

Modélisation dynamique de la congestion avec une demande élastique

Nicolas MONY¹, Olivier NALIN² et Alexandre NICOLAS¹

¹ Bureau d'études Explain

36 rue de Paris, 93100 Montreuil

² Direction Interdépartementale des Routes MEDiterranée

16, rue Antoine Zattara, CS 70248, 13331 Marseille cedex 3

Résumé : *Nous proposons et mettons en œuvre une approche innovante de la modélisation dynamique de la congestion qui intègre une rétroaction des variations des temps de parcours sur la matrice de demande. Après avoir mis en évidence, par un exemple schématique, la nécessité de prendre en compte l'élasticité de la demande, nous nous plaçons dans le contexte des autoroutes structurantes de l'agglomération marseillaise, sur le corridor Aubagne-Marseille, et mettons en place une simulation couplant un modèle de trafic dynamique et une boucle de rétroaction sur la demande. Nous discutons l'effet de l'élasticité sur les prévisions d'impact d'aménagements capacitaires des voies.*

La congestion des voies structurantes de l'agglomération marseillaise est un enjeu économique important. Le trafic s'y caractérise par des flux métropolitains élevés (650.000 déplacements par jour), effectués à 96% en véhicule particulier, avec trois corridors principaux, structurés en étoile autour de Marseille et concentrant chacun plus de 50.000 déplacements journaliers [1]. Cette situation génère des conditions de trafic dégradées, en particulier aux heures de pointe, et une importante pollution. Pour donner un ordre de grandeur, si l'on considère que, chaque jour, 300.000 personnes perdent entre 10 et 30 minutes, du fait de la congestion routière, cela représente 30 millions d'heures perdues, soit au moins 300 millions d'euros par an.

En 2018, la L2, section d'autoroute urbaine de 10 km qui connecte les autoroutes A7 et A50, a été mise en service. Cet investissement de plus de 600 millions d'euros a modifié sensiblement la distribution des déplacements et la localisation de la congestion dans Marseille. La congestion s'est renforcée sur certaines sections des autoroutes A7 et A50, sans que cela ait été anticipé par la modélisation. La décharge des axes parallèles à la L2, à l'inverse, n'a pas été aussi forte que prévu. L'explication de ces observations est que la demande est une fonction décroissante du temps de parcours (figure 1) : on dit qu'elle est « élastique ». Quand une nouvelle infrastructure est construite ou qu'un itinéraire se voit déchargé, la réduction du temps de parcours ainsi obtenue induit un accroissement de la mobilité.

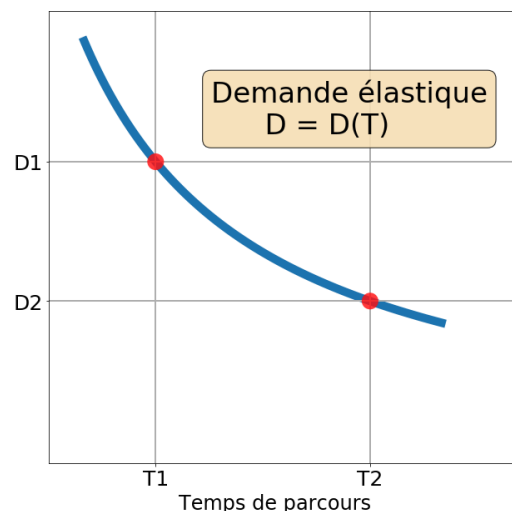


Figure 1. Courbe schématique d'évolution de la demande avec le temps de parcours.

Cependant, les ingénieurs du trafic considèrent souvent que l'élasticité de la demande est un phénomène trop complexe pour être intégré à une modélisation *dynamique* de la congestion en période de pointe. Il est donc accepté par la communauté technique de faire des prévisions de l'impact d'un aménagement de capacité, sans prendre en compte cette élasticité. A l'inverse, certains observateurs, constatant l'impuissance des infrastructures nouvelles à résorber la congestion, considèrent que le trafic a une faculté illimitée à se développer pour embouteiller toutes les routes que l'on pourrait construire. Cette doctrine est à l'origine de la maxime « *You can't build*

your way out of congestion », en vogue aux Etats-Unis après qu'eut pris fin la phase initiale de frénésie constructrice. En Californie, par exemple, Cervero estime que 80% de l'accroissement de la capacité routière entre 1980 et 1994 auraient été absorbés par du trafic supplémentaire aux heures de pointe, dont la moitié serait directement due aux travaux effectués [2].

