

ANALYSE ET MODÉLISATION MULTI-AGENTS DE TRANSPORTS FLEXIBLES

Comparaison de services français et sénégalais

par Adrien Lammoglia

UMR 7324 CITERES – LAT,

BP 60449, 37204 Tours Cedex 3

lammoglia.adrien@gmail.com

L'objet premier de cette thèse est la comparaison de systèmes de transport inspirés de services français et sénégalais. Je me suis notamment intéressé au rôle que pouvait jouer la flexibilité dans le fonctionnement des services. En France, les nouveaux systèmes tentent d'intégrer la flexibilité dans leur mode de fonctionnement pour se rapprocher de la souplesse de l'automobile et donc la concurrencer. Au Sénégal, la flexibilité est une propriété intrinsèque de la majeure partie des services, car elle offre des capacités d'adaptation au rythme de vie des populations, aux contraintes spatiales et aux aléas économiques. Cette étude comparative est donc focalisée sur les principes de fonctionnement des services, notamment ceux intégrant une grande souplesse. D'un point de vue méthodologique, la recherche est basée sur un ensemble de modèles inspirés de systèmes de transport observés en France et au Sénégal, puis implémentés en Systèmes Multi-Agents dans l'environnement NetLogo. Certains sont issus d'une analyse fonctionnelle de terrain et d'autres sont plus théoriques. Par l'analyse du comportement d'agents réalisant ces services en concurrence ou coopération, j'ai pu identifier des seuils et des conditions de mise en œuvre des services en termes d'efficacité et de couverture spatiale. Grâce à la confrontation des modèles par la simulation, la recherche apporte des éléments de compréhension sur les services auto-organisés au Sénégal. Elle montre également les forces et les faiblesses des systèmes de transport flexibles français. Finalement, la thèse a permis de proposer des pistes d'intégration des services flexibles dans les systèmes de mobilité français et sénégalais.

Introduction

Organiser le secteur du transport pour offrir des solutions de déplacement efficaces est un enjeu capital pour nos sociétés. La flexibilité, tendant à augmenter la qualité de service, constitue un des leviers pour améliorer les transports (Josselin et Genre-Grandpierre, 2005). Cependant, diverses formes de flexibilité apparaissent dans l'offre actuelle. La particularité de cette thèse est d'appréhender les services flexibles dans deux contextes sociétaux distincts. D'une part, dans un pays industrialisé (la France) où le recours aux transports publics reste minoritaire car la dépendance à l'automobile est toujours très forte (Dupuy, 2006). D'autre part, dans un pays en voie de développement (le Sénégal) possédant des moyens financiers limités, mais où l'usage des transports collectifs est généralisé, impliquant une grande diversité des modes et une atomisation de l'offre (Godard, 2002).

L'objectif premier de la thèse a été d'analyser ces services, les modéliser et les simuler à l'aide de Systèmes Multi-Agents (SMA) (Ferber et Perrot, 1995) afin d'évaluer les apports de la flexibilité aux transports

dans ces deux types de sociétés. Dans une première partie j'ai fourni un état de l'art exhaustif sur l'offre de transport en France et au Sénégal. Les différents services observés ont été regroupés et classifiés selon quatre niveaux de flexibilité. Dans une seconde partie j'ai présenté les fondements méthodologiques de la thèse, à savoir le paradigme de la complexité, la systémique et la modélisation multi-agents. J'ai également expliqué le fonctionnement du simulateur implémenté durant la thèse. Enfin, la troisième partie a été dédiée à l'exploration des modèles et à la recherche des seuils d'efficacité des systèmes de transport. Dans cet article je livre une synthèse des trois parties, ainsi que les conclusions majeures de ma thèse.

