Outil de supervision d'un réseau multimodal pour l'aide à la régulation en cas d'incident.

Ahmed Amrani, Mostepha Khouadjia, David Lellouche, Vivien Gazeau, Hakim Arezki, Oussama Allali

▶ **To cite this version:**

Ahmed Amrani, Mostepha Khouadjia, David Lellouche, Vivien Gazeau, Hakim Arezki, et al.. Outil de supervision d'un réseau multimodal pour l'aide à la régulation en cas d'incident.. 48ème Congrès ATEC ITS France, Jan 2021, Montrouge, France. hal-03066036

HAL Id: hal-03066036
https://hal.science/hal-03066036

Submitted on 20 Jan 2022

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.

48ème Congrès ATEC ITS FRANCE
LES RENCONTRES DE LA MOBILITÉ INTELLIGENTE
19, 20 & 21 JANVIER 2021
PARIS - BEFFROI DE MONTROUGE
ACCESSIBILITÉ, SÉCURITÉ, RÉSILIENCE, INNOVATION : DÉFIS POUR LA MOBILITÉ
Conférences, Exposition, Rencontres

RESUME PRODUITS ET SERVICES INNOVANTS

Outil de supervision d'un réseau multimodal pour l'aide à la régulation en cas d'incident

Ahmed Amrani, Ingénieur Chercheur - IRT SystemX; Mostepha Khouadjia, Chef de Projets R&D – IRT SystemX, David Lellouche, Ingénieur R&D et Normalisation - RATP; Vivien Gazeau, Ingénieur R&D - RATP; Hakim Arezki, Data scientist - RATP, Oussama Allali, Ingénieur de recherche - Cosmotech

1) Enjeux, objectifs : A quels besoins répondent-ils ?

De nos jours, dans les villes intelligentes, le développement des technologies de traitement des données collectées en temps réel et la croissance rapide des capacités de stockage permettent de faciliter la collecte de ces données et d'améliorer leur disponibilité et leur traitement. Ceci est d'autant plus vrai pour les transports en commun où les données sur les véhicules, les flux de passagers et les incidents sont de plus en plus disponibles en temps réel (Aknin et al., 2018). Ces flux sont normalisés pour l'offre planifiée et temps réel. Ils ne le sont pas pour la demande et le réalisé même si des travaux démarrent pour intégrer la charge dans le profil SIRI France.
Plusieurs cas d'utilisation de ces données peuvent avoir un intérêt pour un opérateur : d'une part, elles peuvent servir pour restituer l'état courant du système de transport par le calcul d'indicateurs clés de performance. D'autre part, elles peuvent servir à anticiper l'état futur du réseau de transport en fournissant des prédictions et des projections.
Dans le cadre du projet MSM (Modélisation de Solution de Mobilité) à l'IRT SystemX avec l'expertise métier de la RATP, nous développons **un outil de supervision d'un réseau de transport multimodal.** Cet outil exploite des données collectées en temps réel, des modèles prédictifs et un simulateur multimodal afin d'aider les opérateurs de transport à anticiper l'évolution du système et de trouver des stratégies de régulation adaptées au contexte notamment en cas d'incidents inopinés.

2) Caractéristiques

L'outil de supervision multimodal proposé se décompose en deux principaux volets complémentaires. D'une part, il permet de représenter les différents éléments qui reflètent la situation actuelle du réseau. D'autre part, il permet de projeter l'état du système notamment en cas d'incidents. Pour ce faire, le système de supervision englobe les fonctionnalités suivantes:

- **Surveiller:** Cette fonctionnalité consiste à présenter une vue globale et précise de l'état actuel du réseau en exploitant les données collectées en temps réel. Cette vision est obtenue par le calcul de plusieurs indicateurs clés (retard, ponctualité, régularité, confort, etc.) qui permettent d'analyser la situation et de détecter les dysfonctionnements dans l'offre et dans la qualité du voyage. Pour les besoins de l'expérimentation nous avons autant que possible calculé ces indicateurs sur la base de ceux demandés par l'autorité organisatrice.

- **Prédire :** La prédiction est effectuée via deux types d'approches. Une approche basée sur les données et une approche basée sur la simulation.

