



HAL
open science

Dynamic traffic assignment for multi-regional transportation systems considering different kinds of users' behavior

Sérgio Filipe S. F. A. Batista

► **To cite this version:**

Sérgio Filipe S. F. A. Batista. Dynamic traffic assignment for multi-regional transportation systems considering different kinds of users' behavior. Infrastructures de transport. Université de Lyon, 2018. English. NNT: 2018LYSET009 . tel-02366532

HAL Id: tel-02366532

<https://theses.hal.science/tel-02366532v1>

Submitted on 16 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N°d'ordre NNT : 2018LYSET009

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
opérée au sein de
École Nationale des Travaux Publics de l'État

École Doctorale N° 162
MEGA (Mécanique, Énergie, Génie Civil et Acoustique)

Spécialité / discipline de doctorat : Génie Civil

Soutenue publiquement à l'ENTPE le 15/11/2018, par :
Sérgio Filipe Assunção Batista

**Affectation dynamique des usagers sur
les grands réseaux des transports
considérant différents types de
comportements des usagers**

Résumé étendu

Devant le jury composé de :

Jorge LAVAL
Francesco VITI
Kay AXHAUSEN
Margarida COELHO
Christine SOLNON
Ludovic LECLERCQ

Professeur (Georgia Tech)
Professeur (Université du Luxembourg)
Professeur (ETH, Zürich)
Professeure (Université d'Aveiro)
Professeure (INSA, Université de Lyon)
Directeur de Recherche (IFSTTAR, Univ.
Lyon)

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examinatrice
Présidente du jury
Directeur de thèse

Résumé

La croissance démographique dans les zones urbaines représente un problème pour la planification des transports. La surcharge des systèmes de transport urbains entraîne des coûts monétaires importants et des problèmes environnementaux. Des mesures politiques sont alors nécessaires pour réduire le niveau de congestion et accroître l'efficacité des systèmes de transport. À court terme, les simulateurs de trafic pourraient constituer un outil puissant pour la conception de solutions innovantes. Mais les simulateurs de trafic classiques sont exigeants sur le plan informatique pour les applications à grande échelle. De plus, la mise en place du scénario de simulation est complexe. Une modélisation de trafic agrégée pourrait être une bonne solution (Daganzo, 2007 ; Geroliminis et Daganzo, 2008). Le réseau routier des villes est divisé en régions, où un diagramme fondamental macroscopique bien défini (MFD) régule les conditions de circulation à l'intérieur de chacune. Le MFD concerne le débit et la densité de trafic moyens dans une région. Bien que l'idée d'agréger le réseau de la ville soit simple, il soulève plusieurs défis qui n'ont pas encore été abordés. Jusqu'à aujourd'hui, seuls Yildirimoglu et Geroliminis (2014) proposent un cadre d'affectation dynamique du trafic pour les réseaux régionaux et les modèles MFD. Ce cadre est basé sur le modèle Logit multinomial et ne traite pas explicitement des distributions de longueurs de parcours. De plus, leur structure ne considère pas que les utilisateurs sont différents les uns des autres et ont des objectifs et des préférences différents pour leurs voyages.

L'objectif de cette thèse est double. Tout d'abord, l'influence du comportement des utilisateurs sur la performance globale du réseau routier d'une ville est étudiée. Cette analyse se concentre sur la vitesse moyenne du réseau et ses capacités internes et de sortie, en comparant différents modèles tenant compte des différents types de comportement des utilisateurs par rapport à l'équilibre utilisateur déterministe et stochastique. En second lieu, un cadre innovant et complet d'affectation dynamique du trafic pour les modèles multirégionaux basés sur le MFD est proposé. Ce cadre est divisé en plusieurs étapes et repose sur les connexions entre la ville et les réseaux régionaux. Dans un premier temps, des méthodes systématiques de mise à l'échelle sont proposées pour rassembler les voies régionales. Dans un deuxième temps, quatre méthodes sont discutées pour calculer les distributions de longueurs de parcours pour caractériser ces chemins régionaux. Dans la troisième étape, un modèle de chargement de réseau qui considère les distributions de longueurs de parcours explicitement calculées et l'évolution des vitesses moyennes régionales est proposé. Enfin, ce cadre d'affectation dynamique du trafic est étendu pour prendre en compte les usagers qui ont une aversion au regret ou une rationalité imparfaite. Cette thèse

Résumé de Thèse de Doctorat de Sérgio Batista

Affectation dynamique des usagers sur les grands réseaux des transports considérant différents types de comportements des usagers

s'inscrit dans le cadre d'un projet européen ERC intitulé MAGnUM : approche de modélisation du trafic multi-échelle et multimodal pour la gestion durable de la mobilité urbaine.