Pour prévoir l'influence de stratégies de fluidification du trafic à l'étude pour le réseau structurant marseillais, il nous paraît important de dépasser cette dichotomie entre une élasticité de la demande nulle et une élasticité infinie. Pour ce faire, nous proposons dans cette communication une approche innovante de la modélisation dynamique de la congestion qui intègre une rétroaction (finie) des variations des temps de parcours sur la matrice de demande. Après avoir illustré par un exemple simplifié les insuffisances des approches ordinaires de la modélisation de la congestion sur les réseaux structurants, nous considérerons le cas du corridor Aubagne-Marseille, pour lequel sera mise en œuvre une simulation couplant un modèle de trafic dynamique et une boucle de rétroaction sur la demande. Nous concluons sur l'impact de la prise en compte de l'élasticité sur les prévisions de trafic sur l'axe considéré et l'évaluation socio-économique des projets.

I. Importance de la prise en compte de l'élasticité de la demande de transport

Pour illustrer l'importance de l'élasticité, nous commençons par exposer un exemple qui, pour schématique et simplifié qu'il soit, n'est pas très éloigné de situations réelles.

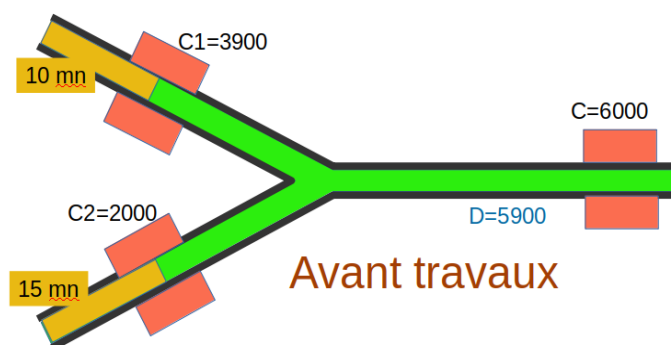
Précisons tout d'abord la définition de l'élasticité : l'élasticité est un paramètre dans un modèle faisant intervenir une demande (un volume de trafic), et un coût qui se résume souvent à un temps de parcours. La modélisation de la congestion peut prendre plusieurs formes fonctionnelles et les valeurs de l'élasticité ne sont pas comparables d'un modèle à l'autre. Des valeurs numériques de l'élasticité n'ont de sens qu'en référence au périmètre d'étude du modèle considéré.

Quand on travaille sur une section de route particulière, on observe des trajets qui ne représentent qu'une partie des déplacements concernés. Pour modéliser l'élasticité, il est préférable de rapporter la variation du temps de parcours envisagée sur la section, à la durée totale des déplacements.

On considère ici une autoroute à 3 voies (capacité de 6.000 veh/h) qui présente, dans sa partie amont, un pont à 2 voies étroites (capacité de 3.900 veh/h). On ajoute une entrée sur l'autoroute en adjonction (capacité de 2.000 véh/h). Le schéma ci-contre représente la situation initiale.

Les capacités cumulées de la section amont et de la bretelle sont inférieures à la capacité de l'autoroute à l'aval. La congestion se situe donc en amont. Les demandes « potentielles » sur les deux branches sont supérieures aux capacités. Les demandes « servies » sont donc déterminées par les capacités des sections amont, 3.900 veh/h pour la section courante, 2.000 veh/h pour la bretelle.

Les temps perdus dans la congestion sont les coûts correspondant aux valeurs des capacités sur les courbes de demande. Le temps perdu sur la section courante représente 400.000 h/an et conduit à considérer le projet d'élargir le pont qui limite la capacité. Si l'on ne prend pas en compte la variation de la demande, on prévoira que les usagers de la section courante gagneront 10 mn et que la situation sera inchangée sur la bretelle.



