

Congrès ATEXPO 2013
30 & 31 janvier 2013

Prédiction du trafic et optimisation des déplacements professionnels planifiés : travaux d'IBM dans le projet Optimod'Lyon

Thomas Baudel, IBM France Center for Advanced Studies
Laura Wynter, IBM TJ Watson Center
Jean Coldefy, Grand Lyon

I Contexte et enjeux

Optimod'Lyon [\[1\]](#) est un projet lancé à l'initiative du Grand Lyon et cofinancé par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) qui réunit pour trois ans des industriels et des chercheurs du territoire. En développant des services d'informations innovants, il propose d'améliorer la mobilité urbaine des personnes et du fret.

Ce projet comprend trois niveaux d'expérimentation :

- Renforcer la capture d'information en installant de nouveaux capteurs de déplacements (comme le Floating Car Data) et de stationnement sur des lieux d'expérimentations.
- Réaliser un référentiel de données multimodal global qui centralise toutes les informations disponibles, réunissant sur une même plateforme les données de trafic, des transports en commun et d'autres modalités pour permettre la prise de décision de mobilité.
- Expérimenter un bouquet de services à valeur ajoutée exploitant cette plateforme. IBM s'intéresse particulièrement à l'expérimentation et au développement de ces services innovants qui s'intègrent dans sa stratégie d'une ville plus intelligente [\[2\]](#).

C'est dans ce contexte qu'IBM et le Grand Lyon contribuent à deux services complémentaires, en partenariat avec l'INSA de Lyon (Institut National des Sciences Appliquées) pour le second point :

- a- Fournir et adapter des services de prédiction de trafic de haute qualité à des fins d'information et de régulation.
- b- Expérimenter un service d'optimisation de la mobilité urbaine *professionnelle planifiée* susceptible de contribuer à la fois à la régulation et à la prévision de la demande en mobilité.

Le but de notre intervention est la valorisation de l'instrumentation urbaine, afin de dégager des mécanismes économiques qui permettent de fournir un retour

sur investissement qui soit mesurable et rentabilise les efforts d'équipement, de capture et de centralisation de l'information de mobilité.

II La prédiction du trafic : d'une finalité de régulation à une finalité informationnelle

1 Objectif

Aujourd'hui, de nombreuses villes disposent de données en temps réel sur l'état du trafic mais la valeur de ces dernières est parfois insuffisante :

- La latence des données implique qu'elles ne sont plus à jour au moment de leur utilisation.
- Pour prendre les bonnes décisions, nombre d'applications nécessitent une anticipation de la situation.

Pour offrir un service performant de régulation et d'information sur le trafic, il faut disposer de données sur son état avec une prédiction d'une heure et une grande fiabilité.

2 État de l'art

Les outils de prédiction fonctionnent en recherchant, dans des historiques de données conservées, des situations où les capteurs sont dans un état comparable à celui du moment présent et à projeter comme le futur à venir une moyenne des évolutions passées constatées. Plus précisément, de nombreuses approches de modélisation, qui ont été proposées durant ces deux dernières décennies [3, 4], incluaient des modèles non paramétriques et paramétriques. Ces modèles sont non linéaires dans la majorité des études faites récemment.

Les modèles de prévision du trafic sont en général évalués à partir de données provenant des autoroutes mais celles-ci sont moins sujettes aux variations et ne sont pas soumises aux effets de feux de circulation, à l'inverse des données des réseaux urbains. Dans ces derniers, les relations de voisinage et les définitions des matrices de poids spatiales des modèles paramétriques espace-temps [5, 6] ne sont pas simples. Il se peut par exemple qu'un détecteur ne puisse pas être clairement identifié comme en amont ou en aval d'un autre et la densité d'un réseau urbain rend difficile l'identification et la localisation d'une information. Les données erronées ou manquantes sont plus fréquentes dans les réseaux urbains que sur les autoroutes : la mise en œuvre de procédures d'estimation robustes est donc indispensable.

Notre équipe a publié plusieurs travaux à ce sujet [6, 7] et depuis 2010, nous mettons en œuvre un système de prédiction du volume de trafic d'une haute fiabilité dans plusieurs métropoles. Notre outil de prédiction, TP, qui fait partie de l'offre IOC d'IBM [8], permet de générer une information *prédictive* du trafic sur le

réseau routier d'une collectivité territoriale, ce qui permet d'améliorer la régulation des feux et l'information voyageur.

