

La simulation de trafic pour évaluer et anticiper

Autor(en): **Torday, Alexandra**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tracés : bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 10: **Trafics urbains**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-99207>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La **simulation** de trafic pour évaluer et anticiper

Pourquoi deux automobilistes devant relier une origine à une destination décident-ils de choisir deux itinéraires différents ? Pourquoi certains conducteurs montrent-ils un comportement agressif, alors que d'autres semblent sur le point de s'endormir ? Comment expliquer les réactions si contrastées des usagers de la route face aux indications qui leurs sont communiquées par la radio ou les panneaux à message variable ? Indéniablement, maîtriser, cerner ou même comprendre les mécanismes qui régissent les flux de trafic ne sont pas chose facile. Constat peu étonnant puisque l'entité la plus petite du système, l'être humain, a un comportement dont la complexité n'est plus à prouver.

Les macro-simulateurs

Même si les scientifiques, mathématiciens en tête, ont toujours considéré le transport routier comme une source inépuisable de défis intellectuels, le besoin de le modéliser ne s'est vraiment fait sentir que lorsque les premiers problèmes de capacité se sont manifestés, époque à laquelle - il faut le rappeler - la traction équine était encore d'actualité¹ ! Comme dans de nombreux domaines techniques, ce n'est que depuis l'apparition de l'informatique que les fondements mathématiques, développés depuis longtemps mais inapplicables sur des réseaux à grande échelle, ont trouvé tout leur potentiel.

Dans un premier temps, la modélisation de l'écoulement du trafic s'est appuyée sur les analogies existantes avec la dynamique des fluides. C'est ainsi que sont nées les premières générations de simulateurs que l'on regroupe généralement sous la dénomination de macro-simulateurs. Dans ce genre de modèle, les flux de véhicules sont considérés comme un liquide s'écoulant à travers un réseau de canalisations, chacune pouvant avoir une longueur et une capacité différente. Les principes de l'hydrodynamique, dont la fameuse loi de la conservation de la masse, servent alors à poser les équations de base nécessaires pour déterminer de quelle manière les flots de véhicules se répartissent dans le réseau. Le but fondamental de ces modèles est la recherche d'un équilibre entre

la demande en déplacement et l'offre en capacité que propose le réseau étudié. Concrètement, il s'agit d'une formulation mathématique du principe énoncé par Wardrop² en 1951 : « The journey times on all routes used are equal and less than those which would be experienced by a single vehicle on any unused route »³, autrement dit « The average journey time is minimum »⁴. Ce processus d'assignation de trafic est donc parfaitement déterministe et non dynamique, la variable temps n'entrant pas en ligne de compte. La pratique veut que seul le trafic de l'heure de pointe du matin ou du soir soit étudié, permettant ainsi d'évaluer la performance du réseau dans les conditions les plus extrêmes.

La construction du modèle commence généralement par la représentation physique du réseau routier compris dans le périmètre de l'étude. Le niveau de détail de cette représentation diffère en fonction du type d'étude et peut même être différent d'une zone à l'autre du réseau. Une série de paramètres sont alors attribués à chaque arc et nœud du réseau. Parmi ceux-ci, figurent bien évidemment les informations concernant les sens possibles de circulation et les mouvements autorisés aux carrefours qui permettent la construction d'un graphe orienté. Mais les plus importants restent les paramètres utilisés pour alimenter la fonction de coût généralisé (voir encadré ci-contre), tels la longueur, la capacité, les éventuels péages, etc.

La demande est quant à elle modélisée par une matrice origine-destination, dont chaque valeur représente le trafic s'écoulant entre deux zones du réseau. Une première matrice peut être obtenue par le biais d'enquêtes diverses dont, par exemple, les recensements fédéraux. Une comparaison entre les valeurs de charges de trafic obtenues par une première assignation de trafic (recherche du point d'équilibre) et

¹ Pour en savoir plus :

<http://www.cnam.fr/instituts/cdht/documents/apc.rtf>
<http://www.cnam.fr/instituts/cdht/documents/rgra.rtf>

² J. G. WARDROP : « Some theoretical aspects of road traffic research », *Proc. Inst. Civil Engineers*, part 2, pp. 325-378, 1952