Cette thèse a été financée par la région Auvergne-Rhône-Alpes sur le programme ARC7 et aussi par le projet européen ERC intitulé MAGnUM (grant agreement No 646592) sur le programme de l'Union Européenne Horizon 2020. Pendant la thèse, S. F. A. Batista a aussi eu une bourse de l'aide à la mobilité internationale de l'Université de Lyon et il a été financé par le programme Avenir pour son séjour à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse.

Sommaire

	Page
Chapitre 1 : Introduction Générale.....	5
Chapitre 2 : Revue de littérature.....	8
Chapitre 3 : L'influence du comportement d'aversion au risque des usagers sur la performance d'un réseau routier.....	12
Chapitre 4 : Les effets de la rationalité limitée des usagers sur la performance d'un réseau routier.....	13
Chapitre 5 : La définition des chemins régionaux pour des applications à la grande échelle.....	14
Chapitre 6 : Estimation des longueurs de parcours pour des applications des modèles agrégés du trafic.....	15
Chapitre 7 : Un cadre d'attribution de trafic dynamique pour les réseaux multirégionaux MFD.....	16
Chapitre 8 : Conclusions.....	17
Références.....	19

Chapitre 1 : Introduction Générale

Le concept de la modélisation macroscopique du trafic a été introduit par les travaux originaux de *Godfrey (1967)*. Mais, ces idées ont suscité de la communauté scientifique internationale après les travaux de *Daganzo (2007)* et *Geroliminis & Daganzo (2008)*. Ce type de simulation suppose l'existence d'un Diagramme Fondamental du Trafic (MFD qui vient de l'anglais, Macroscopic Fundamental Diagram). Il est défini par une relation entre le flux moyen, q (*#vehicules/s*), et la densité, k (*#vehicules/km*), des véhicules circulant dans une zone ou réservoir. Son existence a été montrée avec des données réelles de la ville de Yokohama (Japon) par *Geroliminis & Daganzo (2008)*. Le MFD est un outil fondamental, car il décrit les différents états du trafic dans une zone ou réservoir. Il assume l'existence d'une variable d'état : l'accumulation, $n(t)$ (*#vehicules*). Cela est une propriété intrinsèque de la zone ou réservoir, car il ne dépend pas de la demande. À partir de la Théorie du Trafic, il est possible de décrire la fonction MFD, par un changement des variables, comme une relation entre : (i) la production des trajets, $P(n)$ (*#vehicules.m/s*), et l'accumulation, n (*#vehicules*); la vitesse moyenne, $v(n)$ (*m/s*), et l'accumulation, n (*#vehicules*). La production, $P(n)$, est définie comme le flux moyen dans un réservoir multiplié par la longueur totale du réseau.

L'accumulation, $n(t)$, décrit le nombre des véhicules qui circulent dans une zone ou réservoir au cours du temps. L'évolution de l'accumulation au cours du temps est définie par le bilan entre le flux entrant et sortant dans un seul réservoir :

$$\frac{dn}{dt} = f(t) - g(t), t > 0$$

où $f(t)$ (*#vehicules/km*) représente la fonction du flux entrant ; et $g(t)$ (*#vehicules/km*) représente la fonction du flux sortant. En fonction des hypothèses de base sur la fonction de sortie $g(t)$, on peut avoir deux approches de modélisation différentes basées sur: (i) l'accumulation (*Daganzo, 2007*) ; ou (ii) sur les voyages individuels (*Arnott, 2013; Mariotte & Leclercq (2017)*).

Daganzo (2007) suppose que le flux de sortie, $g(t)$, dépend de l'accumulation des véhicules dans le réservoir ; et est proportionnel à la longueur moyenne des trajets des véhicules dans un réservoir :

$$g(t) \approx \frac{P(n(t))}{\bar{L}}$$

où \bar{L} (m) est la longueur moyenne de tous les véhicules qui voyagent dans le réservoir en question. À noter que $P(n(t))$ est déterminé par la dynamique du MFD. Ce modèle a deux limitations importantes : (i) l'hypothèse sur une longueur moyenne pour tous les véhicules qui circulent dans un réservoir, qui n'est pas du tout réaliste ; et (ii) le modèle a des problèmes à gérer des grandes variations de la demande sur des courtes périodes de temps. La limitation (ii) a été mise en évidence par *Mariotte et al. (2016)*.

Arnott (2013) a proposé une formulation alternative où la dynamique de chaque réservoir est décrite par les longueurs des voyages individuels de chaque véhicule :

$$L = \int_{t-T(t)}^t V(n(s)) ds$$

d'où il est possible de définir la dépendance de la fonction de sortie, $g(t)$ (*Mariotte & Leclercq, 2017*) :

$$g(t) = f(t - T(t)) \frac{V(n(t))}{V(n(t - T(t)))}$$

où $T(t)$ représente le temps de trajet d'un véhicule sortant à l'instant t . La résolution numérique de ce modèle est décrite par *Mariotte & Leclercq (2017)*. Cette approche de modélisation macroscopique est plus réaliste car elle considère des longueurs de parcours des véhicules individuels. Mais cela augmente la complexité computationnelle demandée. En outre, c'est un modèle basé sur l'utilisateur.

