

Le modèle macroscopique dynamique

Cas d'étude : modèle d'Aix-en-Provence

1/ Contexte :

Les modèles d'affectation statique du trafic sont des outils utilisés dans un grand nombre de municipalités, agglomérations, départements et régions en France et dans le monde. Ils servent typiquement d'outil stratégique pour réaliser des études de trafic dans un périmètre, généralement étendu, à moyen et long terme. Néanmoins, les principales limites de ces modèles proviennent d'une part de leur caractère statique (qui ne tient pas compte des fluctuations de la demande de déplacements sur la période considérée) et du fait que, précisément, ils ne considèrent pas les contraintes de capacités des voiries. Ces aspects ne permettent pas de représenter précisément les phénomènes de congestion, il est donc difficile d'obtenir des temps de parcours tels que nous les mesurons dans la réalité.

Le modèle macroscopique dynamique est une nouvelle alternative qui permet de remédier sur différents points à ces inconvénients. Il s'agit d'un modèle de flux (macroscopique) qui vise à mieux estimer les temps de déplacement, même en situations congestionnées, sans rentrer dans la complexité des modèles dynamiques qui pèsent en termes de vitesse computationnelle des simulations d'une part, et d'autre part en simplifiant les paramètres de calage.

2/ Motivations :

Traditionnellement, les modèles macroscopiques de trafic nécessitent en donnée d'entrée une fonction d'impédance de l'offre de transport par rapport à une demande donnée, qui fournit des coûts relatifs, au temps de parcours par exemple. Ces coûts sont ensuite utilisés dans les modèles de choix modal ou de choix d'itinéraires. Sachant l'importance du temps de parcours, l'inconvénient principal de ces modèles statiques classiques est le risque de divergence considérable entre l'estimation des temps de parcours et les valeurs mesurées sur le terrain, puisque ces modèles n'ont pas de contraintes de capacité.

Lorsqu'il est nécessaire d'obtenir des temps de parcours précis et les plus représentatifs possibles de la réalité, il est préférable d'utiliser des modèles dynamiques. On retrouve les modèles mésoscopiques ou microscopiques cependant ils nécessitent un niveau de détail important, qui peut demander un investissement démesuré et difficilement justifiable selon les perspectives du projet.

Dans cet article nous allons présenter un autre type de modèle, dit modèle macroscopique dynamique, actuellement en phases de développement et analyse sous le logiciel Aimsun. Actuellement, le logiciel Aimsun est un logiciel qui intègre sous une même interface différents niveaux de modélisation de trafic, depuis la construction de modèles de déplacements multimodaux jusqu'à des modèles microscopiques à l'échelle de quelques carrefours et incluant aussi l'affectation statique multimodale et l'affectation mésoscopique et hybride.

3/ Le modèle macroscopique dynamique dans Aimsun :

Ci-dessous sont résumées les principales caractéristiques du modèle macroscopique dynamique développé sur Aimsun :

Données d'entrée :

- Géométrie propre aux modèles statiques courants (prise en compte de l'infrastructure TC)
- Demande profilée (évolution dans le temps)
- Feux sous forme de temps de vert et cycle par mouvement tournant ou diagramme complet
- Paramètres de calage (pas de fonctions débit-vitesse)

Modèle d'affectation :

Equilibre Dynamique de l'Usager (MSA ; WMSA ; Gradient)

Le modèle est basé sur le choix d'itinéraire dynamique en équilibre et non pas sur des proportions affectées aux mouvements tournants.

Chargement du réseau :

Le modèle macroscopique se compose de deux parties distinctes qui interagissent : d'une part les liens, représentant les sections du réseau et décrivant la dynamique des flux ; d'autre part les nœuds, représentant les jonctions et fournissant des règles pour les convergences et divergences de flux. Les nœuds interagissent avec les liens en recevant les flux de ces derniers et en leur imposant des contraintes.