    - La première approche permet de prédire différents indicateurs tel que l'affluence en gare, la charge des véhicules, la durée des incidents, etc. Pour ce faire, nous utilisons des méthodes basées sur l'apprentissage automatique comme les forêts aléatoires et les réseaux de neurones. Ces modèles permettent de prédire un indicateur à la fois (Amrani et al., 2020a; Pasini et al., 2019 ; Toqué et al., 2017).
    - Afin de pouvoir prévoir l'évolution globale du système ainsi que les phénomènes émergents résultants des interconnexions entre les sous-systèmes, comme l'impact du flux de passagers sur la planification des véhicules ou des retards sur le comportement des passagers, nous exploitons, en complément, une approche basée sur la simulation (Amrani et al., 2020b). Notre simulateur en temps contraint est alimenté par plusieurs modules prédictifs, tels que la prédiction du flux de passagers et l'estimation de la durée des incidents (Li et al. 2018; Louie et al., 2016). Un focus sera fait sur l'analyse métier des perturbations et l'intérêt et les limites de l'apprentissage pour la prédiction et la modification de l'offre.

- **Evaluer les impacts et mettre en place des scénarios de régulation :** Afin d'atténuer les impacts des incidents, il est nécessaire de mettre en place des stratégies de replanification et de reroutage de passagers. Le simulateur multimodal permettra d'évaluer ces stratégies avant leur application effective sur le réseau.

L'outil se présente sous la forme d'un outil de supervision destiné à être déployé dans un centre de régulation de trafic et d'information voyageur.

3) Architecture générale

L'une des principales caractéristiques d'un système de supervision est sa capacité à représenter l'état actuel du réseau (Figure 1 : Architecture générale). Cette fonctionnalité est obtenue en exploitant plusieurs types de données (incidents, information sur les véhicules, information sur les voyageurs, etc.), qui sont collectées, traitées, consolidées et réconciliées en temps réel.
La prise de décision nécessite également une prédiction fiable de l'évolution de l'état du réseau. Pour réaliser cette prédiction, nous utilisons à la fois des données en temps réel et des données historiques. La fonction de prédiction est réalisée par deux approches : une approche basée sur les données (apprentissage automatique et statistique) et une approche basée sur la simulation. La prédiction du flux de passagers est effectuée à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique. Les estimations des conséquences et de la durée des incidents sont réalisées à l'aide d'un modèle statistique. Pour pouvoir prédire l'évolution de l'ensemble du système et les phénomènes émergents résultant des interconnexions liées à la ligne affectée, nous utilisons un simulateur à temps contraint. Ce simulateur exploite un modèle d'estimation de la durée de l'incident. Enfin, le simulateur réaliste permet aussi d'évaluer différente stratégies de contrôle en un temps contraint. Le simulateur peut évaluer plusieurs plans de transport ou scénarios de restaurations en parallèle.

