  - ▶ Trouver un compromis décentralisé entre satisfaction du client et du véhicule
- Traiter le transport à la demande sous l'angle du problème d'allocation de ressources sous contraintes
  - ▶ spatio-temporelles
    - Véhicule : contraintes physiques
    - Demande : besoin client
  - ▶ fonctionnelles
    - Les véhicules sont des ressources non partageables
    - Les clients font leur demande quand ils le souhaitent
    - Les demandes ont une période de validité
- Intégrer dans la solution les dimensions d'ouverture et de dynamique de l'environnement



## 4 dimensions à modéliser selon l'approche Vowels

- **Agent** : modélisation des composants décisionnels du système
- **Environnement** : modélisation de ce qui n'est pas agent et ce qui supporte leur exécution/communication
- **Interaction** : modélisation des mécanismes d'influences entre agents
- **Organisation** : modélisation des règles du système

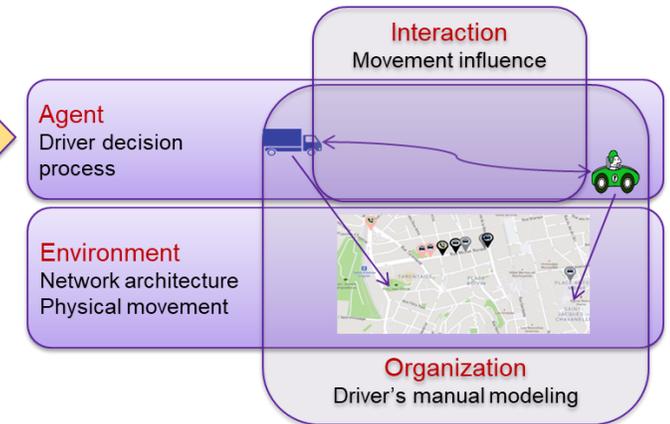
## Nos hypothèses

- Aucune centralisation des données et/ou décision
- Aucune connaissance sur la demande
- Les demandes sont valides selon une fenêtre de temps
- Uniquement de la communication pair à pair (Vanet)



Real System: a transportation network

Modeling



## Notre modélisation

Des agents véhicules autonomes (VA) organisés selon une flotte coopérative et qui s'influencent par messages sur un Vanet afin d'obtenir l'allocation globale la plus proche possible de l'optimale.

