

Intitulé du projet : SDO V1.0 : Simulation Driven-Optimization version 1.0

Nom du porteur : Serigne Gueye, MCF.

Institution : Laboratoire d'Informatique d'Avignon (LIA)

Partenaires :

- Francesco Ciari, Milos Balac, Kay W. Axhausen : Institute for Transport Planning and Systems (IVT), Zurich (Switzerland)
- Roger Faye : Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar (ESP- Dakar)
- Didier Josselin, Cyrille Genre-Grandpierre : UMR Espace – Equipe Avignon
- Babacar M. Ndiaye : Laboratoire de Mathématiques de la Décision et d'Analyse Numérique (LMDAN) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).
- Philippe Michelon : Laboratoire d'Informatique d'Avignon (LIA)

1. Descriptif du projet.

1.1. Contexte

Il existe une interaction reconnue, mais dans l'état actuel mal maîtrisée (en terme de politique d'aménagement) entre la répartition des activités (au sens large) d'une ville (ou d'un territoire) et les flux de déplacements occasionnés par celles-ci; entre les lieux d'activités et le réseau de transport qui les rend possible. Si nous imaginons, d'un point de vue purement théorique, qu'un aménageur a la possibilité de permuter à loisir les localisations physiques d'activités (par exemple un marché et un centre sportif), ou d'agir sur le réseau de transport en créant ou supprimant des axes de transport, une problématique intéressante serait de connaître les choix judicieux conduisant à «faciliter» l'accès aux activités, en diminuant par exemple globalement les temps de déplacement ou les distances parcourues.

Nous nous sommes intéressés à apporter des réponses techniques, permettant d'analyser ces questions, dans le cadre de deux projets : DAMA (financement PREDIT), ORTRANS (financement AUF). Ce type d'aménagement a été abordé conjointement sous l'angle fondamental de l'optimisation combinatoire et de la simulation multi-agents. Localiser judicieusement des activités de sorte à faciliter les déplacements entre activités peut être vu comme un problème académique d'optimisation consistant à déterminer la permutation d'entités sur des emplacements connus conduisant à minimiser un critère d'optimisation. Ces flux de déplacements, que l'on cherche précisément à «faciliter», proviennent dans le cas d'une ville, des mouvements d'individus (agents) qu'il est nécessaire au préalable de connaître, ou tout au moins d'estimer. Nous avons utilisé pour cela, en collaboration avec nos partenaires suisses de l'institut IVT, le simulateur multi-agents MATSim.

Pour rappel succinct, un «système multi-agents» est un système composé d'un ensemble d'agents, situés dans un certain environnement et interagissant selon certaines relations. Un agent est une entité caractérisée par le fait qu'elle est, au moins partiellement, autonome. L'exécution de ce système sur un ordinateur par des programmes informatiques, traduisant ces interactions, est la simulation multi-agents. De façon très schématique, les simulations MATSim se déroulent en trois étapes décrites dans la figure ci-contre.

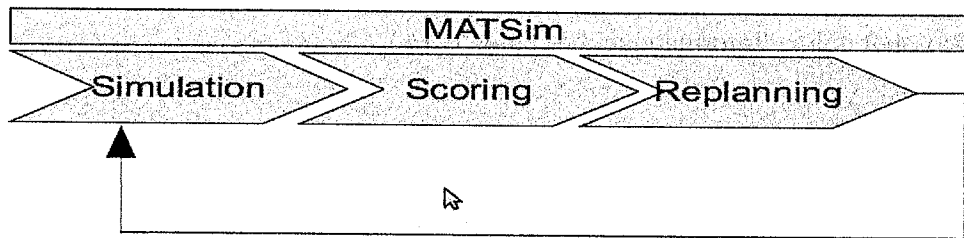


Illustration 1: MATSim

Chaque agent (ou individu) a au début de la simulation un plan d'activités qu'il souhaite effectuer sur une journée. Ce peut être par exemple : quitter son domicile à 8h pour amener ses enfants à l'école, puis se rendre à son travail, reprendre ses enfants à 16h30 pour les mener à une activité sportive, les récupérer à 18h pour faire quelques courses, puis revenir à son domicile. Initialement, ce plan spécifie donc l'enchaînement des tâches à faire par les individus mais ne mentionne pas où précisément, et comment ces activités seront faites. L'exécution du plan va ainsi consister à faire des choix sur ces lieux précis et sur les itinéraires et modes de déplacement. Ces choix sont faits dans l'objectif de maximiser une «fonction d'utilité» des déplacements.

Afin d'exploiter les sorties de ces simulations, pour les besoins de l'optimisation des localisations d'activités, nous avons développé une sur-couche à MATSim appelée **SDO (Simulation-Driven Optimization : Version 0 (V0))**. Le fonctionnement général est décrit sur la figure ci-dessous.