3 Mise en place à Lyon

Nous avons utilisé notre outil sur des données de Lyon pour une première phase de calibrage. Elle a fait apparaître une variabilité naturelle dans les données qui rend leur prévision très difficile. Par exemple, les données sur le taux d'occupation (pourcentage du temps où un véhicule se trouve devant le capteur), qui permettent de mesurer la congestion du trafic et à calculer les vitesses de parcours, sont trop volatiles pour être prédites avec certitude.

Une nouvelle méthode d'estimation des ces taux d'occupation a été développée. Elle repose sur une utilisation novatrice des données de volume de trafic couplées aux données de taux d'occupation. Cette méthode améliore non seulement la qualité des prévisions de taux d'occupation mais elle permet aussi de mieux interpréter le seuil de congestion, lequel est une donnée utile pour l'information voyageur.

Notre méthode met en œuvre une technique de réduction de la volatilité basée sur le calcul d'un seuil de congestion pour chaque emplacement de prédiction et sur son utilisation dans un système de filtrage. Grâce à cette technique, des gains de précision significatifs ont été obtenus, et ce pratiquement sans perte d'information.

Notre estimation considère l'existence d'un débit maximal qui est spécifique à chaque capteur. Dès ce débit atteint, l'axe entre dans une phase critique où toute arrivée supplémentaire entraîne une congestion. Notre méthode consiste à réaliser une régression paramétrique sur le diagramme fondamental (flux x taux d'occupation, voir Figure 1). Le point maximal de la parabole ainsi obtenu détermine le seuil critique qui est spécifique à cet axe où il est considéré comme congestionné. Les valeurs très supérieures à ce seuil sont perçues comme non-significatives. Le taux d'occupation reporté varie très fortement dans ces conditions car le trafic est au ralenti.

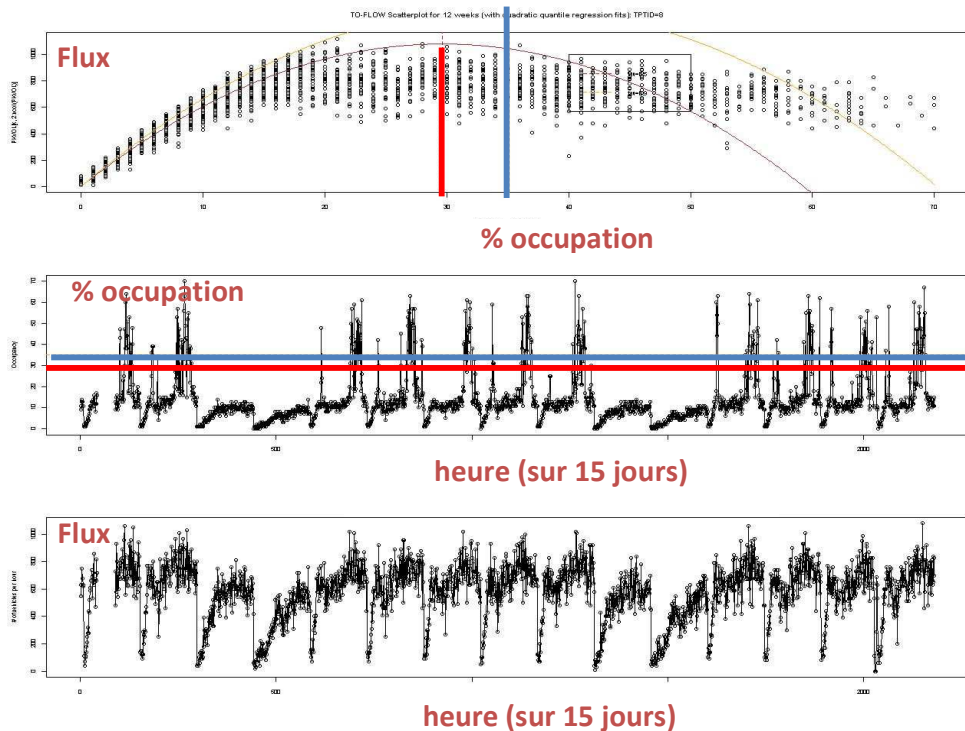


Figure 1 : estimation du seuil de congestion propre à un capteur donné par la détermination de régressions paramétriques sur le diagramme fondamental flux x taux d'occupation. En rouge la courbe de régression médiane (partageant le jeu de données par moitié). En bleu la courbe de régression du quantile 9/10 (90% des points sont sous la courbe).

Notre outil TP amélioré est désormais en phase de déploiement pour les besoins du projet Optimod et pour les besoins d'autres partenaires.