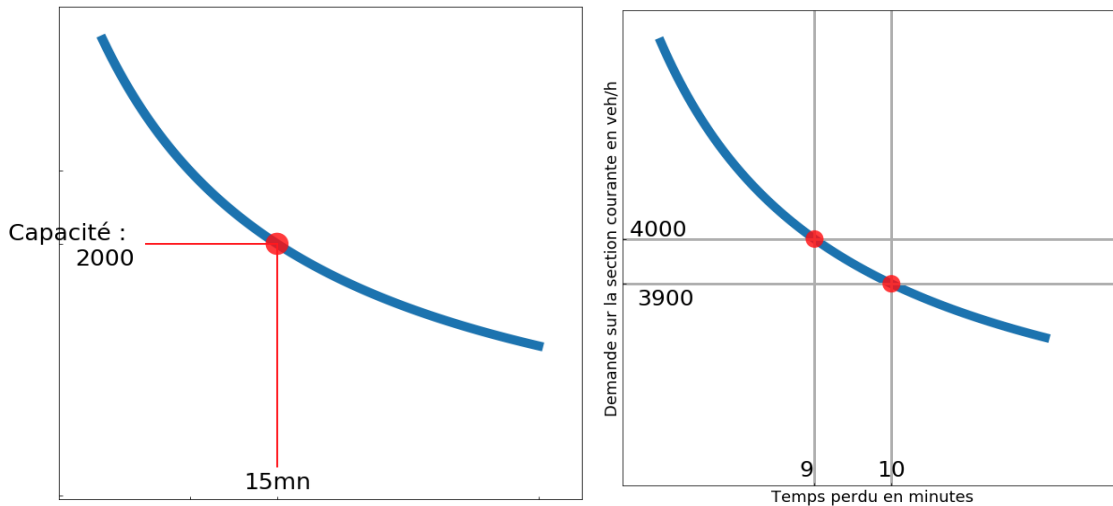
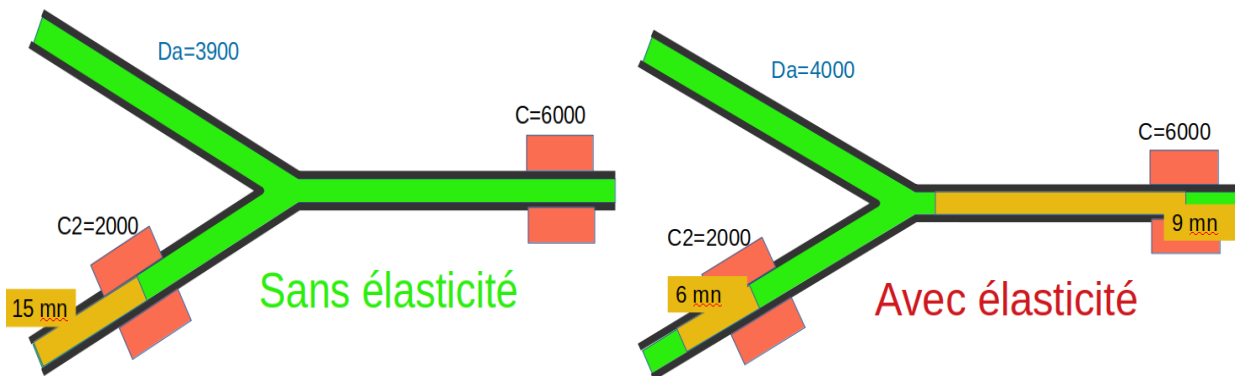


Figure 2. (Gauche) Relation entre la capacité d'une voie et le temps de parcours, à demande constante (élasticité nulle). (Droite) Relation entre la demande et le temps perdu par voyageur, si l'élasticité de la demande est intégrée.



La prise en compte de l'élasticité de la demande donne un résultat très différent.

La demande n'étant plus limitée par la capacité amont sur la section courante, elle augmente de 100 veh/h, de telle sorte que la capacité de la section aval soit atteinte.

Le temps perdu par les usagers de la section courante peut être lu sur la courbe de demande correspondante (voir la figure 2). Les valeurs de la demande avant et après l'aménagement ne sont pas très différentes, le temps de parcours variera donc assez peu (nous retenons une minute). Il est intéressant de constater que ce résultat n'est pas très sensible à la valeur de l'élasticité.