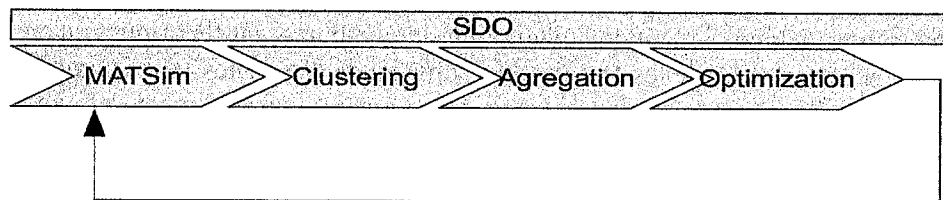


Illustration 2: SDO

A la suite de MATSim, SDO prend en compte les déplacements générés par la simulation et propose une relocalisation d'un certain nombre d'activités (possiblement toutes) permettant d'accroître les scores d'utilité. Le problème que vise à résoudre SDO est de savoir où devraient être localisées les activités pour que la somme des scores d'utilité des agents soit la plus élevée possible. Du fait de la complexité de la fonction d'utilité de MATSim, nous substituons à celle-ci la somme des temps de déplacements ou des distances parcourues, avec le pré-supposé heuristique que plus les déplacements seront globalement courts en temps, et en distance, et plus l'utilité pour l'agent sera forte. La grande quantité d'activités possibles dans une ville rend nécessaire l'exécution d'une phase préalable dite de «clustering» où les activités vont être regroupées. Chaque « cluster » sera considéré comme représentatif d'une entité unique. Cela a pour effet de réduire le nombre d'activités à prendre en compte. La quantité totale de déplacement entre ces groupes, ainsi que les temps de déplacement sont calculés dans la phase dite «d'agrégation». Ces données sont stockées sous forme matricielle (matrices de flots et de distance). Elles sont utilisées dans la phase d'optimisation dans des algorithmes calculant des relocalisations « optimales ». Ces relocalisations impliquent des changements de coordonnées géographiques des activités déplacées à l'issue desquels une nouvelle simulation MATSim est relancée, et ainsi de suite jusqu'à un nombre fixé d'itérations.

SDO en est à sa première version testée sur des échantillons des villes de Zurich [1], Lyon [1], et Dakar [2].

1.2 Projet

Le travail que nous poursuivons actuellement consiste à améliorer cet outil d'aide à la décision selon plusieurs directions.

Il y a dans le cycle exposé à la figure 2 deux phases comportant des problèmes fondamentaux difficiles d'optimisation : le clustering et l'optimisation.

Le clustering a une incidence sur les relocalisations qui seront proposées puisqu'il détermine la taille et le contenu des matrices des flots et des distances. La version actuelle inclut un seul algorithme de «clustering» dit «**hiérarchique ascendant**». Bien que fonctionnant d'un point de vue technique, nous souhaitons savoir si des relocalisations plus pertinentes pourraient être obtenues par d'autres algorithmes comme par exemple le clustering par résolution de problèmes de type « p-median ». De manière générale, il s'agit dans cette direction de déterminer les méthodes de clustering les plus appropriées par des expérimentations plus larges de plusieurs méthodologies possibles.

L'optimisation propose en fin de cycle des relocalisations par la résolution d'un problème académique dit d'**affectation quadratique** [5]. Une heuristique d'exploration de voisinage permettant d'améliorer une solution construite de façon gloutonne est actuellement intégrée à SDO. C'est, du point de vue de la recherche en optimisation, l'une des méthodes les plus simples, mais à son avantage l'une des plus rapides, qui puisse être envisagée. Nous souhaitons améliorer l'outil par l'intégration de méthodes heuristiques plus évoluées, compatibles toutefois avec la quantité très significative de données à traiter. Nous souhaitons aussi, car ce n'est pas du tout réalisé par SDO V0, combiner à la relocalisation, l'optimisation du réseau de transport, consistant à décider simultanément d'axes routiers à conserver ou non parmi un ensemble.

Toutes ces méthodes se situent en aval du processus de simulation MATSim qui tient compte de divers modes de transport; essentiellement les véhicules particuliers, et les transports en commun. Mais les transports en commun considérés dans MATSim se limitent à des transports «classiques» avec itinéraires pré-calculés, et arrêts fixes. Il y a, à l'opposé, dans les pays africains ou d'Amérique du sud, une plus grande variété de transports en commun très utilisés, que l'on qualifie de transports «flexibles». La plupart des acteurs de ces transports n'ont pas d'itinéraires pré-programmés avec des arrêts figés, mais s'adaptent à la demande. Une thèse de doctorat sur ce type de transport, dans la ville de Dakar, a été récemment réalisée par Adrien Lammoglia [3] (UMR Espace – Equipe Avignon) sous la direction de Didier Josselin (UMR Espace - Avignon) et de Roger Faye (ESP Dakar). Elle a donné naissance à un outil de simulation («Trans-Cultural Transport Simulator») permettant d'analyser le fonctionnement de cette offre et d'en tirer une politique de gestion combinant à profit les transports en commun «classiques» et les transports flexibles.