Cette thèse répond à deux objectifs principaux. Dans la première partie de la thèse, l'influence de différents types de comportement des usagers sur la performance d'un réseau urbain est étudiée. Les tests sont effectués sur réseau de Manhattan. Un modèle mésoscopique Lighthill-Whitham-Richards (LWR) est utilisé pour déterminer des temps de trajet dynamiques, qui prennent en compte des effets de propagation de la congestion. La performance du réseau est évaluée par le Diagramme Fondamental Macroscopique (MFD) et sa capacité de sortie. Dans la deuxième partie de la thèse, un cadre d'affectation dynamique du trafic pour des réseaux multirégionaux à grande échelle et des modèles MFD du trafic est proposé. Ce cadre comprend : (i) la définition de l'ensemble des chemins régionaux ; (ii) la caractérisation des chemins régionaux à travers des distributions des longueurs de parcours ; et (iii) la définition

d'équilibre d'un réseau régional qui prend en compte les distributions des longueurs de parcours et l'évolution des conditions de trafic dans les régions. L'extension de ce cadre d'affectation dynamique du trafic pour les modèles MFD pour prendre en compte des différents types de comportement des usagers est aussi discutée.

Cette thèse est organisée en 8 chapitres, où 6 de ces chapitres sont divisés en deux parties. Le chapitre 1 est l'Introduction générale de la thèse. Le but de la première partie de la thèse est d'évaluer l'influence des différents types de comportement des usagers sur la performance du réseau. Cette première partie est composée de 3 chapitres. Le chapitre 2 présente la revue de littérature des modèles d'affectation du trafic. Le chapitre 3 étudie l'influence du comportement des usagers d'aversion au risque pour le choix d'itinéraires, modélisée par la mise en œuvre de la théorie de la perspective, sur la performance du réseau. Le chapitre 4 étudie l'influence de la rationalité limitée des usagers, compte tenu de leurs préférences pour leurs choix d'itinéraire, sur les performances du réseau et les flux sur les itinéraires individuels. La Section I présente un sommaire des résultats et contributions de la première partie de la thèse. Le but de la deuxième partie de la thèse est de proposer un cadre complet d'affectation dynamique du trafic pour des réseaux multirégionaux à grande échelle et les modèles MFD. Cette deuxième partie est divisée en 3 chapitres. Le chapitre 5 discute des méthodologies pour définir l'ensemble des chemins régionaux. Le chapitre 6 présente un cadre méthodologique pour calculer des distributions de longueurs de parcours dans les régions. Le chapitre 7 propose la mise en œuvre d'un cadre méthodologique pour le calcul de l'équilibre du réseau régional, prenant en compte des distributions des longueurs de parcours et l'évolution des conditions du trafic dans les régions. La Section II discute l'extension de ce cadre d'affectation dynamique pour le trafic pour les modèles MFD et réseaux régionaux pour prendre en compte des usagers qui ont une rationalité limitée et une aversion au regret. Le chapitre 8 présente les conclusions de la thèse, résumant les principales contributions et soulignant les directions de recherche future.

Chapitre 2 : Revue de littérature

Le modèle plus basique qui est appliqué dans la simulation dynamique du trafic est basé sur le premier principe de Wardrop (mentionné sur le point a)), où chaque usager choisit le chemin qui a le temps de parcours minimal. En équilibre, les usagers n'envisagent plus de changer leur choix si leur temps de parcours correspond au minimum. Mais, ce modèle ne considère pas les distributions des temps de trajets. Pour modéliser les distributions des temps de parcours, il y a deux approches qui sont discutées dans la littérature : la théorie d'utilité ; et la logique floue avec la théorie de possibilité. Bien que la logique floue soit discutée dans quelques études, elle n'est pas considérée sur des applications réelles dans le cadre de simulation dynamique du trafic. Par contre, les modèles basés sur la théorie d'utilité sont les plus utilisés. Ces modèles sont basés sur la définition d'une fonction d'utilité perçue par les usagers, U_k :

$$U_k = V_k + \epsilon_k, \forall k \in \Omega_k$$

où U_k est l'utilité que les usagers perçoivent ; V_k représente la partie déterministe de l'utilité qui dépend du temps de trajet de la route k , et des attributs des usagers ; ϵ_k représente le terme d'incertitude sur les temps de trajets. Ce dernier terme est aussi mentionné comme terme d'erreur ou terme stochastique dans la littérature. Le terme Ω_k représente l'ensemble des chemins qui lient l'origine-destination.