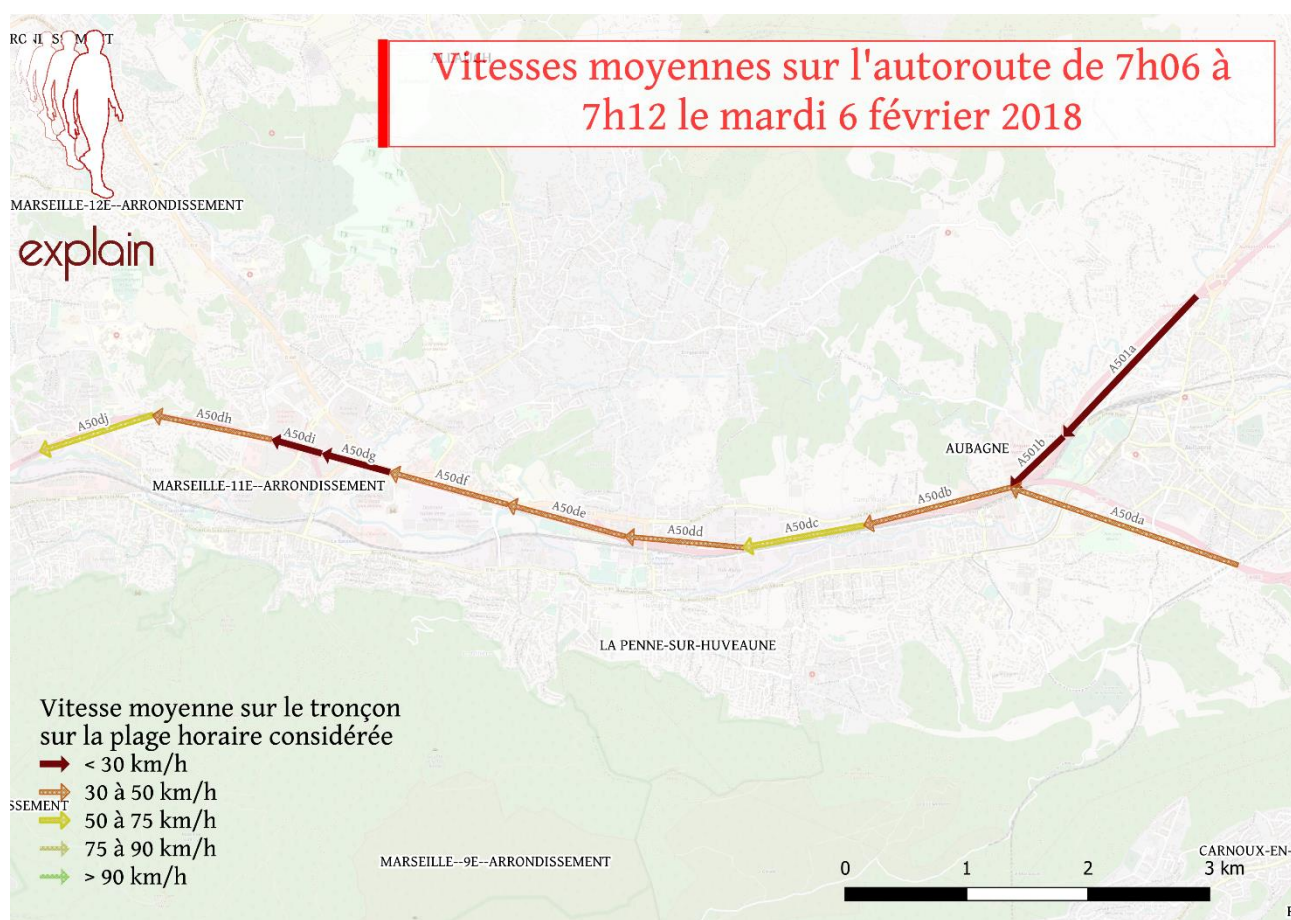
L'élargissement du pont ne ferait en réalité que déplacer la congestion de l'amont vers l'aval.

Sur la bretelle, la demande reste déterminée par la capacité mais le temps perdu à ce niveau passe de 15 à 6 minutes puisque le temps perdu total des usagers de la bretelle reste constant.

Cet exemple schématique démontre que la prise en compte de l'élasticité de la demande est essentielle pour prévoir l'effet d'un aménagement routier sur un réseau congestionné, l'incertitude sur la valeur de l'élasticité constituant certes une difficulté, mais pas un obstacle majeur, dans la mesure où les résultats peuvent présenter une faible sensibilité à cette valeur.

II. L'axe A50/A501 entre Aubagne et Marseille, un corridor saturé aux heures de pointe

Après cet exemple schématique, nous considérons le cas concret du convergent entre l'A51 et l'A501 d'Aubagne vers Marseille, qui permet d'introduire les différentes données de trafic disponibles et les informations qu'on peut en retirer. Il s'agit de la jonction de deux autoroutes (qui isolément sont assez peu congestionnées) en un axe fortement congestionné avec une remontée de la congestion en amont du convergent. Dans l'hyperpointe du matin en jour ouvré de base (*lundi, mardi et jeudi – les mercredis et vendredis présentant un profil sensiblement différent*), le temps de parcours d'Aubagne à Marseille va jusqu'à tripler, passer de 8 minutes à près de 25 minutes ; la vitesse sur certains tronçons descend en deçà de 30 km/h, alors que la limite est à 90 km/h sur la majorité du linéaire. Le détail de l'analyse que nous avons menée sur l'état du trafic, ainsi que de sa modélisation, peut être consulté sur le site : <https://github.com/nicolasmony/CongestionAixMarseille>



Les diverses données disponibles – comptages SIREDO en section courante par pas de temps de 6 minutes, comptages aux bretelles d'entrée et de sortie, temps de parcours FCD de voitures flottantes – fournissent une image plus précise du scénario d'émergence de la congestion. Aux alentours de 7h (mais avec une claire variable interjournalière), le tronçon monovoie de l'A501 juste avant le convergent commence à saturer ; la congestion remonte alors le long de l'A501 mais atteint aussi, en parallèle l'aval du convergent ainsi que la branche amont de l'A50. De manière concomitante, des points durs apparaissent plus loin d'Aubagne, à l'entrée de la Valentine puis au niveau de La Penne sur Huveaune.

Diverses stratégies sont envisagées pour fluidifier le trafic et prioriser certains modes, comme la création de voies réservées aux transports en commun et/ou aux co-voitureurs. Ces stratégies doivent

être étudiées en amont, avant leur possible mise en œuvre, ce à quoi concourent les simulations dynamiques.

