

Distributed Vehicle Routing Problem in Large Transportation Networks

Responsable(s) de la thèse :

Arnaud Doniec, directeur de thèse

Guillaume Lozenguez, co-encadrant

Flavien Lucas, co-encadrant

École de rattachement de la thèse : IMT Nord Europe (site de Lahure - Douai)

Laboratoire de rattachement du responsable de la thèse : CERI SN

Thématique phare : Mobilité intelligente

Mots clés : Modélisation Multi-Agent, Optimisation Combinatoire, Simulation de Transport, Système Distribué, Coordination

Résumé :

Les systèmes de transports subissent une double révolution, d'une part vis-à-vis du changement climatique qui nous impose des changements d'usage et d'autre part, avec l'invasion du numérique, dans la poche et dans le véhicule, qui promet d'imaginer de nouveaux services. Pour être adoptés, ces nouveaux services doivent être de qualité notamment en termes de disponibilité, temps de transport ou de respect des horaires. Inversement, une optimisation des ressources de transports s'appuie sur l'anticipation, la flexibilité et la coordination des acteurs.

Il s'agit ici d'un point difficile puisqu'il faut composer avec un trafic soumis à de nombreux aléas et des acteurs (fournisseurs de services, clients, politique) avec des ressources et des objectifs variés impliquant une combinatoire non adressable par une gestion centralisée. Dans ce contexte, nous proposons pour ce sujet de thèse d'adresser le problème de tournée de véhicules dans un cadre distribué et sous incertitudes en s'appuyant sur de la simulation large échelle.

L'objectif vise à explorer les limites de la mise en œuvre de technique d'optimisation combinatoire à l'échelle de l'individu complété de mécanismes de coordination. L'optimisation permet de garantir une bonne efficacité des comportements adoptés et la coordination de confronter les intérêts individuels et collectifs dans les critères de choix des actions à entreprendre. Enfin, cette thèse s'ancre dans la volonté d'adresser des scénarii concrets de nouveaux services rendus possibles par le numérique en l'expérimentant par simulation à l'échelle d'un territoire.

Contexte Scientifique :

La réduction des émissions de gaz à effet de serre de 55% d'ici 2030 souhaité par le parlement européen nous oblige à accélérer encore davantage la décarbonation du transport de biens et de personnes. Au delà des innovations technologiques attendues (batteries plus efficaces, véhicules à l'hydrogène, carburants de synthèse, ...), il est nécessaire de faire évoluer au sein de la société l'usage des transports.

S'agissant du fret, la crise COVID a eu pour effet de booster le e-commerce et la livraison à domicile, entraînant de ce fait une augmentation du trafic urbain déjà bien dense dans de nombreuses agglomérations. La logistique urbaine [1] est ainsi devenue un axe important de recherche dans le domaine des transports avec notamment la question de l'optimisation sur le dernier kilomètre.

En ce qui concerne le transport de personne, malgré la crise énergétique et les hausses récentes de carburant, le renoncement à la voiture particulière est en pratique encore difficilement envisageable sur une grande partie du territoire français. En cause une offre de transport public qui n'arrive pas à couvrir l'ensemble des besoins des usagers. Cela est d'autant plus vrai dans les villes moyennes, les périphéries des grandes villes et bien entendu les zones rurales. Ainsi, l'intermodalité [2] qui consiste combiné plusieurs modes de transport (incluant éventuellement la voiture particulière) pour un déplacement donné est un axe de recherche important impliquant des travaux en intelligence artificielle et en recherche opérationnelle.

De nouveaux services dédiés au transport de biens ou de personnes apparaissent depuis quelques années (mutualisation fret / passagers, co-voiturage, autopartage, GPS collaboratif, navette de transport à la demande, ...). Pour être adoptés ces nouveaux services doivent être de qualité notamment en termes de temps de transport et de respect horaire. Il s'agit ici d'un point difficile puisqu'il faut composer avec un trafic (aussi bien routier que ferré) soumis à de nombreux aléas (retard de lignes, accidents, embouteillage, météo, ...). Par ailleurs, en termes de passage à l'échelle, une adoption massive de ces services rendra difficile une gestion centralisée de ces derniers.

Dans ce contexte, nous proposons pour ce sujet de thèse d'adresser le problème de tournée de véhicules dans un cadre distribué et sous incertitudes.

Contenu Scientifique :

Le problème de tournées de véhicules (ou Vehicle Routing Problem (VRP)) consiste à trouver les n chemins que doivent emprunter n véhicules leur permettant de réaliser un ensemble de tâches de transport à leur charge. Il peut s'agir de livraison de colis ou de transport de personnes à la demande. Naturellement, les chemins doivent être les plus courts possibles pour minimiser la consommation d'énergie et le temps.