Les modèles de la théorie d'utilité se distinguent selon l'hypothèse qui est faite sur le terme d'erreur, ϵ_k . Si les termes d'erreurs sont des variables indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d.) selon une loi de Gumbel, on a le modèle Multinomial Logit (MNL). Le MNL est, avec le modèle de Wardrop, un des plus utilisés dans les simulateurs du trafic à cause de sa simplicité d'implémentation. Bien que le MNL ait une forme fermée (c'est à dire, une formulation explicite) pour les calculs des probabilités, il a deux très fortes limitations. D'un côté, le modèle a des problèmes à prendre en compte les utilités corrélées. C'est à dire qu'il surestime les probabilités des chemins qui sont corrélés et sous-estime les probabilités des chemins indépendants. D'un autre côté, il suppose que le paramètre d'échelle de la loi de Gumbel est défini par l'origine-destination. Pourtant, il suppose que tous les chemins d'une même paire origine-destination ont la même variance de temps de parcours, ce qui n'est pas

réaliste. Pour essayer de résoudre ces limitations, il y a plusieurs modifications qui ont été discutées dans la littérature (e.g., *Prato, 2009*). Récemment, *Fosgerau et al. (2013)* ont proposé le Logit recursive, où le choix est fait au niveau des liens. Si les termes d'erreurs suivent une loi normale multivariée, on a le modèle Multinomial Probit (MNP). D'un point de vue théorique, le MNP est mieux que le MNL, car il considère une formulation flexible de la matrice de variance-covariance. Mais, ce modèle a un coût d'implémentation computationnel vraiment plus élevé que le MNL. Le MNP n'a pas une formulation fermée pour calculer les probabilités. Pourtant, il est nécessaire d'intégrer la loi normale multivariée sur tous les chemins qui lient la paire origine-destination. *Sheffi (1985)* a proposé de résoudre le MNP avec des simulations de Monte Carlo. L'idée est de faire une discrétisation du terme d'erreur au niveau des liens et de résoudre localement des formulations de l'équilibre usager déterministe. Au final, les flux à affecter sur les chemins correspondent à une moyenne pondérée sur tous les tirages des erreurs. La moyenne pondérée est un *proxy* du résultat d'un MNP. Cette approche apporte des avantages, notamment sur le couplage du MNP avec d'autres modèles de la rationalité limitée. Mais, *Nielsen (1997)* a mis en évidence la limitation de cette approche, quand on tronque les temps de trajet négatifs et on obtient une distribution normale asymétrique. Pour éviter ce problème, l'auteur propose de considérer une loi gamma. Comme alternative au MNL, il y a aussi des auteurs qui ont proposé le Logit Mixte ou Logit Hybride (*Bekhor, 2002*). Ce modèle utilise la structure simple du MNL et le terme d'erreur est composé par une combinaison de deux termes : un terme qui est modélisé par une loi de Gumbel ; et un autre qui considère une matrice d'incidence et une loi normale de moyenne nulle et variance unitaire.

Les modèles de la théorie d'utilité ont une forte limitation du point de vue de la modélisation d'un comportement réaliste des usagers face aux choix d'itinéraires. Cette gamme des modèles suppose que les usagers ont une rationalité parfaite et qu'ils ont une connaissance parfaite du réseau et de ses états du trafic. Comme alternative, on a le concept de rationalité limitée qui a été introduit par les travaux originaux de *Simon (1957, 1966, 1990, 1991)*. Il y a plusieurs familles des modèles discutées dans la littérature : la théorie du regret (*Chorus, 2014 ; Li et al. 2016*) ; la théorie des perspectives (*Kahneman & Tversky, 1972 ; Tversky & Kahneman, 1992*) ; la bande d'indifférence (*Han et al. 2015 ; Di et al., 2016*) ; et les niveaux d'aspiration (*Zhao & Huang, 2016 ; Batista et al., 2018*).

La théorie des perspectives (*Kahneman & Tversky, 1972 ; Tversky & Kahneman, 1992*) a été introduite dans le contexte du choix des itinéraires par *Avineri (2004, 2006)*. Cette théorie considère que les usagers ont une aversion au risque d'avoir des retards face à leur choix d'itinéraire. Les différentes alternatives sont évaluées comme des gains et des pertes par rapport à un point de référence. Les usagers ont une aversion au risque face à une perspective des gains ; cherchent le risque face à une perspective des pertes et sont plus sensibles aux pertes qu'aux gains. L'application de cette théorie au choix d'itinéraires reste toujours sur des cas statiques et sur des petits réseaux. Il y a quelques questions qui limitent l'application de la théorie des perspectives au choix d'itinéraires, comme : (a) la calibration appropriée des paramètres d'aversion au risque ; (b) le bon choix d'un point de référence approprié pour mesurer les gains et les pertes ; (c) le calcul des gains et des pertes dans un cas de choix dynamique d'itinéraires ; et (d) le choix de bonne fonction des poids pour avoir une bonne pondération des probabilités des gains et des pertes. *Xu et al. (2011)* et *Ramos et al. (2013)* ont fait des contributions importantes dans l'application de la théorie des perspectives au trafic. Mais, l'application et le calibrage de cette théorie au choix dynamique des usagers restent toujours ouverts.