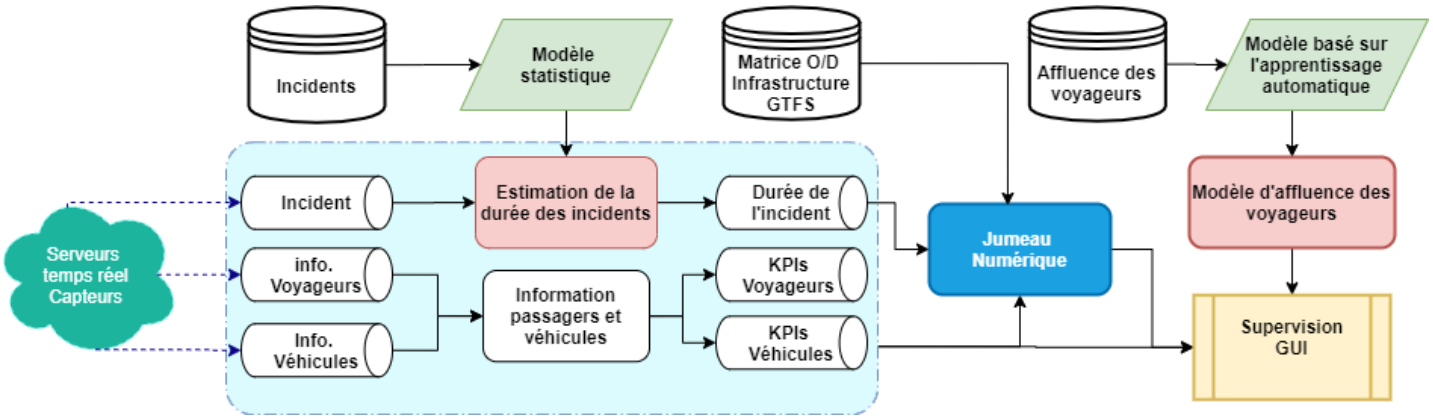

Figure 1 : Architecture générale

4) Résultat de l'expérimentation et/ou de sa mise en œuvre

Dans cette section, nous présentons le cas d'usage de notre système de supervision appliqué à une ligne de bus appartenant à un secteur très fréquenté du réseau de transport multimodal. L'objectif de cette expérience est de mieux comprendre le comportement des passagers et d'adapter l'offre de transport pour répondre à la demande en temps réel. Nous avons choisi la ligne de bus 360 pour son profil intéressant: elle relie le quartier d'affaires de La Défense - qui est fortement connecté à un vaste sous-réseau de transport en commun avec différents modes : trains de banlieue, trains régionaux, métro, tramway et bus - et l'hôpital de Garches, dans l'ouest de Paris. Cette ligne dispose d'une flotte de 10 bus du même modèle, tous équipés de capteurs basés sur la technologie CMOS 3D. Ces capteurs sont utilisés pour calculer le nombre de montants et de descendants à chaque arrêt. Les principaux problèmes de cette ligne sont sa longueur importante, le nombre importants d'incidents, les modifications de l'itinéraire et certains changements du tracé de la route.

Les informations qui aideront les régulateurs dans leur prise de décision sont présentées sous la forme d'un tableau de bord divisé en deux écrans.

- Le premier écran (Figure 2 : Écran supervision - temps réel) affiche les informations temps réel relatives à la charge des véhicules et au nombre de passagers au niveau des arrêts. Il affiche une visualisation cartographique et synoptique de la ligne où les véhicules sont colorés en fonction de la charge à bord. L'écran affiche aussi différents indicateurs calculés en temps réel qui concernent la qualité de l'offre et le confort des passagers: la ponctualité, la régularité et le kilométrage et le taux de charge des véhicules.