L'offre de transport en France et au Sénégal

L'étude a montré qu'en France la plupart des services sont réguliers et que le transport flexible n'est qu'un préambule de son développement. En effet, le Transport A la Demande (TAD), que nous considérons comme le seul véritable service de transport flexible

collectif, est jusqu'à présent relativement peu souple, rarement optimisé et donc sous utilisé. Il apparaît alors indispensable de développer des systèmes beaucoup plus dynamiques pour positionner ce mode de transport comme un concurrent sérieux à l'automobile. En parallèle, les opérateurs de taxis qui proposent certainement le service le plus souple, se limitent à un service individuel et relativement onéreux.

Au Sénégal, l'offre est beaucoup plus variée et j'ai pu observer des modes de fonctionnement plus ou moins flexibles dans la majorité des services (excepté le service de bus Dakar Dem Dikk). Par exemple, il existe à Dakar différentes formes de taxis très fréquentés, dont le fonctionnement est réellement flexible. Il s'agit des taxis « clandos » (clandestins), qui constituent un service collectif avec des tournées et des horaires adaptés aux zones de desserte et aux besoins des clients (Lammoglia, Josselin et Faye, 2012). Je pense également aux taxis légaux jaunes et noirs, aux tarifs relativement abordables (en comparaison avec les taxis français) et aux taxis de la société de transport SOTRAM, qui s'adressent à une population plus aisée, mais qui offrent en retour un vrai service de transport à la demande avec réservation. L'étude approfondie de l'offre de transport en France et au Sénégal m'a permis, in fine, d'établir une classification des services, exposée dans le tableau suivant.

Elisation multi-agents de systèmes de transport

Dans une seconde partie, j'ai montré qu'il était pertinent de considérer les services de transport, et notamment les services souples et spontanés, comme des systèmes complexes. En effet, dans un système de mobilité (meta-système), nous pouvons observer trois sous-systèmes en interdépendance et opérant à différentes échelles : (I) la demande de mobilité, (II) l'offre de transport et (III) l'autorité organisatrice de transport. C'est pourquoi j'ai choisi d'inscrire mes travaux dans le paradigme de la complexité et de m'appuyer sur un ensemble de théories fournies par l'approche systémique.

Pour simuler les différents transports flexibles, j'ai eu recours à la modélisation multi-agents et à l'environnement NetLogo. J'ai implémenté le Trans-Cultural Transport Simulator (TCTS) qui se situe au cœur de la recherche. Le méta-modèle, basé sur l'agent, regroupe 13 modèles dynamiques inspirés de la réalité et plus ou moins flexibles (Fig. 1). Chaque modèle a été simulé sur une variété de configurations spatiales, certaines purement théoriques et d'autres plus réalistes. Enfin, les simulations ont été analysées en temps réel sur l'interface de simulation et grâce à des exportations de données issues de la base.

1 Les modèles mixtes sont constitués de deux modèles indépendants, fonctionnant en simultané sur un même territoire

Exploration et confrontation des modèles

En troisième partie, j'ai d'abord exploré les performances de chaque modèle et leur sensibilité aux conditions initiales de simulation (Lammoglia, Josselin et Marilleau, 2015). J'ai pu constater que certains paramètres tels que la densité de clients présents sur le territoire (en rapport avec le nombre de véhicules opérant) et la configuration des espaces virtuels (rapport entre le nombre de stations et de destinations, forme du réseau, zone de densité, etc.) jouaient un rôle majeur sur le fonctionnement des systèmes. Aussi, la faible capacité d'interaction des agents de certains modèles, comme le bus, entraînait des performances médiocres. Au contraire, les modèles faisant intervenir des capacités d'interaction, voire de communication, affichaient des performances améliorées.