Le troisième axe d'amélioration de l'outil SDO est de tenir compte, parmi les modes de transport simulés, de ces transports flexibles. Il s'agit d'intégrer les règles de fonctionnement identifiées dans les travaux de Lammoglia dans MATSim puis d'effectuer la même boucle d'optimisation que celle de la figure 2.

2. Résultats attendus

Nous souhaitons aller vers une version améliorée (SDO V1) de SDO :

- en traitant de façon plus approfondie les problèmes fondamentaux d'optimisation combinatoire sous-jacents,
- en intégrant des modes flexibles non pris en compte par MATSim.

Le premier point devrait d'abord déboucher sur le développement et les tests de plusieurs méthodes de clustering intégrées au code. Des algorithmes heuristiques plus élaborées d'optimisation des localisations des activités seront ensuite produites.

La demande que nous faisons à la SFR se limite, en terme de résultats attendus, aux éléments cités ci-dessus, pas au second point plus complexe que nous envisageons à plus long terme. Et pas également à l'intégration d'un algorithme (visé initialement) permettant d'agir à la fois sur les localisations et sur le réseau de transport. Signalons que des méthodes algorithmiques permettant d'agir sur le réseau ont déjà été réfléchies dans le projet ORTRANS. Le codage informatique dans SDO des méthodes préconisées est cependant non trivial du fait du format de données utilisé par MATSim pour décrire un réseau.

Toutefois cette demande est aussi faite pour permettre de mettre en place les conditions nécessaires à l'émergence de la technologie finale que nous visons. C'est à dire celle comportant tous les éléments cités au précédent paragraphe. L'ambition est de faire de SDO un outil d'aide à l'aménagement adapté à la prise en compte de transports flexibles comme ceux des pays africains. Un travail consistant à modifier directement des procédures de MATSim est donc nécessaire et ne peut se faire sans un partenariat à construire avec des développeurs MATSim.

3. Originalité

L'outil MATSim que nous exploitons est un outil libre en conception depuis une décennie grâce à la collaboration de bénévoles et de chercheurs. Il s'agit d'un des plus gros systèmes libres de cette catégorie. Avec des moyens informatiques adéquats, MATSim est à même de simuler le comportement de millions d'individus sur de très grands réseaux de transport, et ainsi d'aider à des politiques d'aménagement. Il est compatible avec les jeux de données (libres) de divers Systèmes d'Information Géographique comme OpenStreetMap. Etant libre, il est conçu de manière à être extensible et personnalisable, et ainsi déboucher sur des technologies innovantes.

Il n'y a à notre connaissance qu'une seule exploitation de MATSim pour la simulation des transports de type flexibles en Afrique du Sud : celle de Johan Joubert [4]. Les travaux de Joubert, avec qui nous souhaitons tisser un partenariat, ne tiennent toutefois pas compte de la diversité des transports flexibles des autres pays africains. D'autre part, ces travaux ne s'intéressent pas aux questions d'aménagement (localisation d'activités) que nous abordons. Si bien que considérant la méthodologie globale proposée par SDO, il n'y a à notre connaissance aucun outil d'aide à la décision similaire même en ne prenant en compte que des transports en commun classiques. L'approche consistant à tirer profit à la fois des méthodes d'optimisation et de la puissance de calcul des moteurs de simulation dans le cadre de l'aménagement de territoire nous semble de ce point de vue originale.

4. Dimension interdisciplinaire.

Ce projet met en oeuvre au moins quatre domaines de recherche que sont l'analyse spatiale de la configuration d'une ville, les Systèmes Multi-Agents, l'étude des systèmes de transport flexible, et l'optimisation mathématique. Il est également à la fois autant à vocation théorique, par l'étude de problèmes académiques sous-jacents, notamment en optimisation, qu'à vocation pratique par le développement d'une technologie innovante. Le partenariat (en cours de construction) dont nous faisons état à la section 6 reflète chacun des domaines d'activités dont le projet est porteur.

5. Positionnement dans la SFR

Notre projet se positionne naturellement dans l'axe 4 de la SFR «Mobilité, transports intelligents et TIC au service des patrimoines».