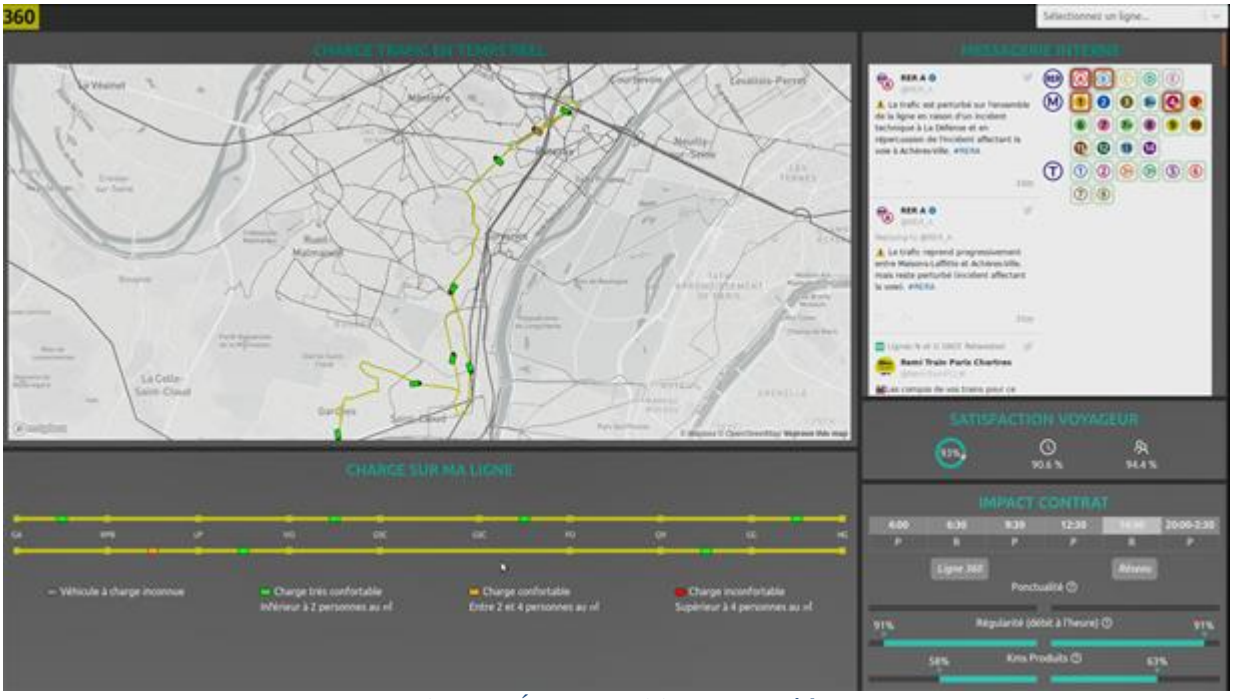

Figure 2 : Écran supervision - temps réel

- Le deuxième écran (Figure 3 : Écran supervision – report modal) affiche les indicateurs liés aux situations perturbées. Il montre les alertes d'un incident, sa durée estimée et le nombre de passagers impactés par l'événement. La durée de l'incident est estimée par un module basé sur l'apprentissage automatique et le nombre de passagers impactés est calculé en utilisant la simulation. L'écran montre principalement les résultats de la simulation en indiquant les lignes affectées par l'incident et le nombre de passagers en surnombre pour chaque ligne en correspondance.

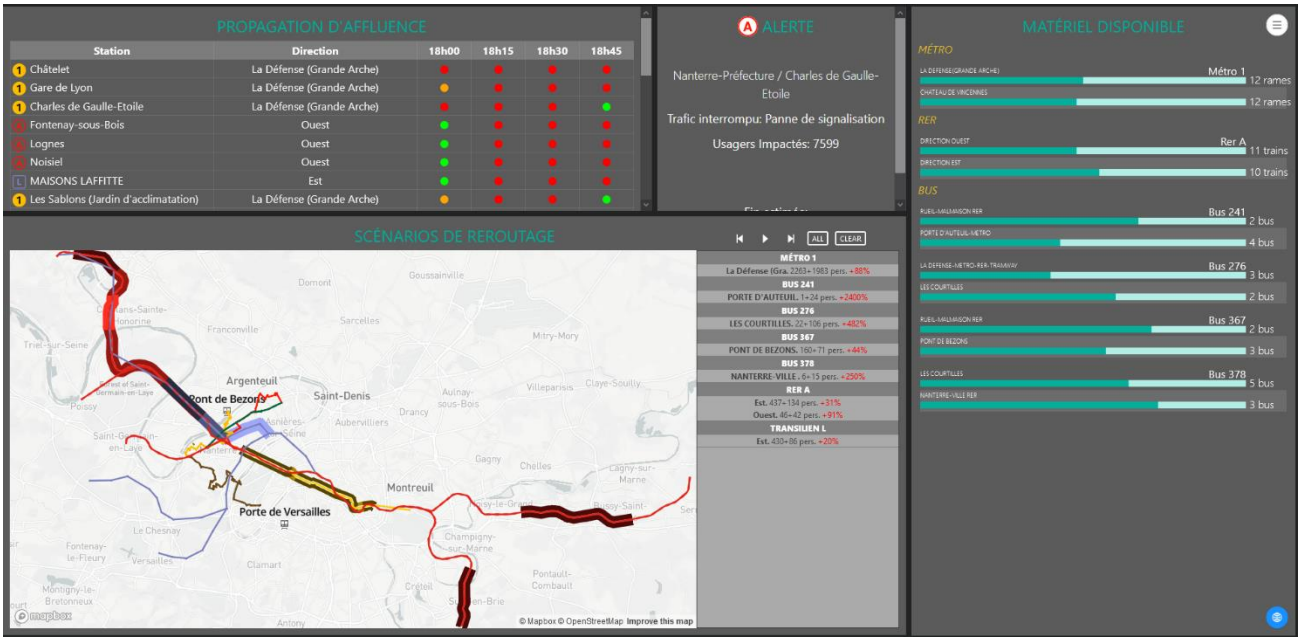

Figure 3 : Écran supervision – report modal

5) Perspectives de développement

Le superviseur multimodal présenté permet d'une part, de visualiser l'état actuel du réseau de transport et d'autre part, en cas d'incident, de prédire l'évolution de l'état du système en se basant sur des modèles prédictifs et un simulateur à temps contraint.