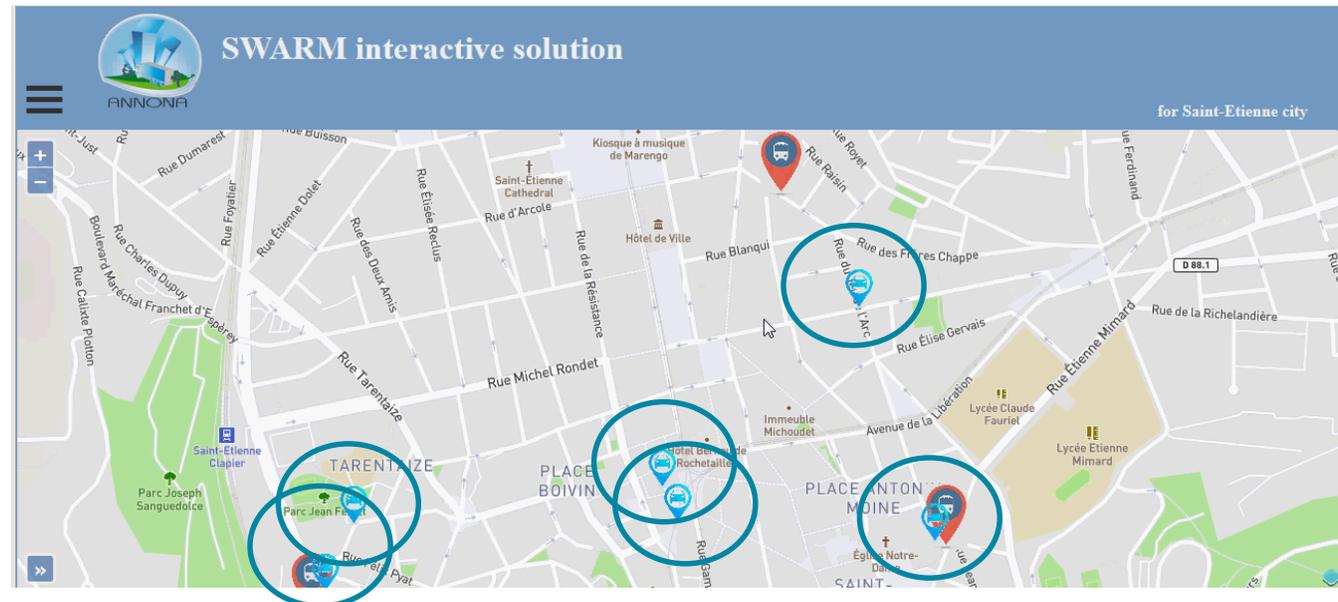
# RÉSOLUTION : CRITÈRE EVALUATION

## Qualité

- Qualité de service
  - ▶ Nombre de clients satisfait
  - ▶ Temps attente moyen
- Qualité du business
  - ▶ Minimiser le nombre de véhicules
  - ▶ Minimiser les trajets à vide

## Passage à l'échelle

- Nombre de messages
- Temps d'exécution





## Approche par marché (Thèse Alaa Daoud ; F. Balbo, P. Gianesi, G. Picard)

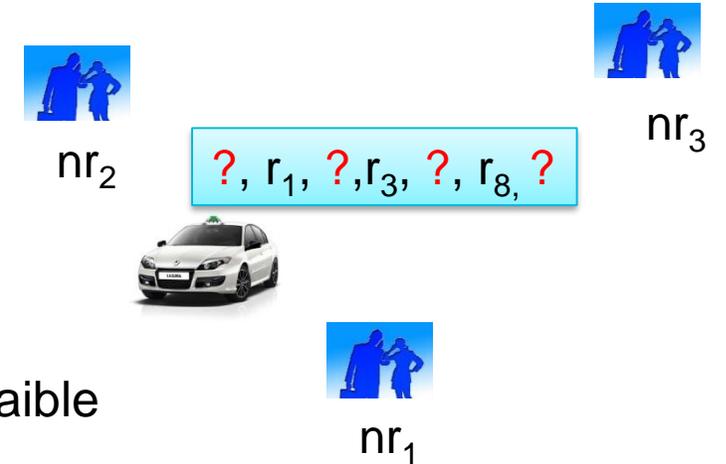
- Reprise des hypothèses et contraintes
- Calcul de tournées
- Mise en place d'un protocole d'enchère continue : vue d'ensemble
  - ▶ Chaque nouvelle demande d'un client donne lieu à une enchère parmi les véhicules possibles
    - Appartenant au même *Connected Set*
    - Pouvant satisfaire la demande dans sa fenêtre de temps
  - ▶ Chaque véhicule ne considère une enchère que pour sa nouvelle requête « préférée »
  - ▶ Chaque nouvelle allocation peut engendrer des remises en cause des allocations précédentes



# RÉSOLUTION : MISE EN PLACE DES ENCHÈRES

## Intérêt pour une requête

- Inverse du coût d'insertion
- Estimation dépendante du temps et de la position
- Classement des demandes selon cette priorité