³ « Le temps de parcours de tous les itinéraires empruntés est égal ou inférieur à celui qu'il faudrait à un véhicule isolé empruntant n'importe quel itinéraire délaissé. »

⁴ « La moyenne des temps de parcours est un minimum. »

celles réellement mesurées sur le terrain (boucles inductives) montre généralement d'importantes différences entre le modèle et la réalité. On procède alors à un ajustement (structure et volume) de la matrice pour minimiser ces différences. Une nouvelle situation d'équilibre est ainsi obtenue et sert de référence pour les analyses comparatives.

Encore largement utilisée de nos jours, l'approche macroscopique est idéale pour la planification à moyen ou à long terme d'un réseau routier. En se basant sur un volume de trafic futur (augmentation globale ou localisée), elle permet notamment de repérer les goulets d'étranglement à venir et d'anticiper ainsi les mesures à prendre.

Les micro-simulateurs

Les limites de la macro-simulation se sont clairement révélées quand des analyses plus détaillées, au niveau des carrefours par exemple, s'avéraient nécessaires ou lorsque des événements variables dans le temps, tel le blocage accidentel d'une voie pendant quelques minutes, devaient être modélisés. Le seul moyen de pallier ces lacunes fut alors de considérer le trafic tel qu'il est vraiment, soit un ensemble de véhicules présentant des comportements et des caractéristiques propres. C'est le principe de base de ce qu'on appelle la micro-simulation. Cette volonté de modéliser chaque véhicule indépendamment n'a toutefois pu se concrétiser il y a une quinzaine d'années seulement, grâce à l'apparition de la programmation orientée objet, une technique indispensable pour faire évoluer simultanément autant d'entités à travers un réseau. Les notions d'hydrodynamique ont ainsi cédé la place à des règles de comportement définissant le mouvement de chaque véhicule en fonction des caractéristiques de la section de réseau qu'il parcourt (voies à disposition, limitation de vitesse, etc.) et de la position des autres véhicules. Contrairement à la macro-simulation, totalement

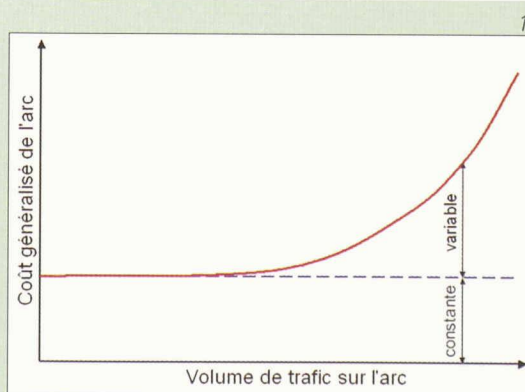
statique, la micro-simulation discrétise le temps en intervalles de quelques dixièmes de secondes durant lesquels les caractéristiques dynamiques des véhicules (principalement la vitesse) sont considérées comme constantes. A chaque pas de temps, l'application des règles de comportement (voir encadré p. 15) permet de déterminer les nouvelles caractéristiques dynamiques des véhicules et, par conséquent, leur nouvelle position sur le réseau.

Comme pour la macro-simulation, la demande en trafic est représentée par une matrice origine-destination. En réalité, ce sont plusieurs matrices qui sont définies, une par période de temps où la demande peut être considérée comme constante (entre cinq et soixante minutes généralement). L'affectation d'un itinéraire à chaque véhicule pour rallier son point de destination reste, quant à elle, une opération délicate et considérée par certains comme le talon d'Achille de ce type de modélisation. En effet, le principe d'équilibre de Wardrop ne saurait s'appliquer directement, un équilibre statique ne pouvant être obtenu dans le cadre d'une modélisation dynamique.