Pour les prochaines évolutions du superviseur, nous envisageons d'intégrer un module de proposition automatique de stratégies dynamiques de replanification de l'offre et de reroutage des passagers en cas d'incident. Ces stratégies contextuelles prendront en compte les charges, la prédiction de charge et les capacités des véhicules. Dans notre cas, nous adapterons les capacités en fonction du niveau de confort souhaité et des contraintes sanitaires de distanciation physiques.

Aujourd'hui, le superviseur n'est qu'un outil d'aide à la décision, il doit être augmenté pour permettre de tester des scénarios d'ajout d'offre afin de répondre à une situation et valider les résultats. Aujourd'hui, le simulateur ne fait que traduire les évolutions d'offre liées aux perturbations. Il est donc nécessaire de pouvoir la faire évoluer indépendamment des incidents.

Concernant la demande, la période Covid nous enseigne que l'on ne peut pas se contenter des estimations sur une journée type issue d'une enquête décennale. Il faut avoir une entrée temps réel concernant les flux de voyageurs, la charge à bord et sur site pour au moins redresser les modèles de long terme et injecter de la dynamique dans les simulations.
Les indications de charge des véhicules et sur site vont être intégrés dans le standard européen d'échange SIRI et dans le profil France pour répondre aux aspirations de voyage en confort et de distanciation pour autant que l'offre puisse être augmentée. Ce sera quoi qu'il arrive un bon outil de planification du voyage s'il est intégré dans les outils digitaux accessibles aux voyageurs et aux régulateurs, si le télétravail et la flexibilité des horaires permettent d'outrepasser les incontournables trajets bimodaux domicile/travail et les pics d'affluence du matin et du soir qui les accompagnent. Plus que jamais les voyages et les transports doivent se penser et s'effectuer dans une ville, durable en favorisant par la modification des comportements des cycles tenant compte des ressources et en optimisant les déplacements en dehors de ces heures de congestion ou les marges de manœuvre sont infimes.
La prise en compte du confort sur un trajet multimodal et l'amélioration de l'information voyageur qui doit y être associée fourniront avec les données collectées autour de la demande et des flux une vision centrée sur le voyageur.

6) Références

Aknin, P., Côme É., Oukhellou L. « L'ouverture des données, une opportunité pour la recherche sur les transports et la mobilité », Transports urbains, 2018/1 (N° 132), p. 21-27. DOI : 10.3917/turb.132.0021. URL : https://www.cairn.info/revue-transports-urbains-2018-1-page-21.htm

Amrani, A., Pasini, K., Khouadjia M. (2020), "Enhance Journey Planner with Predictive Travel Information for Smart City Routing Services",Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems 2020, Delft.

Pasini K., Khouadjia M., Samé A., Ganansia F., Oukhellou L. (2019), "LSTM Encoder-Predictor for Short-Term Train Load Forecasting". In: Brefeld U., Fromont E., Hotho A., Knobbe A., Maathuis M., Robardet C. (eds) Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. ECML PKDD 2019. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11908. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46133-1_32

Toqué F., Khouadjia M., Come E., Trepanier M., Oukhellou L. (2017). "Short long term forecasting of multimodal transport passenger flows with machine learning methods", IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 560-566, doi: 10.1109/ITSC.2017.8317939.

Amrani, A., Arezki, H., Lellouche, D., Gazeau, V., Fillol, C., Allali, O. et Lacroix, T. "Architecture of a Public Transport Supervision System Using Hybridization Models Based on Real and Predictive Data". DSD 2020: 440-446

Li, R., Pereira, F. C., et Ben-Akiva, M. E. "Overview of traffic incident duration analysis and prediction," Eur. Transp. Res. Rev., vol. 10, no 2, p. 22, mai 2018, doi: 10.1186/s12544-018-0300-1.