6. Partenariat

Les partenaires considérées dans l'immédiat sont limitées à ceux ayant déjà participé aux deux projets précédents : DAMA et ORTRANS. Mais le nombre de partenaires est amené à s'accroître pour atteindre les objectifs finaux.

Babacar M. Ndiaye, maître assistant à l'UCAD (Dakar), et Roger Faye (PR à l'ESP) ont été impliqués dans le projet ORTRANS (Optimisation des Réseaux de TRANSport), liant dans un partenariat recherche, le LMDAN, l'ESP, et le LIA. Nous y avons abordé le problème de localisation des activités pour le cas de Dakar. Nous avons dans ce cadre développé une méthodologie heuristique (non codée pour l'heure) pour le problème combiné du choix des lieux d'activités et des axes routiers.

Cyrille Genre-Grandpierre (UMR Espace – Equipe Avignon) a été le porteur du projet DAMA (*Vers de nouvelles dynamiques de localisation des ménages et des activités dans les territoires urbains pour découpler accessibilité et mobilité automobile*) impliquant également plusieurs partenaires dont le LIA, et l'IVT de Zurich (Francesco Ciari, Milos Balac). Nous nous sommes intéressés dans ce cadre aux cas de Zurich et de Lyon.

Didier Josselin (DR à l'UMR Espace, en délégation au LIA) a été le directeur de thèse d'Adrien Lammoglia dont nous voulons intégrer les résultats d'études des transports flexibles à SDO. Il a par ailleurs porté le projet ANR de transport flexible « Modulobus » en France (2008-2012).

Philippe Michelon (LIA, actuellement en délégation à l'UMR Espace – Avignon) et Serigne Gueye (LIA) ont été impliqués dans les projets DAMA ou ORTRANS. Serigne Gueye a été porteur du projet ORTRANS. Tous deux co-encadrent actuellement, avec Cyrille Genre-Grandpierre la thèse de doctorat d'Alena Melnikava sur des problématiques d'optimisation de l'aménagement de territoires.

A ces personnes citées, nous souhaitons ajouter au moins un développeur MATSim, comme par exemple Johan Joubert [4] (Université de Prétoria), qui a été l'auteur des premières simulations multi-agents pour le cas de la ville de Prétoria (Afrique du Sud).

7. Budget prévisionnel et financement envisagés.

De par l'aspect fortement technologique de notre projet, nous envisageons de répondre (en 2015) à l'appel européen H2020 de coopération internationale dénommé «International partnership building in low and middle income countries». Cet appel vise précisément les pays subsahariens et les

projets de recherche collaborative.

L'impact attendu des projets financés par ces appels est le développement d'une technologie pertinente qui répond aux besoins et aux conditions des pays ciblés. Les conditions d'éligibilité sont très restrictives en terme de partenariat puisqu'il faut au moins trois entités légales établies dans trois pays différents de l'union européenne (ou pays associés) qui s'ajouteront à au moins deux pays subsahariens. Signalons ici que le partenariat avec les membres l'IVT, pour ce projet européen, reste à confirmer.

Le budget que nous demandons ici tient donc autant compte de l'investissement nécessaire à la construction d'un tel partenariat que de l'objectif d'atteindre les résultats partiels décrits à la section 2.

Nous demandons un financement de **10000 euros** réparti comme suit :

- 2 mois de stage étudiant d'été dédiés au codage de nouvelles méthodes de clustering et d'heuristiques de localisations optimales pour un coût de $500 * 2 = 1000$ euros,
- L'achat d'un PC pour ce stage d'un coût de **2000 euros**,
- la réalisation de missions et de réunions (Dakar, Zurich, ...) visant à construire le partenariat nécessaire à la réponse à l'appel européen de coopération internationale : **7000 euros**.

8. Références

[1] M. Balac, F. Ciari, C. Genre-Grandpierre, F. Voituret, S. Gueye, P. Michelon, Decoupling accessibility and automobile mobility in urban areas , Transport Research Arena 2014, Paris .

[2] M. A.M.T. Baldé, B.M. Ndiaye, S. Gueye, Network Transportation and Land Use Problem, WS-2013 Optimisation de réseaux de transport et localisation d'activités 19-20 November 2013, Dakar.

[3] A. Lammoglia, Analyse et modélisation multi-agents de transports flexibles Comparaison de services français et sénégalais , thèse de doctorat, Université d'Avignon, 2013.

[4] J. Joubert, Network design and evaluation: only the state-of-the-art will do when your network is in a real 'state', ORPA-INFORMS 2008, Washington DC.

[5] M. Los. Simultaneous optimization of land use and transportation. A Synthesis of the Quadratic Assignment Problem and the Optimal Network Problem, Regional Science and Urban Economics 8 (1978) 21-42.