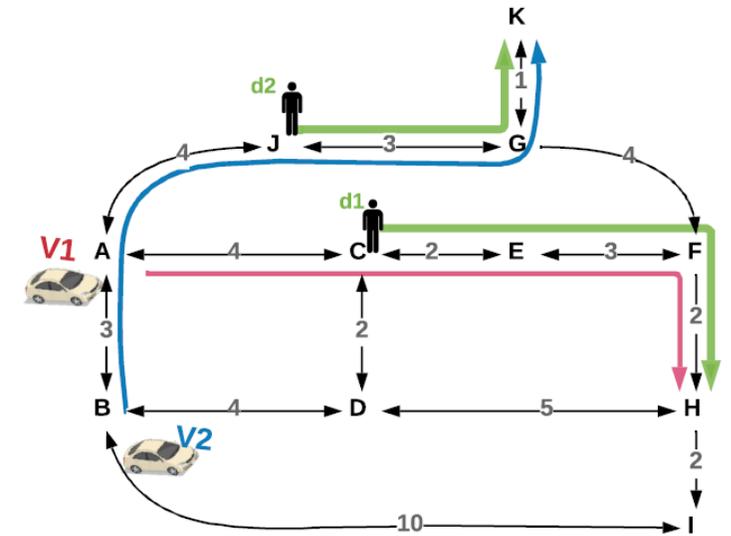


## Enchère

- Choix de la demande : celle qui entraîne le coût marginal le plus faible
- Diffusion d'une offre de service aux autres VA en considérant
  - ▶ Le coût de la course
  - ▶ L'horaire de prise en charge du client
- Détermination du vainqueur
  - ▶ Chaque VA s'auto détermine vainqueur ou perdant selon les offres reçues après un certain temps (critère du coût)
  - ▶ Diffusion du résultat

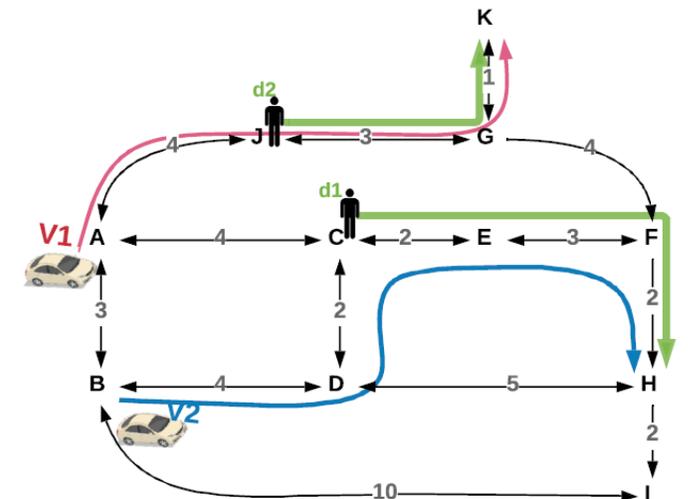
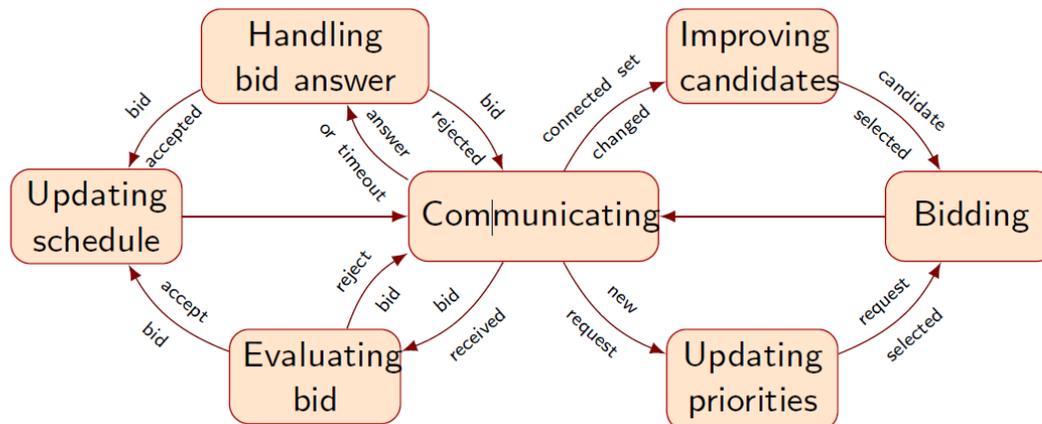
## Les allocations réalisées mais non exécutées ne doivent pas bloquer les nouvelles

- Un VA doit pouvoir remettre en cause son planning pour une amélioration globale
- Un VA ne considère qu'une seule permutation pour éviter l'explosion combinatoire
- Il peut y avoir simultanément n permutations pour n VA.