4 Évolution prévue

Les données temps réel et prévisionnelles sont très importantes pour de nombreuses applications mais la couverture du réseau par les détecteurs qui fournissent ces données est limitée. Il se trouve qu'une bonne partie du réseau routier n'est couverte par aucun détecteur et donc aucune information n'y est a priori disponible. Pour des applications telles que le calcul de meilleur chemin temps-dépendant, la précision du résultat fourni est limitée par cette absence de données sur une grande partie des trajets potentiels.

C'est pour cette raison que la deuxième phase de ce projet se propose de calibrer un outil d'estimation de l'état du trafic entre les positions des détecteurs. La méthode que nous mettons au point se base sur deux aspects : la connaissance du réseau routier et l'observation du trafic là où des détecteurs sont présents, et repose sur un modèle d'écoulement de flux. Nous adaptons actuellement cette méthode sur la ville de Lyon.

La troisième phase consiste à étudier la prise en compte des événements de trafic (comme les accidents, les ralentissements soudains...), leurs impact sur la prédiction et l'évaluation de stratégies de remédiation applicables.

L'objectif final de ces travaux est d'obtenir une meilleure information, pour la régulation (comme c'est généralement le cas des travaux dans ce domaine) mais aussi, ce qui est relativement nouveau, pour l'information voyageur. En effet, la mise en place de notre outil dans ce projet a pour but de permettre à des calculateurs d'itinéraires multimodaux temps réel (qu'ils soient développés par des partenaires ou par nous-mêmes) d'utiliser une information précise pour déterminer le temps de parcours.

III Smart Deliveries : optimiser les trajets professionnels urbains planifiés comme outil de prévision, régulation et rentabilisation de l'instrumentation urbaine

1 Objectifs

Pour valoriser l'instrumentation urbaine grâce à un service à valeur ajoutée, IBM et l'INSA s'intéressent à l'amélioration des *trajets professionnels urbains planifiés* et à exploiter cette dernière pour réguler le trafic et amortir le coût d'exploitation de l'infrastructure.

Sans tomber dans la caricature, on peut identifier trois catégories de trafic routier :

- Les trajets dits *réguliers* comme les trajets domicile-travail. Ils sont à la source de grosses difficultés de circulation mais sont faciles à étudier et à prédire : ils ne sont pas notre centre d'intérêt même s'ils représentent un enjeu très important.
- Les trajets *impromptus*, avec par exemple les déplacements en urgence ou les balades. Ils ne sont pas prévisibles et représentent une faible portion du trafic : ils nous concernent donc peu.
- Les trajets *planifiés*, qui sont non réguliers mais prévus dans un temps variable précédant le trajet. On fait la distinction entre les trajets personnels et professionnels (le propriétaire du véhicule a un numéro de Sécurité Sociale ou un numéro de SIREN) et ce sont ces derniers sur lesquels se porte notre attention : visites de clients, de chantiers, et **les tournées de livraisons**, dans un premier temps.

Selon nos sources, ces tournées constituent une part très importante du trafic urbain, y compris en heure de pointe. Nous l'estimons à 35% même si cet indicateur brut est peu significatif du fait de sa très forte variabilité temporelle et géographique.

Ces trajets ont un coût et une tolérance de réalisation (coût d'un décalage ou d'un changement) mesurables et le minimiser intéresse le commanditaire. Avec la généralisation de l'informatique, les plannings des trajets prévus sont souvent à portée d'une connexion internet. L'opportunité de partager cette information au profit d'une régulation optimisée de ce type de trafic est ainsi possible.

À terme, ce projet nommé Smart Deliveries vise à offrir un *service d'optimisation global et réactif des trajets professionnels planifiés* à l'échelle d'un territoire urbain. Il est réactif car les optimisations proposées sont actualisées en fonction des événements liées au trafic (embouteillages, axes fermés, accidents...) dont la ville est informée en premier chef. Il est aussi global parce que la ville optimise et coordonne la totalité de la demande. Cela permet une optimisation beaucoup plus efficace que si chaque agent réalise la sienne localement. La collectivité urbaine est donc le prestataire naturel d'un tel service.