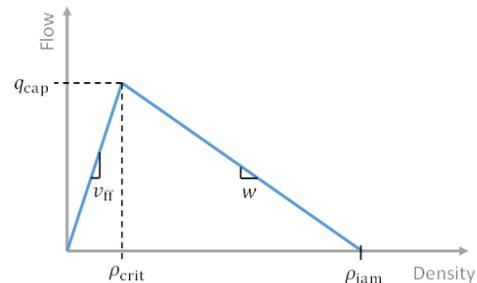
a. Modèle des liens

Le modèle des liens est basé sur la loi de conservation (1) et la fonction de taux de débit (2) :

$$\frac{dp}{dt} + \frac{dq}{dx} = 0 \quad (1)$$

$$q = \phi(\rho) \quad (2)$$

L'implémentation choisie décrit le flux en fonction de la densité selon le diagramme triangulaire fondamental qui peut être caractérisé par trois paramètres : la vitesse en écoulement libre, la capacité et la densité de congestion.



Tout le long d'une section, le débit et la densité doivent respecter la loi de conservation et la fonction de taux de débit. Les conditions aux limites sont fournies par un modèle de nœud.

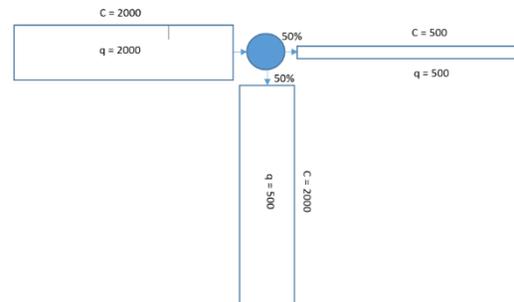
La solution (voir références article) peut être trouvée en faisant un suivi des véhicules cumulés aux frontières (entrées/sorties des sections) et en appliquant les changements d'état appropriés à l'aide de deux formules de prédiction : la formule de changement d'état d'entrée en flux libre et la formule de changement d'état de sortie en congestion.

Référence : Mark P.H. Raadsen, Michiel C.J. Bliemer, Michael G.H. Bell, *An efficient and exact event-based algorithm for solving simplified first order dynamic network loading problems in continuous time*

b. Modèle des nœuds

Le modèle de nœud et son algorithme solution implémenté sont des modèles solides de premier ordre (voir références article). Pour obtenir une solution cohérente et réaliste, il faut que :

- Le modèle de nœud mis en œuvre convienne à tout type d'intersection
- Les flux soient maximisés par rapport aux contraintes
- Les proportions des mouvements tournants soient conservés - ce qui assure qu'il n'y ait pas de dépassement entre véhicules à l'intérieur du nœud.
- Le principe d'invariance soit appliqué.



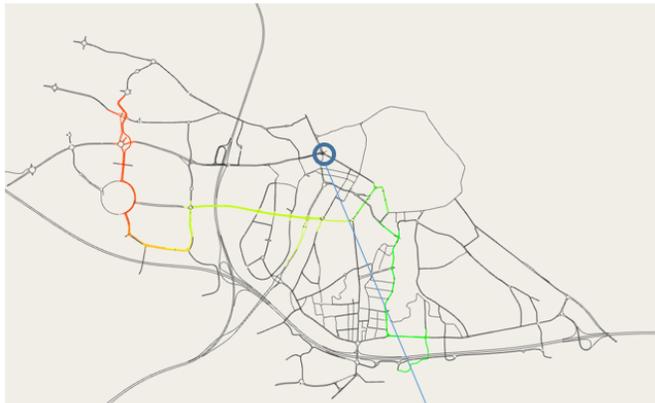
En supposant un flux d'entrée de 2 000 véh/h et des proportions de 50/50, un débit de 1 000 véh/h doit être envoyé à la section située à l'est, mais sa capacité est de 500 véh/h. En conséquence, un flux de 500 véh/h sera envoyé vers l'est et, en préservant les proportions de 50/50, un flux de 500 véh/h sera envoyé vers le sud : le débit de sortie de la section de gauche est réduit de 50 % (1 000 véh/h).