J'ai alors sélectionné les trois modèles les plus intéressants, en fonction de leur mode de fonctionnement et leurs performances. Il s'agit (I) des taxis collectifs, qui ont pour particularité d'attendre que le véhicule soit rempli pour entamer une tournée ; (II) du TAD dynamique qui intègre un mode de communication entre les véhicules et les clients (Lammoglia et Josselin, 2013) et (III) des taxis coopératifs (Lammoglia, Faye et Josselin, 2012). Les trois services ont été analysés en profondeur afin de fournir une typologie détaillée (Fig. 2). Il a été révélé que la communication entre les clients et les véhicules du TAD dynamique entraîne des performances étendues, notamment une bonne stabilité en termes de desserte et une bonne qualité de service. Le principe de coopération entre les taxis offre quant à lui un service relativement efficace à la fois pour la couverture géographique, la qualité de service et la rentabilité du service. En revanche, ce modèle affiche une faible capacité de montée en charge. Enfin, le taxi collectif se démarque très largement par une très bonne rentabilité du service, tout en affichant une faible qualité de service. Nous nous sommes aperçus que le fait d'éviter de rouler à vide et de sélectionner des clients ayant une destination commune permettait d'améliorer significativement la rentabilité.

Enfin, le dernier chapitre a été dédié à la confrontation des systèmes et à l'analyse du potentiel de complémentarité des modèles. J'ai observé des résultats très divergents pour cinq modèles mixtes¹. Par exemple, le modèle faisant intervenir les deux services les plus flexibles (taxis coopératifs et TAD dynamique) présente de bons résultats, mais il laisse apparaître une certaine concurrence entre les véhicules, ce qui a une conséquence néfaste sur la rentabilité des services. À l'inverse, le modèle combinant le TAD dynamique et

Niveau 0	France	Sénégal
- systèmes opérant sur des lignes régulières : transport de masse - arrêts et horaires de passages fixes - capacité d'adaptation sur le temps long uniquement (i. e. ajustement d'un service à l'année)	- Autobus - TCSP - Métro	- Bus Dakar Dem Dikk - Minibus AFTU
Niveau 1	France	Sénégal
- systèmes opérant sur des lignes régulières : ils bénéficient alors du fort regroupement des clients (rentabilité) - s'autorisent néanmoins des détours et des modifications ponctuels : possibilité de s'adapter relativement facilement à la demande de mobilité - horaires et arrêts indéterminés	TAD à déclenchement sur lignes régulières	- « cars rapides » - Minibus Ndiaga Ndiaye
Niveau 2	France	Sénégal
- pas d'itinéraires fixes - arrêts plus ou moins fixes et horaires déterminés par la demande des clients - couverture spatiale étendue et forte capacité d'adaptation	TAD optimisé (centrale de réservation)	Taxis collectifs
Niveau 3	France	Sénégal
- pas d'itinéraires fixes - arrêts et horaires entièrement déterminés dynamiquement par la demande des clients - couverture spatiale et capacité d'adaptation maximales	- TAD dynamique (Modulobus) - Opérateurs de taxis	- Taxis jaunes et noirs - Taxis de la SOTRAM

Tableau 1: L'offre de transport française et sénégalaise regroupée en quatre niveaux de flexibilité.