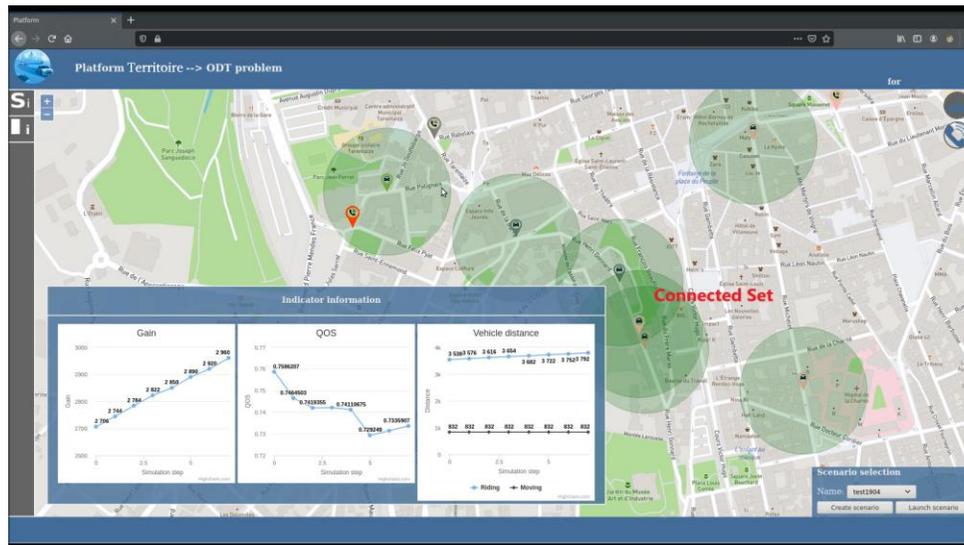
## Pull-demand Protocole

- Complète le protocole d'enchère pour les anciennes demandes



## Plateforme Territoire

- Plateforme de simulation et de communication
- Framework de comparaison
- Données synthétiques pour évaluer les propositions sur des scénarios contrôlés
- Data set Manhattan pour évaluer les proposition sur de vraies données
- Comparaison de solutions centralisées et décentralisées



### Synthetic Scenarios

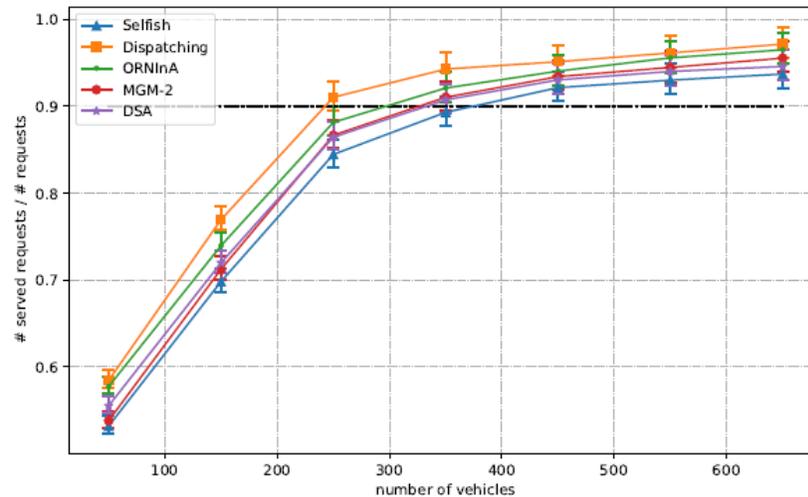
- Saint-Étienne road network
- 1400 edges,  $|S| = 40$
- variable fleet size [4, 20]
- 100 ~ 1000 request per instance
- DSRC : 250m communication range
- Intel i7-8650U CPU @ 1.90GHz, with 32GB DDR4 RAM