Référence : Tampère C.M.J., Corthout R., Cattrysse D., Immers, L.H. (2011). *A Generic Class of First Order Node Models for Dynamic Macroscopic Simulation of Traffic Flows. Transportation Research Part B: methodological. Volume 45B issue 1, 2011, pp289-309*

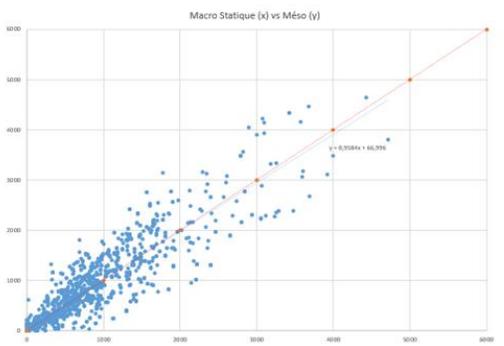
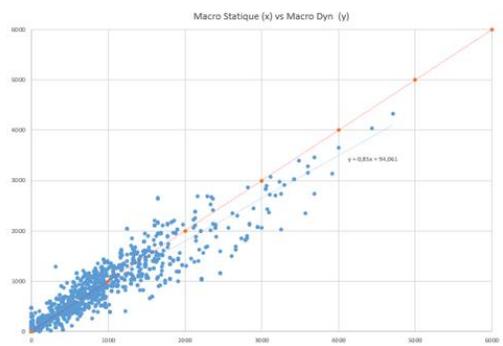
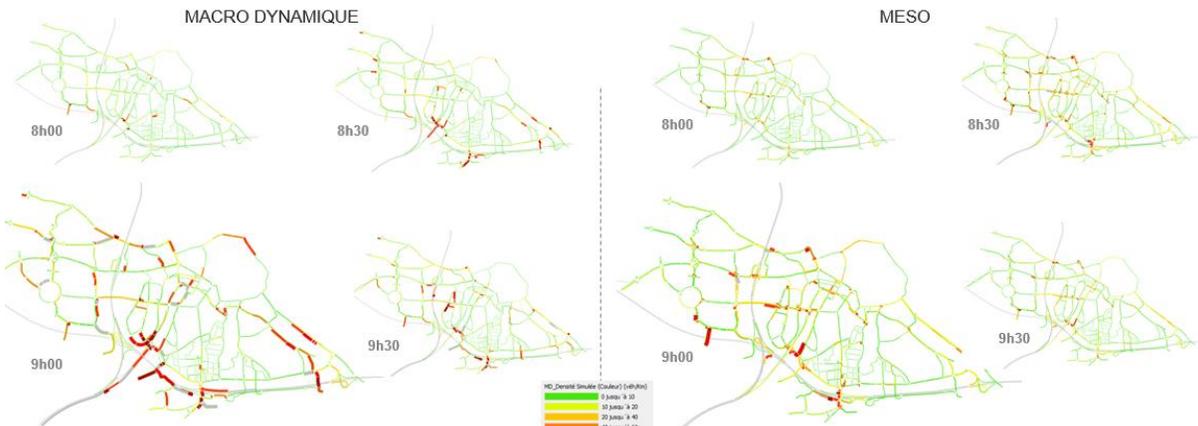
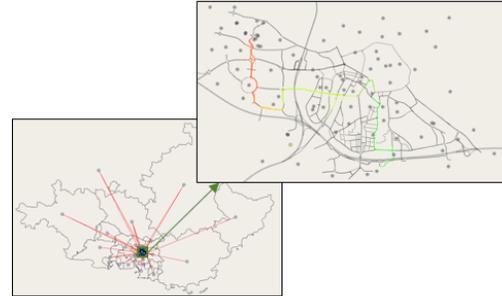
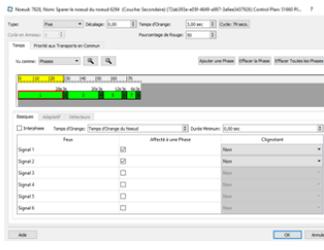
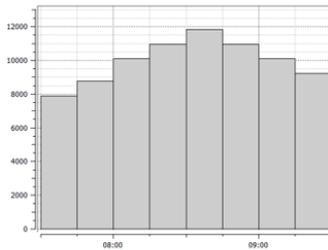
4/ Le cas d'étude d'Aix-en-Provence :