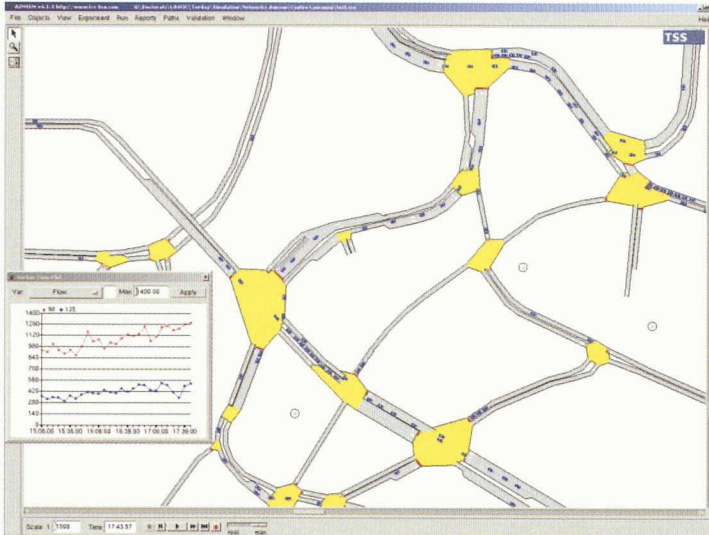
Certes nettement plus coûteuse en ressources informatiques que la macro-simulation, la micro-simulation, de par son côté dynamique, n'en est pas moins indispensable à l'évaluation de nombreuses applications actuelles de la gestion du trafic, à l'image des feux adaptatifs. La micro-simulation permet en effet de modéliser le processus de détection des files de véhicules sur les différents embranchements d'une intersection, d'appliquer les algorithmes servant à calculer les nouvelles phases de feux et d'appliquer ces dernières au modèle. Une évaluation comparative de différentes stratégies de gestion adaptative des feux peut alors être réalisée et leurs impacts mesurés. De manière générale, la plupart des applications dites télématiques peuvent être modélisées par la micro-simulation. C'est le cas, par exemple, des panneaux

La fonction de coût généralisé

Cette fonction représente l'inverse de l'attrait d'un arc du réseau. Elle est généralement constituée de valeurs constantes auxquelles viennent s'ajouter des variables évoluant en fonction de la charge de trafic qui s'écoule sur l'arc en question. Plus cette charge est importante, plus la variable est grande. L'itinéraire optimal est donc celui dont la somme des coûts généralisés est la plus faible. En micro-simulation, le temps de parcours moyen de l'arc est souvent utilisé comme seule valeur du coût généralisé.



2



3



à messages variables, dont l'impact sur le trafic peut-être mesuré si un taux (certes hypothétique) d'acceptation du message affiché est entré. Dans une optique similaire, de tels modèles sont particulièrement adaptés à l'étude de l'utilité et de l'impact sur le trafic d'informations de déroutage pouvant être fournies à tous ou à une partie seulement des véhicules.

Les limites de la simulation

De part leurs performances toujours plus élevées, les simulateurs de trafic sont de plus en plus utilisés pour évaluer et analyser les problèmes liés au trafic routier. Il ne faut toutefois pas oublier que tous les résultats acquis par ce biais n'ont de valeur que si le modèle de base - qui représente généralement l'état actuel et sert de point de référence - n'est pas validé et calibré correctement (voir article sur l'application à San Sebastian, pp. 16 à 19).

Parmi les grands défis qui restent à relever pour les développeurs de simulateurs de trafic, l'affectation réaliste du trafic est sans doute le plus important. En effet, que ce soit dans les modèles macroscopiques ou microscopiques, la répartition du trafic selon les arcs du réseau se base toujours sur deux hypothèses clés : premièrement, les utilisateurs ont une connaissance parfaite du réseau routier, deuxièmement, ils choisissent l'itinéraire qui leur est le plus favorable (optimum mathématique). La première hypothèse n'est évidemment pas réaliste et l'idéal serait de disposer d'un niveau de connaissance variable en fonction de la zone du réseau dans laquelle évolue l'automobiliste. La modélisation mathématique d'une telle variation s'avère toutefois des plus complexes, sans compter que son calibrage par des paramètres réels semble quasi impossible. Quant à la seconde hypothèse, de récentes études tendent de plus en plus à montrer que les conducteurs ont des notions très différentes de ce qu'est