Louie, J., Shalaby, A. et Habib, K. N. "Modelling Disruption Duration for Toronto's Subway System: An Empirical Investigation Using Lognormal Regression and Hazard Model," présenté à Transportation Research Board 95th Annual MeetingTransportation Research Board, 2016, Consulté le: avr. 09, 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://trid.trb.org/view/1393290

Remerciement

L'outil de supervision du réseau multimodal est développé dans le cadre du projet MSM (Modélisation de Solutions de Mobilité) piloté par **l'institut de Recherche Technologique SystemX** et en partenariat avec RATP, ALSTOM et Cosmotech. Les auteurs tiennent à remercier l'équipe du projet MSM.

Brève biographie du ou des auteurs :

Ahmed AMRANI est ingénieur chercheur au sein de l'Institut de Recherche Technologique SystemX. Il intervient dans plusieurs projets de R&D dans les domaines de la mobilité et de l'énergie. Docteur en informatique diplômé de l'université de Paris-Sud, il dispose de plus de dix ans d'expérience professionnelle en intelligence artificielle et en architecture logicielle. Il a travaillé dans plusieurs entreprises en tant qu'ingénieur R&D et ingénieur logiciel de systèmes complexes notamment de télé-billettique.

Mostepha KHOUADJIA est chercheur et chef de projets R&D à l'institut de Recherche Technologique SystemX. Il a obtenu son doctorat en informatique à l'Université de Lille, et a poursuivi sa carrière dans la recherche avec un post-doctorat à l'INRIA Saclay–Île-de-France et dans l'industrie auprès de grands groupes. Ses domaines d'expertise portent sur la data science, le machine learning, l'optimisation combinatoire, la simulation multi-agents et le calcul distribué. Cette expertise est appliquée sur des problématiques diverses autour de la mobilité urbaine, les systèmes de transport, la logistique, et les villes intelligentes.

David Lellouche est un concepteur de systèmes transports et d'information voyageurs innovants à la RATP. Il a mis en place les premiers systèmes SIG de localisation des Bus, de recherche d'itinéraire, d'accessibilité en lien avec le BIM et d'échanges de données entre transporteurs et Autorités organisatrices avec les standards. Il complète cette activité par une participation aux instances de normalisation françaises et européennes sur les modèles de données et formats d'échange. Son expérience dans les ITS, la mobilité et les données le conduisent à s'intéresser aux nouvelles techniques IA de traitement des données pour des cas d'usage transport.

Vivien Gazeau est diplômé de l'ESME Sudria (Paris, France) en 2004. Il est également titulaire d'un MBA de l'IAE de Paris (Sorbonne Université) depuis 2015. Après plusieurs années de conseil en informatique, il rejoint le Groupe RATP en 2010 en tant qu'ingénieur système. En 2016, il participe au programme intrapreneur de la RATP et développe un outil de cartographie du trafic et de la fraude basé sur l'exploitation massives de données de comptage et de validation de passagers. Depuis 2017, en tant que chef de projet innovation à la RATP, il participe à un projet de recherche de simulation et de supervision d'un réseau de transport multimodal et également à un projet d'infrastructures connectées au service des villes intelligentes.

Hakim Arezki est diplômé de Supelec (Paris-Saclay) avec un doctorat en physique. En 2014, il a rejoint SQLI en tant que consultant informatique ; il a travaillé sur des projets orientés données dans différents domaines tels que les transports publics, la consommation énergétique et le commerce électronique. Depuis 2018, dans le cadre d'une collaboration entre le groupe RATP et l'IRT SystemX, Hakim est impliqué dans le projet MSM dédié à la mobilité urbaine.

Oussama Allali est ingénieur de recherche spécialisé en modélisation et simulation. Depuis, 2014, il est responsable technique et fonctionnel de l'axe mobilité au sein de CosmoTech. Il a un doctorat de l'université Pierre et Marie Curie dans le domaine de la théorie des graphes/machine learning.