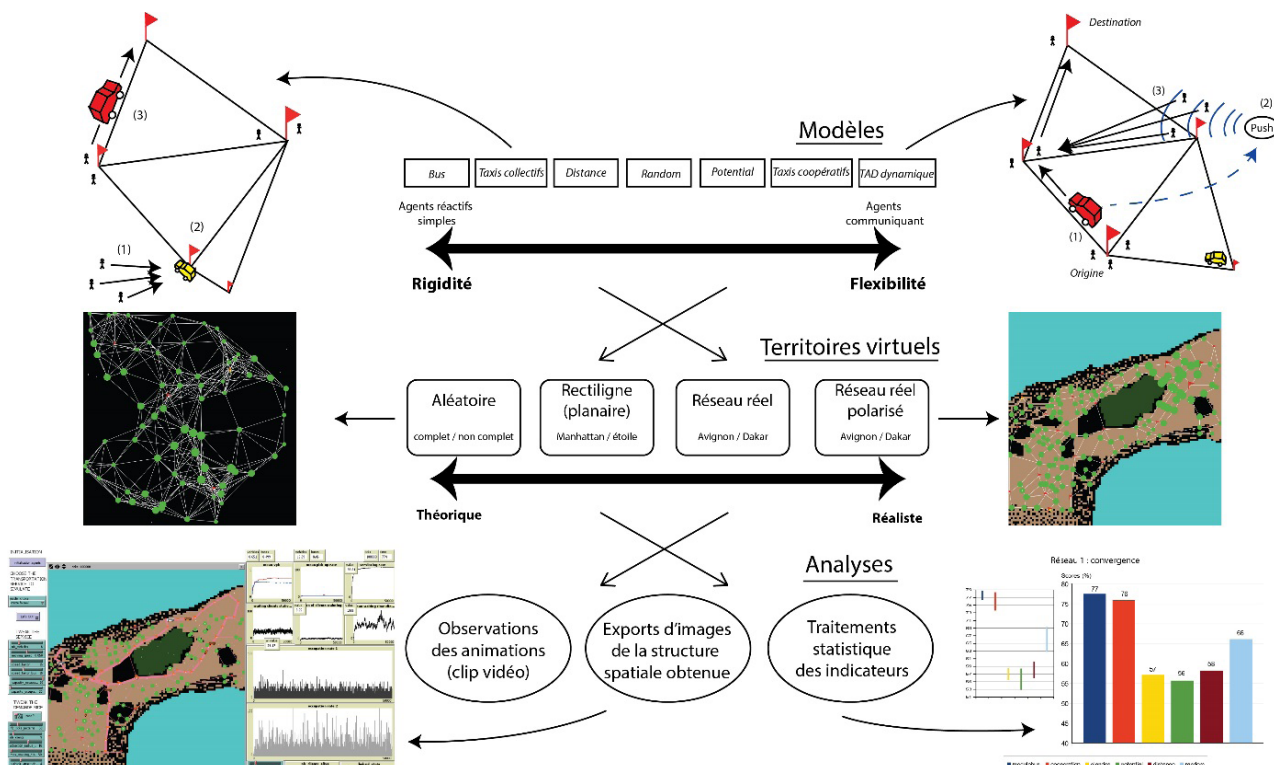


Figure 1 : Les composantes du Trans-Cultural Transport Simulator

les taxis collectifs offre un service relativement stable et performant sur l'ensemble des indicateurs. Au vu des différents résultats, j'ai conclu que ces deux modèles étaient les plus complémentaires. Cela a d'ailleurs été vérifié en simulant un modèle hybride. Ce dernier modèle permet de trouver un compromis entre les spécificités des trois modèles, en les faisant intervenir graduellement en fonction de l'évolution de la demande de mobilité.

Conclusion

Pour conclure, j'ai pu montrer que le TCTS est un outil pertinent pour analyser des systèmes de transport flexibles, fonctionnant dans différents types de contexte socioculturel. Implémenté dans un environnement relativement facile d'accès (NetLogo), il permet d'explorer et de comparer le fonctionnement de services basés sur l'auto-organisation et l'auto-adaptation. N'existant pas à notre connaissance d'outil similaire, cela constitue une contribution importante de la thèse. L'enjeu est d'apporter des connaissances sur le fonctionnement de services dits artisanaux ou informels, dans des pays en voie de développement. En effet, les données concernant leur mode d'opération sont souvent rares, car difficiles à obtenir. Cette thèse a montré qu'en étudiant les pratiques des chauffeurs

il était possible de modéliser le fonctionnement des services. Ces modèles permettent, dans un premier temps, de réfléchir à l'importance des choix décisionnels des acteurs et d'analyser l'impact des services sur un système de mobilité à l'échelle d'un territoire.

