

PAR CLAUDE ARNAUD



directeur Recherche
Innovation et
Développement
durable de
Veolia Transport

Réseaux de **transport urbain** : mieux **anticiper** et mieux réagir

Le développement d'un réseau de transport public nécessite le recueil de données sur la demande potentielle. Son exploitation exige la connaissance du trafic et de ses aléas. Ces données sont entachées de nombreuses incertitudes : les modèles utilisés pour définir le réseau et le gérer en tiennent compte. Les nouvelles technologies ouvrent des perspectives d'amélioration importantes : géolocalisation, téléphonie mobile, commande à distance des feux de signalisation, systèmes d'aide à l'exploitation constituent autant de pistes à explorer.

Un lien fort entre l'offre et la demande

Nous ne retiendrons ici que le transport public de voyageurs en lignes régulières, ce qui exclut le transport des marchandises, l'automobile et d'autres modes de déplacement comme les modes dits doux, marche à pied ou vélo.

Un transporteur répond à un appel d'offres lancé par une collectivité ayant l'autorité d'organiser les transports sur son territoire. Le cahier

des charges stipule les conditions d'exploitation du réseau, horaires, itinéraires, tarifs, imposés par l'autorité publique, elle-même répondant à la volonté d'une politique de mobilité souhaitée par la majorité des électeurs. L'opérateur doit, à partir de ces données, établir son offre sur laquelle il sera jugé. Dès lors, on voit poindre risques et incertitudes, dépendant principalement de la fiabilité des données ; d'où une série de questions : sont-elles représentatives du flux de personnes, sur quel territoire, à quel moment.

La demande de mobilité étant peu ou mal connue, les transporteurs ont depuis longtemps contourné l'obstacle de l'incertitude en raisonnant sur l'offre, en vertu du principe simple, voire simpliste, que l'offre attirerait la demande.

Cette question de l'offre et de la demande est centrale : il n'y a pas de demande s'il n'y a pas d'offre et réciproquement. L'innovation fonctionne de l'offre vers la demande. Les exemples abondent : l'automobile, la télévision, ou la téléphonie mobile qui s'est développée par l'offre de terminaux et services associés.

Un marché établi (mature) fonctionne plutôt par la demande, et un marché nouveau plutôt par l'offre. Donc, le transport étant toujours tiré par l'offre n'a jamais atteint la maturité ! Curieux quand on sait l'âge de ce marché et que l'opinion publique le trouve ringard donc peu innovant.

Ces métiers de tradition ont établi des règles semble-t-il immuables, donc pourquoi en changer ? Face aux incertitudes de la demande, mais aussi pour tenir compte des exigences du service public de fournir un service à des heures ou des lieux où la demande est très faible, le transporteur contient son offre en la protégeant dans un contrat où l'essentiel de la recette sera sous forme de subvention assise

REPÈRES

La « demande » de mobilité est en général estimée à partir de données de l'Insee et d'enquêtes – les enquêtes dites « ménages » réalisées par le CERTU, Centre d'études sur les réseaux, les transports et l'urbanisme, (l'un des organismes déconcentrés du ministère des Transports) –, qui donnent une évaluation du trafic et de son potentiel d'évolution, on dresse alors une matrice des origines-destinations entre les lieux d'habitat, d'activités, de commerces ou de loisirs.

Transport et théâtre

Une pièce de théâtre mesure son succès au nombre de billets vendus, métier à risque commercial fort et aux incertitudes élevées. Mais un théâtre subventionné produit autant de navets que de bonnes pièces, on appelle cela la création, moyen élégant de lutter contre l'incertitude en faisant appel à l'aide publique. Le transport n'est pas un théâtre, bien qu'il s'y passe des aventures dignes des meilleurs vaudevilles, mais relève d'une gestion des incertitudes par contournement.

sur un niveau de service plutôt que sur la fréquentation réelle du réseau.

La durée, paramètre essentiel de la conception d'un réseau

Le transport est fait pour durer, le temps est une donnée majeure. Construire un tramway est une décision structurante valable pour trente ans, les prévisions de trafic sont donc essentielles. Si le tracé est mal fait, on porte l'erreur longtemps. La prévision, même aidée par des méthodes, reste malgré tout un art. Concevoir un réseau de transport demande des informations sur l'économie du territoire, la démographie, l'analyse des déplacements (en flux et en temps), l'urbanisme et l'urbanisation : toutes sont aléatoires, imprécises et insuffisantes.