III. Modélisation dynamique du trafic sur l'axe A50/A501

Modèle dynamique de trafic

La modélisation des situations de congestion que l'on rencontre sur le réseau structurant marseillais ne peut se traiter par un modèle aussi simple que celui présenté en section I, elle demande en particulier de prendre en compte explicitement les variations temporelles de la matrice de demande au cours de la journée. Néanmoins, le mécanisme en jeu tenant à la base un mécanisme de files d'attente, il est raisonnable de se contenter, en première approche, d'une modélisation macroscopique dynamique relativement simple.

Parmi les modèles disponibles de ce type, LWR est sans doute le mieux établi [3]. Il s'agit d'un modèle dit « de premier ordre », qui postule donc que les vitesses de circulation s'ajustent instantanément à la densité locale $k(x, t)$ en tout point x , de même postule que le débit de véhicules q

$$q(x, t) = Q[k(x, t)],$$

où la fonction Q représente le « diagramme fondamental » de circulation, supposé triangulaire (cf figure 3). La forme à peu près triangulaire du diagramme est corroborée par des mesures empiriques (SIREDO) en un point de l'axe A50/A501 (la pente dans la phase congestionnée, notée w sur la figure, donne la vitesse de propagation des ondes de congestion) :

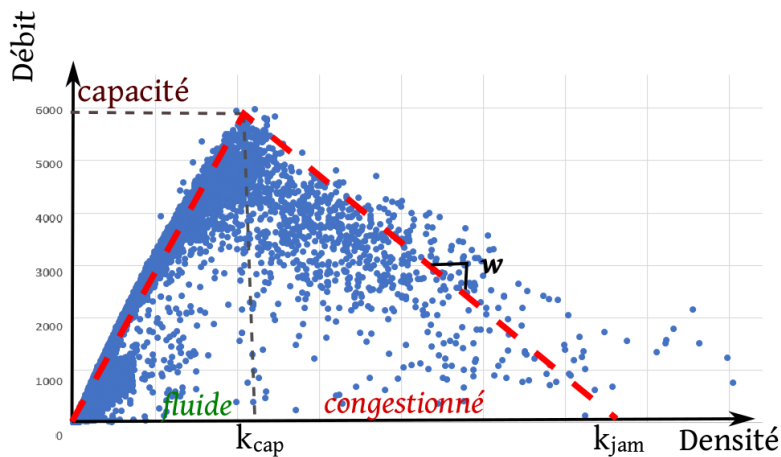


Figure 3. Diagramme fondamental : (points bleus) données SIREDO en un point de l'axe considéré, (lignes discontinues) schématisation triangulaire

Le modèle LWR impose en outre la conservation du nombre de véhicules, soit

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0.$$

En pratique, ces équations continues peuvent être résolues en discrétisant la voie étudiée en un certain nombre de cellules et en transférant de cellule en cellule les débits de véhicules, selon la méthode promue par Daganzo (*cell transmission model*) [4]. Nous avons pour notre part eu recours à l'implémentation mise à disposition par Ke Han et al. (<https://github.com/DrKeHan/DTA>), qui

présente en sus l'avantage d'inclure une méthode d'équilibrage dynamique du trafic (*dynamic user equilibrium*) [5].

Codification du réseau

Le réseau modélisé couvre le linéaire de l'A50 d'Aubagne vers Marseille, ainsi que des portions d'A501 et d'A50 en amont du convergent. La suite de document considère une version épurée du réseau, comportant 27 arcs (*nous avons également modélisé le réseau de manière un peu plus détaillée, avec 37 arcs, dont un itinéraire passant par la RD2 en concurrence avec l'axe principal entre Aubagne et La Valentine, comme schématisé ci-dessous*). Les capacités des arcs ont été ajustées en fonction des courbes de débit mesurées (SIREDO) ; les valeurs ajustées sont dans les fourchettes communément admises (avec, pour ordre de grandeur, 2.000 véhicules par heure et par voie).

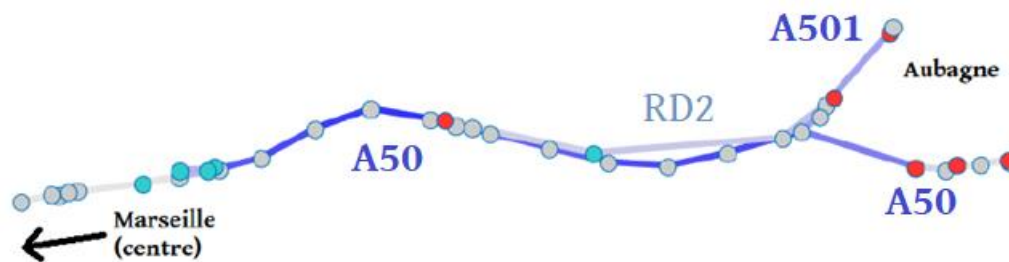


Figure 2. Modélisation du réseau avec (cercles) les nœuds du réseau dont (cercles rouges) les nœuds d'origine et (segments) les arcs.