Trois perspectives importantes sont ouvertes :

- Les clients du service, utilisateurs du réseau urbain, minimisent leurs coûts de déplacement et gagnent en fiabilité.
- La collectivité obtient un nouvel instrument de régulation et prévision concernant des portions importantes de trafic. L'étalement de celui-ci dans le temps et l'espace contribue à la réduction du besoin en surface de voirie car elle est mieux utilisée.
- Ce service génère des économies *mesurables* et permet de contribuer au financement de l'instrumentation urbaine. Il est rentable et permet de préserver la pérennité des investissements réalisés pour améliorer le trafic en cas de restrictions budgétaires.

2 Prototype

Ce service est en phase d'élaboration et de prototypage. Nous travaillons dans un premier temps avec des partenaires transporteurs (messagerie ou express) qui sont a priori les plus à même de tirer des bénéfices de ce service que nous proposons d'offrir à terme à tous les usagers professionnels de la voirie urbaine.

Notre service se présente pour l'utilisateur (les entreprises) sous la forme d'une plateforme web (Figure 2) où les transporteurs sont invités (en général le matin) à télécharger leurs prévisions de tournées sur l'agglomération. Notre service récupère les informations de trafic prévues par les services urbains, en prenant en compte les fermetures programmées de voies (travaux, manifestations...) ou les autres types d'événements connus susceptibles d'affecter la circulation (marchés, manifestations sportives etc.). Ces données permettent dans un premier temps de fournir aux usagers des propositions de tournées (ou de déplacements en général) optimisées (Figure 3) et l'entreprise peut ainsi planifier au mieux l'usage de ces ressources, en ajustant éventuellement ses plans, et réduire son incertitude sur le déroulement des missions.

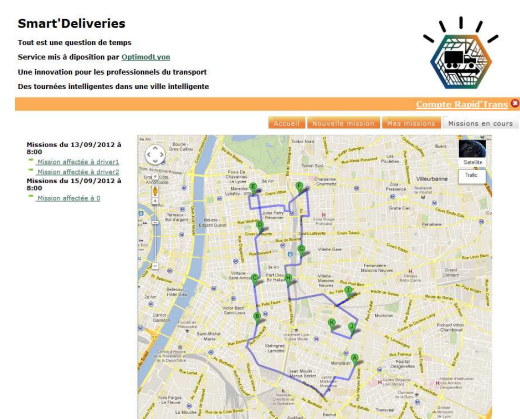
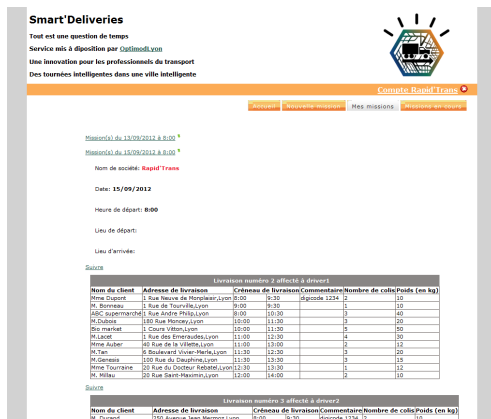


Figure 2 et Figure 3 : Tournées entrées dans le système (par chargement d'un fichier) et propositions optimisées par notre service.

Dans un deuxième temps, ce service donne la possibilité aux chauffeurs-livreurs de télécharger sur leur téléphone mobile (dont ils sont pratiquement tous équipés) les missions dont ils ont la charge (Figure 4). Le conducteur peut proposer des changements dans la tournée proposée pour tenir compte de contraintes inconnues du système comme par exemple les horaires particuliers d'un point de livraison. Notre application de suivi de tournée peut invoquer des outils de navigation point à point classiques comme Navtruck ou Google Navigator.



Figure 4 et Figure 5 : l'interface de gestion de tournée pour le chauffeur

Télécharger la mission permet d'en suivre le déroulement, au bénéfice du livreur, de l'entreprise, et de la ville :

- Pour la ville, le suivi de la mission et l'observation de ses écarts par rapport aux prévisions permettent un calibrage plus fin du service.
- Pour le livreur et l'entreprise, ce service peut proposer des changements appropriés (tenant compte de la tournée dans son ensemble) en cas d'événements imprévus. Par exemple, au lieu d'indiquer un itinéraire alternatif pour joindre le prochain point à livrer, notre système propose de se rendre à un point ultérieur de la tournée, et de revenir une fois l'incident résorbé.

3 Mise en œuvre

Seule la connaissance de la demande de déplacement dans son ensemble et de l'état du réseau permet de fournir ce service avec une garantie de qualité.