Les niveaux d'aspiration et le concept de rationalité limitée ont été introduits par les travaux originaux de *Simon (1957, 1966, 1990, 1991)*. L'idée c'est que les usagers sont conduits par niveaux d'aspiration quand ils font ces choix. Ils représentent un vecteur de contraintes qui doivent être satisfaites pour que les usagers soient satisfaits et n'envisagent plus de changer leur choix. *Simon (1957, 1966, 1990, 1991)* a appelé ce comportement de « *satisficing* », qui vient de la concaténation des mots anglais « *satisfy* » et « *suffice* ». La calibration des niveaux d'aspiration est faite à travers une bande d'indifférence qui a été appliquée au trafic par les travaux de *Mahmassani (1987)*. L'idée de la bande d'indifférence c'est que les usagers considèrent un itinéraire comme acceptable, si son temps de trajet est dans une bande mesurée par rapport au temps de trajet minimal. Le formalisme mathématique de la bande d'indifférence est décrit sur la forme d'un point fixe par *Han et al. (2015)*. *Di et al. (2014)* ont aussi étudié l'unicité de la solution d'équilibre obtenue par ce modèle et proposent des méthodes pour obtenir des équilibres de rationalité limitée uniques, avec la bande d'indifférence. Une des limitations de l'application des modèles de la rationalité limitée est la non unicité de la solution de l'équilibre du réseau. À cause de cette limitation, *Zhao & Huang (2016)* ont considéré que les usagers ont un ordre strict des préférences pour faire leur choix.

Résumé de Thèse de Doctorat de Sérgio Batista

Affectation dynamique des usagers sur les grands réseaux des transports considérant différents types de comportements des usagers

Et, ils ont présenté la formulation du modèle sous la forme d'un problème d'optimisation. Celle-ci présente un défi pour son application au niveau dynamique. De plus, le modèle dépend fortement de l'ordre strict des préférences des usagers.

La théorie du regret (*Chorus, 2014*) essaye de modéliser l'aversion au regret des usagers. C'est à dire, les usagers veulent minimiser leur regret par rapport aux chemins qui ne sont pas utilisés. Pourtant, les usagers seront contents si leur choix correspond à un chemin qui a un temps de trajet inférieur aux autres qui ne sont pas utilisés. *Li et al. (2016)* ont décrit l'application de la théorie du regret sur la formulation du point fixe et l'ont testée dans un contexte du choix d'itinéraires statiques. Pour modéliser la stochasticité, les auteurs ont considéré le modèle MNL. Un cas d'application de ce modèle à un contexte dynamique du trafic reste toujours ouvert.

Chapitre 3 : L'influence du comportement d'aversion au risque des usagers sur la performance d'un réseau routier

Dans ce chapitre, nous examinons la réponse du réseau routier aux choix des itinéraires des usagers, quand ils ont un comportement d'aversion au risque. Pour cela, nous considérons l'application de la théorie des perspectives pour modéliser les choix des usagers et un modèle mésoscopique de Lighthill-Whitham-Richards (LWR) du trafic. Pour les tests, nous considérons un réseau routier du type de Manhattan. Nous analysons la performance du réseau en termes de sa capacité interne et de flux de sortie, ainsi que de sa vitesse moyenne interne, par rapport à des modèles de choix d'itinéraire plus classiques comme l'équilibre déterministe et stochastique de l'utilisateur (DUE et SUE). Dans un contexte de réseau avec peu d'alternatives, nous montrons que les capacités internes et de sortie du réseau ainsi que la vitesse moyenne interne augmentent par rapport au SUE. Le comportement d'aversion au risque et un comportement de rationalité parfaite des usagers démontrent des résultats agrégés de performance du réseau similaires. De plus, les flux sur les itinéraires sur les conditions de l'équilibre d'aversion au risque sont très similaires à ceux sur des conditions du DUE et SUE.

Chapitre 4 : Les effets de la rationalité limitée des usagers sur la performance d'un réseau routier

Dans ce chapitre, nous revenons sur le principe de la rationalité limitée appliqué à l'affectation dynamique du trafic pour évaluer ses influences sur la performance du réseau. Nous étudions l'influence du comportement de rationalité limitée des usagers sur : (i) les flux sur les itinéraires à l'équilibre du réseau ; et (ii) la performance du réseau routier en termes de sa capacité interne, d'entrée et de sortie. Pour le calcul de l'équilibre, nous proposons un cadre méthodologique qui est basé sur des simulations de Monte Carlo pour prendre en compte l'incertitude sur les temps de trajet. Le comportement de rationalité limitée des usagers est lié à ces préférences strictes ou au cas où les usagers n'ont pas de préférence. On considère un simulateur mésoscopique Lighthill-Whitham-Richards (LWR) du trafic pour calculer des temps de trajets dynamiques qui prennent en compte des effets de propagation de la congestion et des ondes de choc. L'équilibre du réseau est calculé à l'aide de la méthode des moyennes successives. À titre de référence, les résultats sont comparés à la fois par l'équilibre utilisateur déterministe et stochastique (DUE et SUE). Les tests dynamiques sont faits dans un réseau routier du type de Manhattan. On montre que quand l'indifférence des usagers par rapport à ses leurs d'itinéraires augmente, la capacité interne et entrante diminue, ainsi que la capacité de sortie. Nous testons également le cadre sur un réseau de jouets Braess pour mieux comprendre les changements dans les flux de route à l'équilibre pour les ordres de recherche et les valeurs croissantes des niveaux d'aspiration.

Chapitre 5 : La définition des chemins régionaux pour des applications à grande échelle

Jusqu'à présent, peu d'attention a été accordée à la construction d'un cadre d'affectation dynamique du trafic pour les modèles MFD. La première étape consiste à identifier les chemins régionaux pour définir l'ensemble des chemins. L'objectif de ce chapitre est de proposer trois méthodes pour rassembler les chemins régionaux. Deux de ces méthodes reposent sur un ensemble de déplacements dans le réseau routier microscopique et sur son partitionnement. Ils sont basés sur une recherche exhaustive dans le réseau routier microscopique et sont définis comme les méthodes de référence. L'autre méthode est basée sur les K-chemins les plus courts calculés directement dans le réseau régional. Les trois méthodes sont testées sur le réseau du 6^{ème} arrondissement de Lyon (France). Nous montrons que les méthodes de référence nécessitent une grande taille de l'ensemble des déplacements. Cela prend beaucoup de temps pour les réseaux routiers des grandes villes, comme à l'échelle de la métropole de Lyon, et nous proposons une méthode alternative. Nous montrons que cette méthode donne un ensemble de chemins régionaux avec un haut niveau de similarité par rapport aux méthodes de référence. Elle est également capable de trouver dans environ 80% des cas, le chemin régional le plus significatif pour chaque paire Origine-Destination régionale, par rapport aux méthodes de référence. Mais, elle ne répertorie que les chemins régionaux dans environ 50% des cas, lorsque l'on considère un critère de similarité strict par rapport aux méthodes de référence.

Chapitre 6 : Estimation des longueurs de parcours pour des applications des modèles agrégés du trafic

L'un des ingrédients clés des modèles de trafic basés sur les MFD est la définition des longueurs de parcours à l'intérieur des régions. Dans ce chapitre, nous proposons quatre méthodes pour estimer des distributions des longueurs de parcours sur la base d'un ensemble des déplacements sur le réseau routier microscopique ainsi que sur son partitionnement. Ces méthodes diffèrent les unes des autres en fonction du niveau de détail que nous envisageons de filtrer les déplacements à l'intérieur de chaque région. C'est-à-dire: (i) aucune information sur l'origine et la destination régionales des déplacements; (ii) la région suivante à parcourir pour les déplacements; (iii) les régions précédentes et suivantes parcourues par les déplacements; et (iv) le chemin régional associé défini par chaque déplacement. Nous testons les quatre méthodes sur le réseau du 6^{ème} arrondissement de Lyon (France).

Nous montrons d'abord que considérer une seule longueur moyenne de parcours dans la même région n'est pas représentatif de toutes les longueurs de trajets régionaux plausibles calculées par des méthodes plus raffinées. Nous proposons une procédure pour mettre à jour les longueurs de parcours lorsque qu'une nouvelle matrice d'origine-destination régionale est envisagée. Nous montrons aussi que la définition des longueurs de parcours influence la dynamique du trafic dans les régions. Nous montrons aussi que les longueurs de parcours sont influencées par les états du trafic dans les régions et soulignons qu'elles doivent être mises à jour en conséquence.

Chapitre 7 : Un cadre d'attribution de trafic dynamique pour les réseaux multirégionaux MFD

Dans ce chapitre, nous proposons la mise en œuvre d'un cadre méthodologique d'affectation dynamique du trafic pour les réseaux régionaux et les modèles MFD. Ce cadre méthodologique prend en compte des longueurs de parcours qui sont calculées explicitement et l'évolution des conditions de trafic dans les régions. Le cadre proposé prend en compte la stochasticité à la fois des longueurs de parcours et de la vitesse moyenne régionale. Par conséquent, nous définissons quatre définitions d'équilibre de réseau, en fonction des termes considérés comme stochastiques. Nous proposons un schéma de résolution numérique basé sur des simulations de Monte Carlo et la méthode des moyennes successives est utilisée pour calculer l'équilibre du réseau. Sur la base de nos scénarios de test, nous montrons que la variabilité des longueurs de parcours à l'intérieur des régions ne peut pas être négligée. De plus, il est également important de prendre en compte la stochasticité sur les vitesses moyennes régionales pour tenir compte de la corrélation entre les chemins régionaux. Nous discutons également une implémentation du cadre d'affectation dynamique du trafic proposé dans le 6^{ème} arrondissement de Lyon (France), où les longueurs de parcours sont calculées explicitement. Les états de trafic sont modélisés en considérant le modèle MFD basé sur l'accumulation. Les résultats mettent en évidence l'influence de la variabilité des longueurs de parcours sur les états de trafic prédits par le modèle MFD.

Chapitre 8 : Conclusions

Cette thèse répond à deux objectifs principaux. Dans la première partie de la thèse, on étudie l'influence du comportement des usagers sur la performance d'un réseau routier, en termes de sa capacité interne et de flux de sortie, ainsi que de sa vitesse moyenne interne, par rapport à des modèles de choix d'itinéraire plus classiques comme l'équilibre déterministe et stochastique de l'utilisateur (DUE et SUE). Les tests sont menés sur un réseau routier du type de Manhattan et ciblent une population des usagers homogène. C'est-à-dire que tous les usagers ont le même type de comportement. On considère des usagers qui ont une aversion aux risques, une rationalité limitée et une aversion au regret. En général, la vitesse moyenne augmente par rapport aux deux équilibres de référence, lorsque les utilisateurs manifestent un comportement d'aversion au risque. Les capacités internes et de sortie du réseau augmentent par rapport au SUE, mais diminuent par rapport au DUE. La rationalité limitée des usagers avec des préférences indifférentes diminue les capacités internes et de sortie, tandis que les préférences strictes des utilisateurs indiquent une tendance opposée. L'indifférence des usagers face au choix des itinéraires diminue la vitesse moyenne du réseau par rapport au SUE. Compte tenu des préférences strictes des utilisateurs, la vitesse moyenne du réseau diminue par rapport aux deux équilibres de référence. L'aversion au regret des usagers diminue, en général, la vitesse moyenne du réseau ainsi que les capacités internes et externes par rapport au DUE. Pour certains paramètres du modèle d'aversion au regret, les capacités internes et de sortie augmentent par rapport au SUE. Dans cette première partie de la thèse, des cadres métrologiques pour l'implémentation de ces modèles, qui prennent en compte différents types de comportement des usagers, ont été proposés et testés pour la première fois dans la littérature dans un contexte d'affectation dynamique.

Dans la deuxième partie de la thèse, un cadre méthodologique complet d'affectation dynamique des usagers sur des réseaux régionaux et les modèles MFD du trafic a été proposé. Le noyau de ce cadre est composé par la définition et caractérisation des chemins régionaux. Dans cette thèse, on suppose que le partitionnement du réseau routier pour la définition des régions est bien défini et donné en ente du cadre méthodologique. Dans une première étape, trois méthodes sont proposées pour définir les chemins régionaux en fonction des déplacements des usagers dans le réseau routier ainsi que de son partitionnement. Les méthodes 1 et 2 sont basées sur des recherches exhaustives des plus courts chemins sur le

réseau routier et sont informatiquement coûteuses. La méthode 3 apporte des résultats prometteurs pour le calcul de l'ensemble des chemins régionaux ainsi qu'en termes d'efficacité de calcul informatique. Les chemins régionaux sont caractérisés par des distributions des longueurs de parcours à l'intérieur de chaque région traversée. Quatre méthodes sont ensuite proposées pour calculer ces distributions des longueurs de parcours, également basées sur un ensemble de déplacements et sur le partitionnement du réseau urbain. La méthode la plus détaillée, c'est-à-dire qui filtre les déplacements en fonction de leur chemin régional associé, est celle qui donne la plus grande hétérogénéité des distributions de longueur de trajet. L'influence du calibrage des longueurs de parcours pour des applications MFD a été aussi étudiée. Les résultats montrent que les longueurs de parcours influencent d'une forme non négligeable la dynamique de l'évolution des états du trafic dans les régions. La troisième étape consiste à proposer un cadre méthodologique pour le calcul de l'équilibre du réseau régional, qui prenne en compte des distributions des longueurs de parcours calculées explicitement ainsi que l'évolution des états de trafic dans les régions. Pour cela, quatre définitions différentes de l'équilibre du réseau régional sont discutées, étant donné la distribution des longueurs des trajets et l'évolution des états de trafic dans les régions modélisées par le MFD. Les résultats montrent que les distributions des longueurs de parcours ne peuvent pas être négligées sur le calcul de l'équilibre. La corrélation entre les chemins régionaux est prise en compte par l'hypothèse du MFD qui est incorporé sur le calcul de l'équilibre. La définition de l'équilibre 4 doit être celle à prendre en compte pour l'affectation dynamique du trafic sur des réseaux régionaux. À la fin de la deuxième partie de la thèse, on discute aussi l'extension de ce cadre méthodologique pour tenir compte des usagers qui ont un comportement de rationalité limité ainsi qu'une aversion au regret.

Le cadre méthodologique d'affectation dynamique du trafic pour les réseaux régionaux et les modèles MFD est le premier qui étudie les connexions entre les réseaux routier de la ville et le régional. Premièrement, il considère des méthodes dédiées pour calculer les chemins régionaux et les distributions de longueur de parcours, en fonction des déplacements sur le réseau urbain. Deuxièmement, il prend en compte les distributions de longueur de parcours calculées explicitement et l'évolution des états de trafic dans les régions. Troisièmement, il est capable de prendre en compte différents types de comportement des utilisateurs.

Références

- Aguiar, V. H., Boccardi, M. J. & Dean, M. (2016), *Journal of Economic Theory*, 166, 445-482.
- Arnott, R. (2013), *Journal of Urban Economics*, 76, 110-121.
- Avineri, E. (2004), *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8, 195-204.
- Avineri, E. (2006), *Transportation Science*, 4(4), 409-420.
- Batista, S. F. A., Zhao, C. & Leclercq, L. (2018), *Journal of Advanced Transportation*, Article ID 9876598, 20 pages
- Bekhor, S., Ben-Akiva, M. E. & Ramming, S. (2002), *Transportation Research Record*, 1805, 78–85.
- Chorus, C. (2014), *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 224-238.
- Daganzo, C. F. (2007), *Transportation Research Part B: Methodological*, 41, 49-62.
- Di, X., He, X., Guo, X. & Liu, H. X. (2014), *Transportation Research Part B*, 67, 86-108.
- Di, X. & Liu, H. X. (2016), *Transportation Research Part B: Methodological*, 85, 142–179.
- Fosgerau, M., Frejinger, E., and Karlstrom, A (2013). *Transportation Research Part B*, 56(1), 70-80.
- Geroliminis, N. and Daganzo, C. F. (2008), *Transportation Research Part B: Methodological*, 9, 759-770.
- Godfrey, J. W. (1969), *Traffic Engineering and Control*, 11, 323-327.
- Han, K., Szeto, W. Y. & Friesz, T. L. (2015), *Transportation Research Part B: Methodological*, 79, 16-49.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979), *Econometrica*, 47(2), 263-292.
- Li, M. & Huang, H.-J. (2016), *Transportmetrica A: Transportation Science*, 13, 250-272.
- Mahmassani, H. S. & Chang, G. L. (1987), *Transportation Science*, 21, 89-99.
- Mariotte, G., Leclercq, L. and Laval, J. (2016), 96th Annual Meeting Transportation Research Board, Washington DC, USA.
- Mariotte, G., Leclercq, L. and Laval, J. (2017), *Transportation Research Part B: Methodological*, 101, 245-267.
- Nielsen, O. A., (1997). *Transportation planning methods: proceedings of seminar held at the European Transport Forum Annual Meeting, Brunel University, England 1-5, 386 September 1997*, 77-93.
- Prato, C. G. (2009), *Journal of Choice Modelling*, 2, 65-100.

Résumé de Thèse de Doctorat de Sérgio Batista

Affectation dynamique des usagers sur les grands réseaux des transports considérant différents types de comportements des usagers

Ramos, G. M., Daamen, W. & Hoogendoorn, S. (2013), *The Journal of Choice Modelling*, 6, 17-33.

Sheffi, Y. (1985), *Urban Transportation networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming*

Methods, chap. 10 and 11. Prentice Hall Inc., United States of America.

Simon, H. A. (1957), *A behavioral model of rational choice*. Wiley, New York.

Simon, H. A., (1966), *Theories of Decision-Making in Economics and Behavioural Science*. Palgrave Macmillan UK, London, 1-28.

Simon, H. A. (1990), *Science*, 250(4988), 1665-1668.

Simon, H. A. (1991), *Organization Science*, 2(1), 125-134.

Tversky, A. & Kahneman, D. (1992), *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297-323.

Xu, H., Louc, Y., Yinb, Y. & Zhoua, J. (2011), *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(2), 311-328.

Zhao, C.-L. & Huang, H.-J. (2016), *Transportation Research Part C*, 68, 22-37.