Matrices dynamiques de demande

Pour reproduire la situation actuelle avant d'envisager une situation de projet, nous avons exploité les données empiriques disponibles pour reconstituer les matrices dynamiques de demande actuelle. Ces matrices indiquent les nombres de départs de véhicules par pas de temps de 6 minutes à partir d'un nœud d'origine (parmi les 6 origines modélisées) et en direction d'un nœud de destination (parmi les 5 destinations modélisées).

Pour ce faire, en bref, les débits d'entrée et de sortie sont calculés aux nœuds d'origine et de destination à partir des écarts entre les débits mesurés aux points juste en amont et en aval. Une méthode de Fratar dynamique est ensuite appliquée pour déterminer les débits *par itinéraire* qui permettent de respecter ces conditions aux bords, en tenant compte des temps de parcours finis (extraits des données FCD). Tous itinéraires confondus, un total de 25.000 départs de véhicules est ainsi obtenu entre 6h et 10h. Il mérite d'être noté qu'une méthode alternative a également été mise en œuvre; pour mieux contraindre la matrice dynamique, elle tient compte des débits mesurés sur les arcs intermédiaires des itinéraires, en les répartissant au besoin entre les différents itinéraires passant par ces arcs. Les deux méthodes sont globalement cohérentes dans les grandes lignes pour les matrices obtenues, même s'il n'y a pas de coïncidence quantitative. Dans la suite, nous utilisons les matrices issues de la première méthode.

Calage du modèle

La démarche de modélisation présentée jusqu'ici ne fait intervenir aucun paramètre ajustable ; tous les paramètres proviennent de données empiriques et les résultats du modèle peuvent être directement comparés aux mesures, et notamment aux temps de parcours FCD. Qualitativement, l'émergence de la congestion pendant la période de pointe du matin dans les simulations reflète la situation réelle, décrite dans la section II. Quantitativement, une sous-estimation de l'ampleur de la congestion est néanmoins constatée, avec des temps de parcours simulés inférieurs aux observations ; cette sous-estimation peut être attribuée à l'absence de prise en compte de l'effondrement du débit aux hautes densités (partie congestionnée du diagramme fondamental) dans l'algorithme utilisé.

Toutefois, une réduction modérée des capacités initialement fixées pour les arcs (entre 0% et 21% en valeur absolue) s'est révélée suffisante pour parvenir à un accord quantitatif entre temps de parcours simulés et temps de parcours mesurés sur l'axe A50/A501.

IV. Impact de l'élasticité de la demande sur les prévisions en situation de projet

Dans cette section, nous soulignons l'impact de la prise en compte de l'élasticité de la demande en considérant un projet d'aménagements capacitaires conduisant à une augmentation de 10% de la capacité des arcs limitants de l'A50 représentés ci-dessous :



Figure 4. Augmentation des capacités d'arcs limitants en situation de projet.

Principes et méthode

En réponse aux aménagements, plutôt que de supposer la demande inchangée (élasticité e nulle) ou bien parfaitement élastique au point de laisser les temps de parcours constants ($e = \infty$), nous considérons une élasticité e au temps de parcours τ finie et faisons l'hypothèse simplificatrice qu'elle est constante (sur la plage considérée) est supposée constante. La demande $D(\tau)$ prend alors la forme

$$D(\tau) \propto \tau^e \quad (1).$$

La valeur de l'élasticité dépend de la nature du réseau considéré (urbain, interurbain, etc.) ainsi que des offres de transport concurrentes présentes. Ici, après un examen bibliographique [6-7], nous adoptons une valeur assez conservatrice pour ce paramètre, $e = -0,35$.

En dehors de la demande, l'offre est aussi reliée au temps de parcours. Plus précisément, une infrastructure routière donnée supporte des déplacements dont la durée dépend du trafic, avec un fort allongement quand le trafic, élevé, produit de la congestion. Une tendance opposée à la demande se manifeste donc : à mesure qu'augmente la circulation, les temps de parcours s'allongent. En pratique, la courbe d'offre, quant à elle, est obtenue à partir des simulations dynamiques de trafic. L'état d'équilibre du trafic (observé) se situe donc à l'intersection des courbes d'offre et de demande, schématisée par une étoile verte.

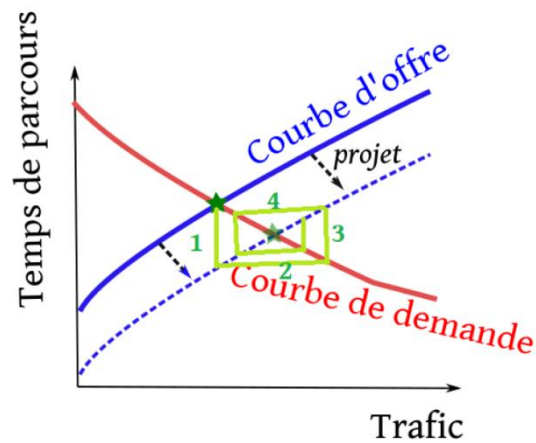


Figure 5. Courbes d'offre et de demande donnant le temps de parcours en fonction du trafic. Sur ce schéma illustratif, l'évolution de l'offre reflète un projet de réduction capacitaire (dans le texte, la situation symétrique d'une augmentation capacitaire est étudiée).