De nombreuses difficultés se présentent pour la réalisation de ce type de service:

- Difficultés mathématiques : le calcul de tournées dans un environnement changeant avec le temps fait partie de la classe de problèmes naturellement « durs » (dit NP-complets). Même des instances de 20 étapes peuvent requérir l'utilisation de moyens de calculs impossibles à mettre en pratique si on se contente d'approches de résolutions simples. Pour éviter cela nous nous servons de notre expertise en recherche opérationnelle et optimisation et du logiciel IBM ILOG CPLEX [9].
- Difficulté de sécurité : les données stockées par le système sont de nature hautement confidentielle. Il est donc nécessaire que ce service soit extrêmement sûr.
- Facteurs humains : ce type de service n'est rentable à exploiter que s'il couvre une portion raisonnablement importante de la demande en déplacement.

Face à ces difficultés que nous considérons comme surmontables [10], nous entreprenons d'ici le deuxième trimestre une expérimentation du système avec quelques partenaires. Il s'agit de calibrer nos services pour nous assurer de leur efficacité et de leur utilisabilité avant de les proposer à tous si nos résultats sont conformes à nos projections. Nous pensons également qu'il est utile d'expérimenter sur d'autres communautés urbaines avant de finaliser une proposition du produit.

IV Conclusion

Les services à valeur ajoutée que propose IBM pour Optimod'Lyon sont à notre avis une parfaite illustration des bénéfices qu'apporte le développement de l'instrumentation urbaine pour l'ensemble des usagers de la ville.

Pour les services de régulation et d'information, le bénéfice est triple :

- Une nouvelle source d'information : les déplacements planifiés.
- Un nouvel instrument de régulation : l'orientation des flux de véhicules professionnels.
- Une source de revenus potentiels pour amortir les investissements d'instrumentation urbaine : l'optimisation des déplacements professionnels.

Pour les usagers professionnels, le bénéfice est également multiple :

- Réduction de l'incertitude.
- Stress réduit pour les chauffeurs.
- Réduction des émissions.

- Amélioration de la satisfaction des clients.
- Productivité et marges accrues.

Enfin, on peut attendre une satisfaction accrue de tous les acteurs de la ville, en faisant évoluer la gestion de la mobilité :

- d'une régulation réactive vers une régulation proactive : la prédiction du trafic et la connaissance des déplacements planifiés permettent de mieux anticiper et orienter les flux pour les organiser au mieux.
- d'une régulation globale vers une régulation individualisée : c'est en prenant en compte la demande en mobilité de chacun (ou presque) qu'il devient envisageable de répondre le mieux possible aux besoins.

Pour paraphraser Boris Vian : *'Ce qui nous intéresse, ce n'est pas d'améliorer la mobilité de tous, mais celle de chacun'*.

Bien sûr cette vision demande encore de nombreux efforts de recherche et de développement pour se matérialiser. C'est pourquoi des projets à vocation expérimentale tels qu'Optimod'Lyon, des organismes financeurs comme l'ADEME et des industriels à l'image d'IBM, qui ont les moyens et la volonté d'investir dans ces recherches, sont nécessaires pour la faire aboutir.

V Références

1. Optimod Lyon project. <http://www.optimodlyon.org>.
2. IBM Smarter Cities program. http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/index.html
3. Vlahogianni, E.I. Karlaftis, M.G. Golias, J.C. (2005). *Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach*, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13,(3), 211--234.
4. Karlaftis, M.G. and Vlahogianni, E.I. (2011). *Statistical methods versus neural networks in transportation research: differences, similarities and some insights*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19, 387--399.
5. Kamarianakis, Y., Kanas, A., and Prastacos, P. (2005). *Modeling Traffic Volatility Dynamics in an Urban Network*. In *Transportation Research Record*, Journal of the Transportation Research Board.
6. Min, L. and Wynter, L. (2011). *Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19, 606--616.
7. Kamarianakis, Y., Shen, W., and Wynter, L. (2012). *Real-time road traffic forecasting using regime-switching space-time models and adaptive LASSO*. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, forthcoming.
8. IBM Intelligent Operations Center for Smarter Cities. <http://www-142.ibm.com/software/products/us/en/intelligent-operations-center/>
9. IBM ILOG CPLEX Optimizer. *High-performance mathematical programming solver for linear programming, mixed integer programming, and quadratic programming*. <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizer/>
10. Aguiar-Melgarejo, P. Baudel, T. & Solnon, C., *Global and reactive routing in urban context: first experiments / first difficulty assessment*. in [Optimization and Smart Cities](#) Lisa Amini and Pascal Van Hentenryck Editors, CP 2012 Workshop.