L'étude a aussi révélé que les différentes formes d'interaction avaient un impact majeur sur le fonctionnement des services et que leur efficacité variait beaucoup d'un modèle à l'autre. J'en conclus que les SMA sont des outils pertinents pour inventer de nouveaux types de transports flexibles, notamment des services qui s'adaptent dynamiquement à la demande. Grâce à l'aspect exploratoire de l'approche, il est possible de réfléchir tout au long du processus de modélisation aux leviers permettant d'optimiser les systèmes. Le principal levier que j'ai pu identifier est la communication entre les clients et les véhicules. Je pense qu'il serait possible d'aller plus loin en intégrant, des capacités de coopération approfondies, voire d'apprentissage, ou bien même de faire intervenir un agent régulateur qui constituerait un intermédiaire entre les différents types d'agents. Cela permettrait de démultiplier les formes d'interaction, d'enrichir l'information transmise et potentiellement d'améliorer les performances des systèmes de transport.

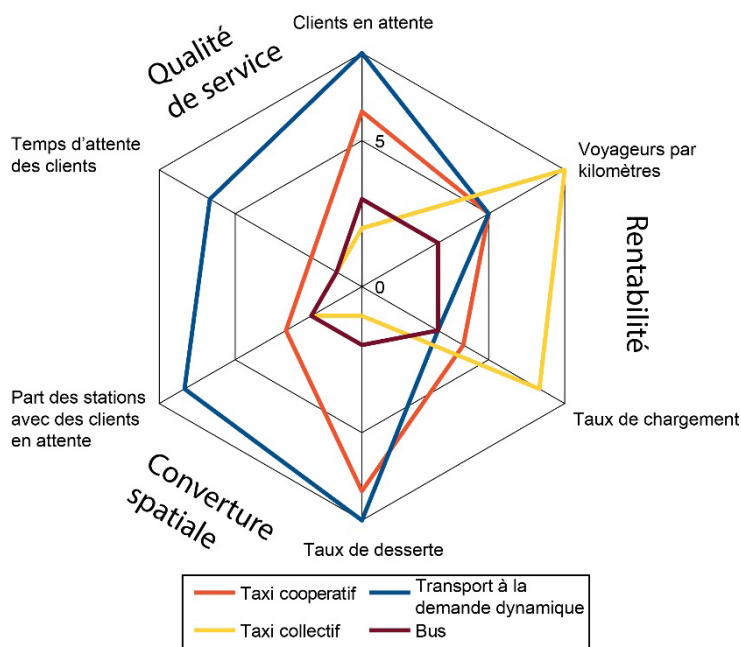


Figure 2 : Analyse de services de transport.

Bibliographie

- Dupuy G.**, 2006, *La dépendance à l'égard de l'automobile*, La documentation française, (le point sur), 93 p.
- Ferber J., Perrot J.F.**, 1995, *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEditions Paris, 522 p.
- Godard X.**, 2002, *Les transports et la ville en Afrique au sud du Sahara : le temps de la débrouille et du désordre inventif*, Karthala Editions.
- Josselin D., Genre-Grandpierre C.**, 2005, *Des transports à la demande pour répondre aux nouvelles formes de mobilité. Le concept de Modulobus*, dans *Mobilités et temporalités*, Publications des Fac. St Louis, p. 151-164.
- Lammoglia A., Faye R.M., Josselin D.**, 2012, *A dynamic cooperation modelling for improving taxi fleet efficiency*, AGILE, 12.
- Lammoglia A., Josselin D.**, 2013, *Simulation multi-agents d'un transport la demande dynamique, l'exemple du Modulobus*, Simulation pour des mobilités durables.
- Lammoglia A., Josselin D., Faye R.M.**, 2012, *Les taxis clandos à Dakar : quel avenir pour ces transports à la demande (TAD) urbain*, The role of urban mobility in (re)shaping cities.
- Lammoglia A., Josselin D., Marilleau N.**, 2015, *Some propositions to find optimal conditions to simulate a flexible transport using an Agent-Based Model*, Cybergeog : European Journal of Geography.