	Macro-simulation	Micro-simulation
Représentation du trafic	Flots	Véhicules individuels
Lois régissant le modèle	Conservation de la masse, relation débit-vitesse, etc.	Car-following model, lane changing model
Prise en compte du temps	Non	Oui, discrétisé
Paramètres de comportement	Déterministes	Probabilistes
Affectation du trafic	Equilibre direct	Equilibre indirect
Modélisation de la demande	Une matrice OD	Plusieurs matrices OD
Modélisation du réseau	Arc et nœuds	Voies et intersections

Fig. 2: Exemple de simulation à Lausanne : carrefours Saint-Martin / Place de l'Ours
(Document Laboratoire des voies de circulation, EPFL)

Fig. 3: Vue aérienne de Lausanne : carrefours Saint-Martin / Place de l'Ours
(© Service du cadastre de la Ville de Lausanne, vol. 2001)

Tableau 1: Comparaison entre les deux types de simulation

un itinéraire «optimal». Enfin, d'autres facteurs tels que les habitudes ou d'autres éléments psychologiques, qui constituent autant d'éléments difficilement modélisables, entrent encore en ligne de compte dans le choix d'une route.

En conclusion, on dira que les simulateurs de trafic ne cessent d'améliorer leurs prestations, permettant ainsi de réaliser des analyses toujours plus fines et pertinentes. Toutefois, ils ne pourront jamais modéliser parfaitement la réalité et c'est donc à l'utilisateur de tels logiciels qu'incombe la tâche

de juger si les erreurs d'évaluation dues à ces imperfections sont négligeables ou pas dans le cadre de ses travaux. Pour cela, une connaissance détaillée des hypothèses utilisées par ces outils est donc indispensable pour en faire bon usage.

Alexandre Torday, ing. civil dipl.
LAVOC-EPFL, CH - 1015 Lausanne

Les modèles régissant les interactions entre véhicules

Dans la modélisation microscopique du trafic, chaque véhicule est considéré comme une entité unique avec des caractéristiques comportementales propres qui lui sont attribuées lors de sa génération. Aucun véhicule ne présente les mêmes caractéristiques étant donné qu'elles sont introduites sous forme de distribution statistique et que leur attribution aux véhicules se fait de manière aléatoire. Elles sont utilisées comme *input* pour les modèles régissant le déplacement des véhicules entre chaque pas de simulation. Ces modèles sont les éléments essentiels d'un micro-simulateur. Les deux principaux sont le « car-following model » et le « lane-changing model », le premier déterminant le comportement d'un véhicule qui en suit un autre, alors que le second détermine la nécessité et les possibilités d'un changement de voie.

Le modèle de *car-following* est souvent considéré comme le noyau d'un logiciel et de nombreuses recherches ont été effectuées (et continuent à l'être) pour trouver un modèle représentant au mieux le comportement des automobilistes. Chaque logiciel de micro-simulation ayant son propre modèle, nous présentons ici celui utilisé par le simulateur AIMSUN (produit développé par l'Université Polytechnique de Catalogne en Espagne), basé sur les travaux de P. G. Gipps :

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2,5 a(n) T \left\{ 1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right\} \sqrt{0,025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

Cette première équation détermine la vitesse V_a pouvant être atteinte par le véhicule n au temps $t + T$, T étant la durée du pas de simulation, s'il est seul sur la section.

$V(n, t)$ vitesse du véhicule n à l'instant t

$V^*(n)$ vitesse désirée par le véhicule n sur la section (limitation de vitesse)

$a(n)$ accélération maximale du véhicule n

$$V_b(n, t + T) = d(n) T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2 \left\{ x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t) \right\} - V(n, t) T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

La deuxième équation détermine quelle est la vitesse maximale V_b pouvant être atteinte par un véhicule n au temps $t + T$ pour éviter d'entrer en collision avec le véhicule $n - 1$ le précédent.

$d(n)$ décélération maximale du véhicule n

$x(n, t)$ position sur la section du véhicule n à l'instant t

$s(n)$ longueur du véhicule n

$V(n, t)$ vitesse du véhicule n à l'instant t

$d'(n)$ décélération

La vitesse adoptée est alors le minimum entre V_a et V_b et sert à déterminer la nouvelle position du véhicule n .