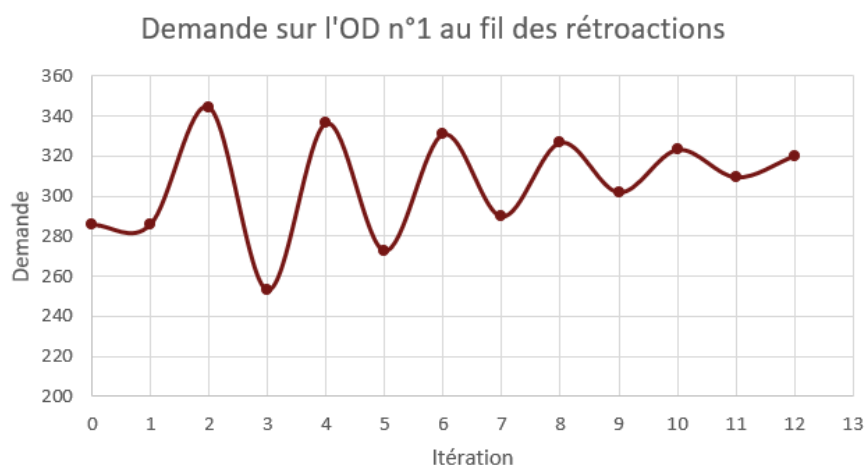
Un projet d'aménagement du réseau viaire conduit à une modification ou un déplacement de la courbe d'offre, si bien que la demande se stabilise autour d'un nouveau point d'équilibre. Une démarche itérative est aisément mise en place pour déterminer le nouveau point fixe, en faisant évoluer la demande avec le temps de parcours issu des simulations en situation de projet selon l'éq. (1), puis en simulant le trafic avec cette nouvelle demande, et en itérant ces deux étapes jusqu'à convergence.

Mise en œuvre

La méthode précédente est mise en œuvre dans le contexte de l'axe A50/A501 entre Aubagne et Marseille.

Comme notre étude entend coupler une demande élastique à des simulations *dynamiques*, une précision s'impose à ce stade quant à l'application de l'élasticité de l'éq. (1) en présence de temps de parcours variables au fil de la période d'étude. Dans le cadre de cette étude liminaire, nous avons retenu l'option la plus simple, à savoir, d'appliquer l'éq. (1) de manière indépendante pour chaque pas de temps, c'est-à-dire de prendre les valeurs instantanées de D et τ au temps considéré. Il va de soi que la méthode illustrée ici pourra être raffinée pour tenir compte de l'équilibrage sur la période de la demande qui s'opère naturellement dès que la situation évolue : par exemple, un allègement de la congestion entraînera vraisemblablement un phénomène dit de convergence horaire par lequel des individus qui partaient précédemment en dehors de l'hyperpointe profiteront de cette relative fluidification du trafic pour partir désormais à l'heure (plus commode pour eux) de l'hyperpointe. L'algorithme de K. HAN et al. que nous utilisons inclut d'ailleurs une telle routine de rééquilibrage sur la période.

Pour en revenir à la présente étude, la validité de la démarche itérative proposée est illustrée par la stabilisation de la demande autour d'un nouveau point d'équilibre en situation de projet, après un certain nombre d'itérations, comme l'illustre le schéma ci-dessous.



(Notons, à titre de parenthèse technique, que la convergence peut être accélérée par les méthodes classiques qui ne seront pas détaillées ici. Elle est alors atteinte en moins de 5 itérations.)

La demande sur l'OD considérée (qui va d'Aubagne à Marseille) se stabilise ainsi dans la fourchette de 315-320 véh/h (+12% par rapport à la situation avant projet). En termes de temps de parcours, les valeurs sont (sans surprise) inchangées hors de la période de pointe car les véhicules y circulent de manière fluide. A l'inverse, au cœur de la pointe, le projet d'aménagement capacitaire considéré a réduit les temps de parcours de 3 minutes (-18%) pendant la deuxième moitié de la pointe matinale, entre 8h et 9h. Ces résultats méritent d'être comparés à ceux qui auraient été obtenus sans avoir pris en compte l'élasticité de la demande : le temps de parcours entre 8h et 9h n'aurait alors pas été réduit de 3 minutes, mais de 4 minutes, soit une différence de quelque 30% dans les prévisions. Autrement dit, même avec la valeur conservatrice de l'élasticité que nous avons adoptée ($e = -0,35$), l'effet de la variation de la demande induite par les augmentations capacitaires est conséquent et modère de manière sensible les bénéfices qu'on peut en espérer pour les conditions de circulation.