Globalement, dans un réseau de transport, on retrouve deux types d'incertitudes : celles relatives à la fiabilité des données de flux (matrice origines-destinations) pour concevoir l'offre et celles dues aux aléas (survenance d'accident ou d'incident technique) dans l'exploitation de l'offre. Des méthodes et outils ont pu être mis au point malgré toutes ces insuffisances.

Raisonnement juste avec des données fausses

Le principe adopté pour le calcul d'offres et ensuite la gestion des graphiques est de considérer le « peu » de données disponibles comme fiables. À partir donc de données insuffisantes, voire fausses, on raisonne juste, un peu comme on disait autrefois de la géométrie sur tableau noir, « l'art de raisonner juste sur une figure fausse ». On s'affranchit de l'incertitude de cette manière-là.

Les puristes diront avec justesse que ce n'est pas glorieux, les pragmatiques que faute de grives on mange des merles et les voyageurs constateront quand même que les temps de parcours annoncés sur les sites de calculs d'itinéraires ne sont pas si faux que cela.

Des modèles en temps réel

La deuxième incertitude porte vraiment sur l'exploitation, sous l'angle gestion de crises ou d'événements. La survenance d'un incident ou accident relève de l'aléatoire pur, mais la réaction de l'opérateur est-elle du domaine de la gestion (y compris d'incertitude) où il faut recalculer le plus vite possible un nouveau graphique et relancer le trafic. On voit alors poindre l'idée d'algorithmes de calculs de réseaux reconfigurables, quasiment en temps réel. L'acquisition de données, grâce aux capteurs et aux systèmes de communication, permet de faire tourner nos modèles plus vite.

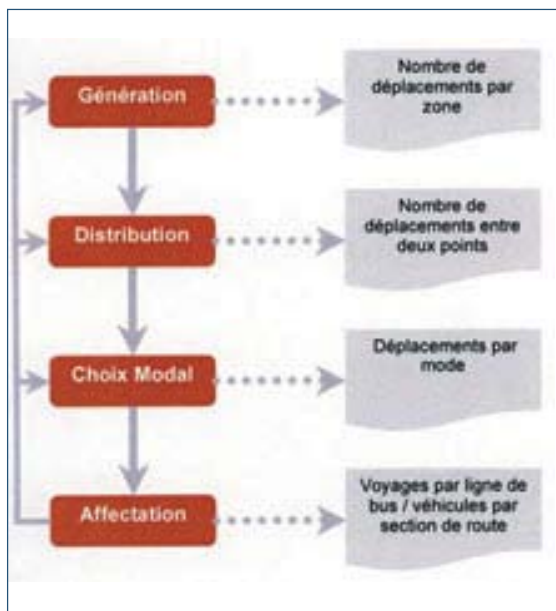
Une science encore jeune

Des progrès sont possibles pour fiabiliser les calculs : nous cherchons ainsi de nouvelles pistes pour mieux appréhender les facteurs d'élasticité de la demande, travailler sur la fréquentation des réseaux, et partant mieux évaluer les risques commerciaux dans la compétition entre opérateurs de transport. D'autant plus que les marges et la rentabilité de ce métier étant très faibles, il nous appartient pour augmenter la valeur ajoutée d'être plus performant en attractivité et en fréquentation par un marketing dynamique mais aussi d'améliorer les méthodes de calculs et de gestion de l'offre transport. L'économie des transports est une science relativement jeune.

**Raisonnement
juste à partir
de données
insuffisantes**

L'avenir sera de « piloter » les réseaux de transport pour ajuster l'offre à la demande en tenant compte de paramètres nouveaux comme, par exemple, l'efficacité énergétique ou environnementale. C'est ainsi que ce métier d'opérateur de transport public deviendra celui de gestionnaire de mobilité dès lors que nous aurons la responsabilité opérationnelle de l'ensemble de la chaîne de la mobilité tous modes confondus dont, le plus important, la régulation du trafic automobile.

PRÉVISION DE TRAFIC : UN MODÈLE À QUATRE ÉTAGES



- La première étape de **génération** permet de calculer, pour chaque partie du territoire étudiée, le nombre de déplacements que cette zone va produire et attirer pendant une période donnée (par exemple, aujourd'hui, je dois aller travailler, acheter un pain et un journal et aller au cinéma).

- La seconde étape, de **distribution**, construit un programme de déplacements en associant un lieu à chaque activité. À l'issue de cette étape, on identifie des flux de déplacements entre zones (de chez moi à mon travail, de mon travail au cinéma...).

- L'étape de **choix modal** qui suit permet de simuler les questions que se posent les voyageurs avant de choisir un mode de transport : pour aller de mon travail à la boulangerie vais-je marcher, prendre ma voiture ou monter dans le bus ?