### Real-world Scenarios

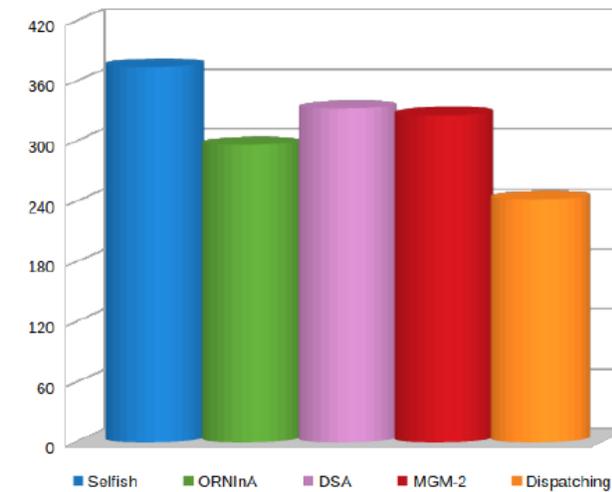
- NYC Road network (Manhattan)
- 4535 edges,  $|S| = 100$
- variable fleet size [50, 650]
- 10k ~ 100k request per instance
- DSRC : 250m communication range
- Intel Xeon E-2146G CPU @ 3.50GHz with 32GB DDR4 RAM

**CMs:** Selfish, Dispatching, Market-based (ORNInA), DCOP (DSA-A & MGM-2)  
**Implementation:** Java, IBM ILOG CPLEX, FRODO

## Scénario Manhattan



Evolution of the Quality of Service



Required fleet size for 90% QoS

- A. Daoud, F. Balbo, P. Gianessi, G. Picard : *ORNInA: A decentralized, auction-based multi-agent coordination in ODT systems*. *AI Commun.* 34(1) : 37-53 (2021)
- A. Daoud, F. Balbo, P. Gianessi, G. Picard: A Generic Multi-Agent Model for Resource Allocation Strategies in Online On-Demand Transport with Autonomous Vehicles. *AAMAS 2021*: 1489-1491
- A Daoud, F. Balbo, P. Gianessi, G. Picard: Un modèle agent générique pour la comparaison d'approches d'allocation de ressources dans le domaine du transport à la demande. *JFSMA 2021*: 127-136
- A Daoud, F. Balbo, P. Gianessi, G. Picard: Decentralized Insertion Heuristic with Runtime Optimization for On-demand Transport Scheduling. *ATT@ECAI 2020*: 9-15
- G Picard, F. Balbo, O. Boissier: Approches multiagents pour l'allocation de courses à une flotte de taxis autonomes. *Rev. d'Intelligence Artif.* 32(2): 223-247 (2018)
- G. Picard, F. Balbo, O. Boissier: Approches multiagents pour l'allocation de courses à une flotte de taxis autonomes. *JFSMA 2017*: 75-84

## Conclusion

- Démarche
  - ▶ Des contraintes fonctionnelles fortes : décentralisation, communication, demande
  - ▶ Une modélisation prenant en compte la dynamique et l'ouverture du système
  - ▶ Une modélisation support de différentes approches de résolution
- Résultats
  - ▶ Des solutions décentralisées pour un passage à l'échelle
  - ▶ Des solutions proches de l'optimale
  - ▶ Une implémentation support de la modélisation permettant une comparaison sans biais

## Perspectives

- Lever la contrainte sur la demande
- Intégrer des contraintes relatives à l'électromotricité des taxis
- Développer de nouvelles stratégies