Dans le cadre d'une application du problème à l'échelle d'un territoire, ce sont plusieurs milliers d'utilisateurs qui cherchent à optimiser leurs déplacements. Ces usagers raisonnent de façon individuelle en fonction de ces contraintes personnelles et sans forcément tenir compte des autres. Chaque usager dispose d'un choix modal qui lui est propre : possession d'un véhicule personnel pour certains, accès à un réseau de transport public, possibilité de mobilité douce (marche, vélo), etc. L'ensemble forme donc un système complexe à modéliser avec un aspect social extrêmement prégnant. Dans une simulation globale d'un système de transport, l'idée est donc d'adresser le VRP sur un sous ensembles des usagés, ceux touchés par la mise en place d'un nouveau service donnée (covoiturage, livraison du dernier kilomètre, véhicule en auto-partage...). L'approche originale proposée s'appuie alors sur des processus d'optimisation distribués sur chacun des usagés du service.

Dans le cadre de ce travail, nous proposons d'explorer l'interaction entre une simulation multi-agent (une thématique de l'Intelligence Artificielle) et l'optimisation combinatoire (une thématique de la Recherche Opérationnelle). L'objectif de la simulation est de pouvoir reproduire l'ensemble de l'offre de transport d'un

territoire et ses usagers, et ainsi faire émerger les dynamiques qui découlent de leurs interactions. Cependant une distribution d'individus sans coordination dans une simulation, même basée sur des connaissances statistiques du réseau, ne permet pas d'optimiser les flux sur un réseau. S'il est possible de calculer pour chaque agent le chemin le plus rapide dans un contexte donné, il n'y a aucune garantie pour que ce soit optimal à l'échelle d'une population. La simulation Multi-agents offre alors un cadre expérimental à moindres frais pour tester la mise en œuvre d'infrastructures, de nouveaux usages, de nouvelles politiques.

Le constat d'une dichotomie entre optimisation individuelle et collective s'applique aussi à un sous-groupe d'individus ayant des objectifs communs notamment à travers l'usage de services partagé. Cependant dans ce cadre, l'apport du numérique aide à adopter des comportements individuellement sous-optimaux mais au bénéfice du groupe (par exemple, se dérouter pour prendre un covoitureur). Les mécanismes d'optimisation des comportements, ou ici essentiellement des déplacements dans le réseau, doivent alors être 'ouverts' pour permettre des réactions appropriées à la survenue d'événements et concertés avec les autres membres d'un même réseaux. De plus en plus, la coordination s'effectue à travers l'adoption de nouveaux comportements de déplacement, poussés par les nouvelles technologies (re-planification en chemin en fonction de la congestion du réseau, covoiturage, adoption de comportement multimodal, uberisation ...).

L'idée est alors d'étudier les possibilités de coordination offertes par ces nouveaux usages en considérant une optimisation des comportements aidés par le numérique. Les approches visées dans le cadre de cette thèse s'appuient sur les mécanismes d'allocation de ressources et de tâches à réaliser et se focalisent 1) sur l'adoption d'algorithmes de planification frugaux pour des réponses rapides à des changements de contexte et 2) sur l'intégration de l'incertitude dans les modèles pour anticiper les événements à venir.

Planning et localisation des travaux envisagés

		Année 1				Année 2				Année 3			
État de l'art	Bibliographie sur les simulation multi-agent de mobilité												
	Bibliographie sur le VRP												
	Bibliographie sur les synergies entre optimisation et simulation												
Développement	Résolution du VRP sous incertitudes												
	Modèle de coordination multi-agent pour la tournée de véhicule												
	Modélisation d'un cas d'étude réel												
Expérimentation	Évaluation des nouvelles approches proposées sur le cas d'étude												

Contacts :

Arnaud Doniec
Guillaume Lozenguez
Flavien Lucas

arnaud.doniec@imt-nord-europe.fr
guillaume.lozenguez@imt-nord-europe.fr
flavien.lucas@imt-nord-europe.fr

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae,
- Notes de Master,
- Lettre de recommandation.

Références :

1. Flavien Lucas, Résolution de problèmes réalistes de tournées à flotte hétérogène en milieu urbain : vers un solveur adaptatif mêlant recherche opérationnelle et apprentissage automatique, Thèse de doctorat en informatique, École doctorale Mathématiques et sciences et technologies de l'information.
2. Azise Oumar Diallo, Simulation multi-agents de politiques d'intermodalité urbaines et péri-urbaines, Thèse de doctorat en informatique, Ecole doctorale MADIS
3. Lian, Y., Lucas, F., Sørensen, K. (2022). The On-Demand Bus Routing Problem with Real-Time Traffic Information.
4. Lian, Y., Lucas, F., Sørensen, K. (2022). On-Demand Bus Routing Problem with Dynamic Stochastic Requests and Prepositioning.
5. Diallo, A-O., Doniec, A., Lozenguez, G, Mandiau R. (2021) Agent-based simulation from anonymized data: An application to Lille metropolis. Procedia Computer Science
6. Jourdan, P., Lozenguez, G., Fabresse, L., Bouraqadi N. (2021). Towards a distributed planning of decision making under uncertainty for a fleet of robots. Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing