

PROPOSITION SUJET DE THESE

Agorantic

2016-2019

Unités de recherche concernées :

Laboratoire Informatique d'Avignon (LIA);
UMR ESPACE; Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.

Directeur de thèse : Cyrille Genre-Grandpierre (cyrille.genre-grandpierre@univ-avignon.fr)
Maître de Conférences en Géographie (24^{ème} section), Habilité à Diriger
des Recherches, UMR ESPACE

Co-encadrants : Rosa Figueiredo (rosa.figueiredo@univ-avignon.fr)
Maître de Conférences en Informatique (27^{ème} section), LIA
Fen Zhou (fen.zhou@univ-avignon.fr)
Maître de Conférences en Informatique (27^{ème} section), LIA

Correspondant :

Nom : Figueiredo **Prénom :** Rosa

Mail : rosa.figueiredo@univ-avignon.fr **Téléphone :** 04.90.84.35.16

Titre en Français :

Conception de réseaux optimaux pour des systèmes de transport intelligents.

Titre en Anglais :

Optimal network design for intelligent transportation systems.

Mots-clés :

Intelligent transportation systems (ITS) ;
network design;
bi-level programming;
integer linear programming;
urban planning.

Axes Agorantic :

D – Mobilités et transports intelligents
C – Patrimoines, territoires et actions publiques.

Profil du candidat :

- Maîtrise du français et de l'anglais
- Connaissance de la recherche opérationnelle : programmation linéaire en nombres entiers (PLNE); CPLEX
- Maîtrise d'au moins un langage de programmation (C / C ++ / Java).

Présentation détaillée du sujet :

La conception des réseaux routiers est d'importance capitale en termes d'aménagement du territoire. C'est en effet, le réseau routier qui va, pour les transports terrestre, définir ce qui est accessible et la qualité de cette accessibilité. Or, cette accessibilité est une des variables principales de l'attractivité différentielle des lieux, qui explique par exemple la croissance allométrique des villes et leur développement économique (Pumain, 2008). Par ailleurs, il a été montré que c'est dans la conception même des réseaux de routes, de l'échelle du quartier à l'échelle des réseaux de villes, que se joue une grande partie des pratiques modales, la structure morphologique et topologique des réseaux influençant fortement, via les formes d'accessibilité produites, et le choix des modes de transports utilisés (Foltête et al., 2011).

Pour autant, si chacun s'accorde à reconnaître ce rôle stratégique des réseaux routiers pour l'aménagement et le développement des territoires, **les réseaux restent paradoxalement peu pensés comme des objets à part entière** (Genre-Grandpierre, 2013). L'échelle du tronçon ou de la route unique est ainsi privilégiée. La faute sans doute aux multiples opérateurs qui interviennent dans le développement et l'entretien des réseaux. Ainsi, l'État, les sociétés d'autoroutes, les conseils départementaux, les Établissements Public Intercommunaux, les communes et même des personnes privées sont tous, chacun à leur échelle, des opérateurs de réseaux, sans qu'existe un organe de coordination. La faute aussi, aux méthodes d'évaluation de la pertinence de la construction des infrastructures qui se font à l'échelle de l'opération (la route de A à B est-elle ou pas "rentable" en faisant gagner du temps sur le flux A-B, mais sans se soucier de l'intégration de ce tronçon dans le réseau en entier et du rôle qu'il peut y jouer). La faute enfin, aux montants financiers longtemps très importants qui ont été affectés au réseau routier et qui de ce fait n'obligeaient pas à rationaliser.

Or, aujourd'hui il existe des moyens de faire mieux avec moins en ayant une **vision globale des réseaux** pour aller vers des économies d'échelles. Ainsi, les géographes possèdent des bases de données très précises sur les réseaux routiers, qui sont notamment utilisées dans les systèmes d'information géographique (SIG) pour calculer des matrices, des isochrones etc. et ainsi faire du diagnostic et de l'évaluation de projets d'infrastructures orientés accessibilité et non seulement rentabilité financière. De plus, la recherche opérationnelle a depuis longtemps développées des méthodes d'**optimisation des réseaux** dans le domaine dit du *network design*. Enfin, avec l'information sur les flux de plus en plus disponible en temps réel, via la téléphonie, ou les réseaux sociaux, il est aujourd'hui possible d'envisager des optimisations d'un nouveau type en tenant compte de la vie en temps réel des territoires.

C'est dans ce cadre général de l'optimisation de réseau pour la mise en place de "systèmes de transport intelligents" que se situe ce travail de thèse, avec une application principale qui concerne la **conception de réseau de matières dangereuses**, mais étant entendu que les méthodes développées pourront avoir d'autres applications thématiques. De manière générale, les systèmes de transport intelligents (STI) sont des nouvelles applications des **technologies de l'information et de la communication** qui reposent sur des fonctions telles que la communication, le traitement de l'information et le comportement adaptatif. Ces systèmes permettent d'utiliser le réseau de transport de manière plus coordonnée afin d'augmenter la sécurité et l'efficacité de ces réseaux.

Dans ce travail, nous allons modéliser et résoudre ces problèmes de conception de réseaux optimaux pour des systèmes de transport intelligents comme des problèmes d'**optimisation bi-niveaux** (Colson et al, 2005). Ce type de problème implique deux décideurs distincts agissant de manière non-coopérative et séquentielle. Au niveau supérieur le *leader* est chargé de choisir un ensemble de liens à ouvrir/fermer et il prend cette décision en essayant de minimiser un ensemble de coûts fixes et variables liés à ces liens. Au niveau inférieur les *followers* (usagers) prennent un ensemble de décisions optimales dans le réseau résultant. L'effet d'un décideur sur l'autre partie est indirecte: «la décision du *follower* est affectée par le réseau conçu dans le niveau supérieur alors que la décision du *leader* est affectée par les coûts variables imposées par les décisions prises au niveau inférieur.

Le problème du design du réseau optimal pour le transport de matières dangereuse (mais aussi la question de la maintenance des réseaux) peut être modélisé comme un problème d'optimisation biniveaux, qui est une variante du **problème de conception de réseau** de coût fixe (FCNDP). Le FCNDP consiste à sélectionner un sous-ensemble d'arêtes à partir d'un graphe, de sorte qu'un certain nombre de commodités (usagers, produits, ...) puissent être transportées à partir de leurs origines à leurs destinations. Le problème cherche à minimiser la somme des coûts fixes (qui dépendent des arêtes sélectionnées) et des coûts variables (qui dépendent des flux sur les arêtes). Les coûts fixes et variables sont linéaires et les arêtes n'ont pas de capacité maximale. Le problème de FCNDP est une classe importante de problèmes de conception de réseau (Magnanti et al, 1984). Dans la variante étudiée ici les commodités sont acheminées le long du plus court chemin sur le réseau résultant, ce qui fournit une bonne approximation du comportement des usagers (voir Genre-Granpierre, 2000 ; Puzis et al 2013). Nous appelons ce problème FCNDP-SP (Kara et al, 2004 ; Mautonne, Figueiredo, Labbé, 2005). Cette caractéristique ajoute de nouvelles contraintes au problème général. La fonction objectif de niveau supérieur minimise la somme des coûts fixes et variables associés aux arêtes. Le problème de niveau inférieur définit un ensemble de problèmes de plus courts chemins sur le réseau résultant des décisions prises dans le niveau supérieur.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'élaboration de méthodes de résolution efficaces pour le cas général du problème FCNDP-SP, ainsi qu'à la résolution de cas réels apparaissant dans le domaine de la planification urbaine, et plus particulièrement, dans le transport de matières dangereuses. Afin d'éviter que l'applicabilité des méthodes mises au point ne se limite aux jeux de données de petites tailles, ces méthodes seront effectivement testées sur des cas réels/réalistes. **Les outils utilisés dans cette thèse relèvent de la programmation linéaire en variables mixtes, d'approches heuristiques, de la génération des colonnes (Zhou et al. 2016) et d'algorithmes de plans coupants.**

Domaine / Thématique :

Le problème étudié dans cette thèse appartient au domaine de la programmation mathématique en nombres entiers, et plus spécifiquement, à l'optimisation dans les réseaux. Nous sommes intéressés par les applications dans la planification urbaine basées sur les systèmes de transport intelligents. En effet, les problèmes d'optimisation dans les réseaux jouent un rôle important dans la planification urbaine depuis que les autorités urbaines veulent assurer le succès de leurs villes/états/pays en termes économiques, sociaux et environnementaux.

Objectif :

Les objectifs de la thèse consistent à, d'une part développer et comparer différentes approches de résolution pour FCNDP-SP, basées sur des programmation mathématiques en nombres entiers et, d'autre part, étudier des variantes de ce problème dans le contexte de la conception urbaine.

Originalité et challenge du sujet :

Du point de vue de l'optimisation, le défi et l'originalité du problème étudié sont les suivants. L'inclusion des contraintes de plus courts chemin dans un programme mixte en nombres entiers n'est pas simple. Des difficultés surgissent à la fois lors de la modélisation et de la conception de méthodes de résolution efficaces. Ces contraintes supplémentaires donnent naissance à un problème de programmation en nombres entiers à deux niveaux mixte discret. Bien que la programmation linéaire à deux niveaux (Colson et al, 2005) soit un domaine important dans l'optimisation, il y a seulement un petit nombre d'approches de résolution pour traiter les cas entiers discrets et mixtes.

De plus, les problèmes d'optimisation de réseau reviennent en général peu ou prou à maximiser-minimiser une quantité donnée (profit, coût etc.). La solution relève donc d'une logique d'efficacité. Or en aménagement du territoire d'autres logiques existent, en particulier celle de l'équité. Par exemple, si on ne met en place des réseaux de transport public que dans une logique d'efficacité, alors seuls les grands pôle générateurs de trafic seront desservis. A l'inverse en imposant une logique d'équité, qui vise à minimiser la variance des situations, des zones moins denses seront desservies afin de limiter les écarts de situations entre citoyens.

Dépasser dans les modèles d'optimisation de réseau l'usage de la seule logique d'efficacité pour intégrer celle de l'équité est aussi un des défis que se propose d'aborder cette thèse. Précisons que des travaux de l'ANR Rolse conduits sous la direction de Didier Josselin (Josselin 2009-2012) entre géographes, mathématiciens et Informaticiens sur ces questions d'efficacité-équité-égalité et leur traduction dans des métriques particulières ont déjà été réalisés et qu'ils seront ici mobilisables (Josselin et al. 2014).

Références bibliographiques :

Colson, B., Marcotte, P. and Savard, G.: 2005. « Bilevel programming: A survey », 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research 3(2), 87–107.

Foltête, J.C., Genre-Grandpierre, C., Josselin, D., 2011. « Impacts of Road Networks on urban mobility », in Theriault M., Des Rosiers F (ed) Modeling urban Dynamics, Geographical Information systems series, ISTE, Wiley, pp. 103-128.

Genre-Grandpierre, C., 2000. « La structure topologique et fonctionnelle des réseaux de routiers urbains comme déterminant de la géographie des flux de déplacements ». In Actes du colloque Gopoint 2000: L'explication en géographie.

Genre-Grandpierre C., 2013. « La structure morpho-fonctionnelle des réseaux routiers :un levier d'action majeur pour une mobilité durable », in Brun G. (dir) Ville et Mobilité. Nouveaux regards, Collection « Méthodes et Approches », Economica.

Josselin D., Michelon P., Gueye S., Genre-Grandpierre C., 2014. A method to find the robust center for a set of demand points, based on Lp-norms and bootstrap, Spatial Accuracy 2014, Jul 2014, Lansing, United States. pp. 76-78.

Josselin D., 2009-2012 : ANR – SYSC-010-01 ROLSE : « Robust and Optimal Locations for Sustainable Environment and Systems », (direction Didier Josselin).

Kara, B. Y. and Verter, V., 2004. « Designing a road network for hazardous materials transportation », Transportation Science 38(2), 188–196.

Magnanti, T. L. and Wong, R. T., 1984. « Network design and transportation planning: Models and algorithms », Transportation Science 18(1), 1–55.

Mauttone, A., Figueiredo, R. and Labbé, M , 2008. « A Tabu Search approach to solve a network design problem with user-optimal flows ». In VI ALIO/EURO Conference on Combinatorial Optimization, Buenos Aires, 2008.

Puzis, R., Altshuler, Y., Elovici, Y., Bekhor, Y. Shiftan, Y., and Pentland, A., 2013. « Augmented betweenness centrality for environmentally aware traffic monitoring in transportation networks ». Journal of Intelligent Transportation Systems, 17(1): 91–105.

Pumain D., 2008. « The Socio-Spatial Dynamics of Systems of Cities and Innovation Processes: a Multi-Level Model », in Albeverio S., Andrey D., Giordano P., Vancheri A. (Eds.) The Dynamics of Complex Urban Systems. An Interdisciplinary Approach. Heidelberg, Physica Verlag, 373-389.

Zhou F., Ait Ouahmed A., Azzedine C. « QoT-aware Multicast Provisioning Using Column Generation in Mixed-Line-Rate Optical Networks ». The IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2016), pp1-5, USA, Feb. 2016.