	Situation initiale	Réseau aménagé sans rétroaction	Réseau aménagé avec rétroaction
6h30-7h	8'25''	8'25''	8'25''
7h-8h	17'49''	15'11''	16'02''
8h-9h	17'36''	13'29''	14'29''
9h-10h	12'11''	8'35''	10'23''
10h-10h30	8'25''	8'25''	8'25''

Pour conclure, l'approche de la modélisation relativement sommaire que nous avons mise en œuvre permet de tester la sensibilité à plusieurs paramètres. Ainsi, outre le jour ordinaire, on peut simuler des jours de forte demande. Il est également intéressant d'apprécier la sensibilité de paramètres comme les valeurs de l'élasticité et de la capacité des arcs critiques. Mais surtout, comme nous l'avons montré, quand les temps de parcours évoluent, il est indispensable de tenir compte de l'élasticité pour obtenir des résultats réalistes.

Références

- [1] Mission interministérielle pour le projet métropolitain", "Le livre blanc des transports métropolitains aix-marseille-provence," décembre 2014.
- [2] R. Cervero, "Road expansion, urban growth, and induced travel: A path analysis," *Journal of the American Planning Association*, vol. 69, no. 2, pp. 145–163, 2003.
- [3] Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 229(1178), 317-345 ;
- [4] Daganzo, C. F. (1994). The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research Part B: Methodological*, 28(4), 269-287.
- [5] Han, K., Eve, G., & Friesz, T. L. (2019). Computing dynamic user equilibria on large-scale networks with software implementation. *Networks and Spatial Economics*, 1-34.
- Richards, P. I. (1956). Shock waves on the highway. *Operations research*, 4(1), 42-51.
- [6] Litman, T., & Colman, S. B. (2001). Generated traffic: Implications for transport planning. *ITE journal*, 71(4), 38-46.
- [7] Rapport du Sétra, "L'induction de trafic - revue bibliographique", 2012.

Biographie des auteurs

MONY Nicolas / Chef de projet / Explain consultancy

Nicolas MONY traite de différents sujets de modélisation des transports depuis 8 ans, au sein de MVA puis d'EXPLAIN depuis 2015. Son champ de compétence s'étend des modèles macroscopiques de déplacement à l'échelle nationale jusqu'à la micro-simulation de flux de piétons. Depuis 2015 il a également contribué au développement de la solution innovante de mesure de la mobilité *Laflowbox*.



Diplômé ingénieur de l'Ecole polytechnique, titulaire d'une Maîtrise ès Sciences Appliquées spécialisée dans les Transports à l'Ecole polytechnique de Montréal, il a présenté en 2011 avec le professeur R. Chapleau une contribution au 46ème Congrès annuel de l'AQTR intitulée « Prolégomènes à l'analyse et planification du transport en commun par bus en lointaine banlieue nord de Montréal ».

NALIN Olivier / Chef du Service Prospective / DIRMed



Olivier NALIN a abordé les transports et la mobilité dans les domaines des transports collectifs et de la route, en recourant souvent à la théorie économique. Au STIF, il a participé au pilotage des contrats passés entre l'autorité organisatrice et les transporteurs tels que la RATP et la SNCF. Il a supervisé les études tarifaires et conçu de nouveaux mécanismes de rémunération des transporteurs. A la DIRMed, il développe la connaissance des trafics et de la congestion et promeut des innovations pour une exploitation multimodale de la route.

NICOLAS Alexandre / Expert / Explain consultancy

Alexandre NICOLAS s'intéresse à la modélisation de la dynamique de systèmes complexes à diverses échelles, en particulier celle des flux véhiculaires et piétons. Après plusieurs années passées dans la recherche publique, il a rejoint le bureau d'études *Explain* en 2018. Il y contribue aux efforts de modélisation de l'offre et de la demande de transport et de prévision des flux, au sein de modèles régionaux ou nationaux, et se charge également de la mise en place de plusieurs solutions innovantes (traitement de données massives, intelligence artificielle).



Diplômé ingénieur de l'Ecole polytechnique, titulaire d'un Master de l'Université de Cambridge (Royaume-Uni) et d'un doctorat en Physique des matériaux de l'Université de Grenoble-Alpes (2014), Alexandre est auteur ou co-auteur d'une vingtaine de publications dans des revues académiques réputées. Il a été conférencier-orateur aux congrès internationaux *Pedestrian & Evacuation Dynamics* (Hefei, Chine, 2016) et *Traffic & Granular Flow* (Washington, Etats-Unis, 2017), et a récemment été invité comme conférencier plénier à l'édition 2019 du congrès *Traffic & Granular Flow*, qui s'est tenue à Pampelune, en Espagne.