Pour illustrer les résultats obtenus avec ce modèle, le modèle d'Aix-en-Provence a été choisi. Ainsi, des

comparaisons entre les affectations statiques, les affectations macro dynamiques et mésoscopiques ont été réalisées pour extraire des conclusions sur les avantages et limitations de ce développement. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous :

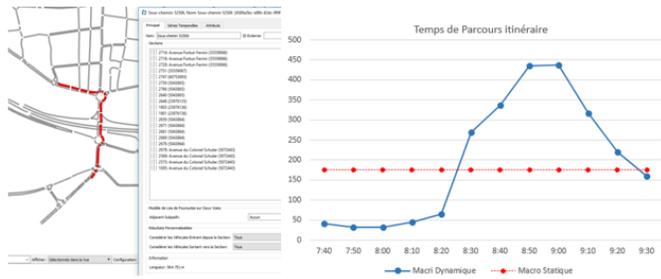


- Modèle de la ville de Aix-en-Provence (sans le trafic de transit de l'autoroute par manque de données)
- Zonage détaillé pour les zones internes et EMD pour les zones externes (140 centroïdes)
- A l'origine modèle macroscopique statique → Calibration modèle macroscopique dynamique et mésoscopique
- Diagrammes de feux insérés
- PPM : 7h30 – 9h30 (demande profilée)
- Scénario prospectif : introduction d'une ligne de BHNS

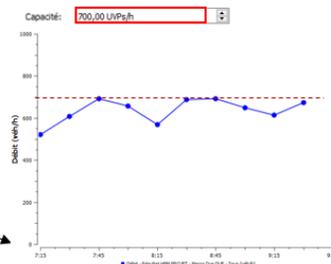
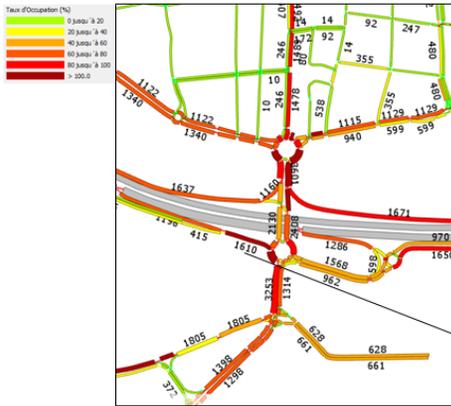




Exemple de Temps de Parcours dynamiques



Exemples de Contraintes de capacité



Temps de calcul de l'ordre de 15% inférieur au méso → optimisations nécessaires

Modèle trop petit en taille pour extraire des conclusions de temps de calculs et de convergences → Gains de temps plus important espérés sur des modèles de grande taille

Objectif important du modèle macro Dynamique → Disposer de sorties dynamiques avec un temps de calculs optimisé (modèles régionaux, ajustements dynamiques de la demande, etc.)

5/ Conclusions :

- Le modèle macroscopique dynamique permet aux utilisateurs de disposer d'un **modèle de flux** qui prend en compte des contraintes de capacité de l'infrastructure et les **aspects dynamiques** du modèle concernant tant l'offre que la demande.
- Par rapport aux modèles statiques, il améliore la prise en compte de **congestions**, leurs propagations et par conséquent les **temps de parcours** et les **choix d'itinéraires** obtenus comme résultats du modèle.
- A mis chemin entre les modèles statiques classiques et les modèles mésoscopiques : doit permettre la constitution de **modèles régionaux** avec moins de détail qu'un modèle mésoscopique mais **plus performant** en temps de calcul (convergence).
- Ce modèle doit aussi être un outil important pour les **échanges** entre les différents niveaux de modélisation intégrés dans Aimsun (macro-méso-micro) → **estimations de matrices** (profilage de matrices plates issues de modèles statiques).
- Développement et analyse en cours