- Pour terminer, **l'affectation** permet de déterminer les itinéraires choisis par les voyageurs des différents modes.

Prévoir le trafic et affecter les moyens

Pour étudier l'organisation des déplacements dans une ville, dimensionner une voirie, un tramway ou une ligne de métro, ou prévoir les conséquences d'un péage urbain sur la circulation automobile et sur le remplissage des autobus, les ingénieurs utilisent des modèles de prévision de trafic (voir encadré ci-dessus). Pour améliorer ce schéma général, on le complète par des boucles de rétroaction qui permettent, par exemple, de tenir compte de l'effet des conditions de circulation sur la génération (je ne me déplace pas un jour de grève), sur la distribution (je ne vais pas là parce que les conditions de circulation sont mauvaises), sur le choix modal (je vais plutôt prendre le tramway plus rapide et plus confortable)...

À l'intérieur de cette structure générale, on paramètre des modèles mathématiques plus ou moins compliqués : modèles linéaires pour la génération, modèles gravitaires ou à facteurs de croissance pour la distribution. Il s'agit de calculer l'intérêt qu'un individu porte à une alternative, dans notre cas, la voiture individuelle ou le transport public.

Cet intérêt s'exprime sous forme d'une utilité, traduite par une équation dont le terme aléatoire peut suivre diverses lois de distribution.

Des modèles plus ou moins complexes

Le dimensionnement des réseaux se fait lors d'une deuxième étape à l'aide de modèles d'affectation (voir encadré page suivante).

Leur objectif est de calculer les trafics des lignes d'un réseau de transport collectif à partir d'informations sur la demande de transport (flux de passagers d'une zone à une autre) et de la description de l'offre (itinéraires, arrêts et fréquences).

Ces modèles peuvent ensuite être améliorés pour tenir compte par exemple : des effets des troncs communs (quand il y a plusieurs lignes, l'attente est moindre) ; de la possibilité pour les voyageurs de se répartir entre des itinéraires concurrents ; des préférences de catégories d'usagers (ceux qui préfèrent aller vite, ceux qui souhaitent éviter les changements...).

Ces améliorations sont cependant limitées par la qualité des données utilisées pour les paramétrer : l'erreur entre la réalité et les résultats des enquêtes doit être du même ordre de grandeur que l'erreur entre les résultats des enquêtes et les résultats des modèles.

Une bonne maîtrise des incertitudes liées aux données

Elle est essentielle dans les prévisions de trafic et recettes.

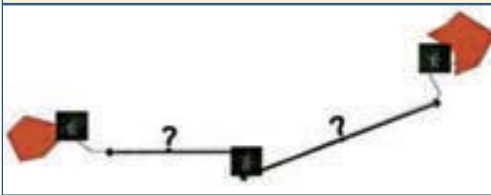
Ajuster l'offre à la demande en tenant compte de paramètres nouveaux comme l'efficacité énergétique ou environnementale

LES MODÈLES D'AFFECTATION

Ils partent du principe que les voyageurs ont un comportement rationnel et qu'ils choisissent le meilleur chemin pour aller d'un point à un autre.

Le modèle calcule donc, pour chaque itinéraire, un « temps généralisé » qui est la somme pondérée :

- d'un temps de marche à pied,
- d'un temps d'attente,
- d'un temps de circulation dans le véhicule,
- de pénalités de montée ou de correspondance,
- d'un coût de déplacement.



Dans leurs versions les plus simples, ces modèles retiennent l'itinéraire ayant le temps le plus court.

Le trafic d'une ligne se calcule en sommant les itinéraires de chaque voyageur.

En effet, il y a peu de données et les études sur leur fiabilité et leur variabilité sont rares. On peut toutefois identifier quelques grandes catégories d'incertitudes :

• Les incertitudes sur les petits flux

La connaissance des flux de transport passe généralement par le calcul de matrices origine-destination (OD) dont chaque cellule représente le nombre de voyageurs souhaitant aller d'une zone origine à une zone destination. La difficulté vient du fait que plus les zones sont petites plus il y a de cellules vides ou comportant des « petits flux ». Les enquêtes permettent d'appréhender les plus gros flux mais restent très imprécises sur les petits flux.

• Les incertitudes sur les variations quotidiennes

Les enquêtes ménages ou les enquêtes OD sont des enquêtes extrêmement coûteuses (en temps et en argent). Il n'est donc généralement pas possible d'estimer l'impact du jour de la semaine, des variations saisonnières ou des conditions atmosphériques.

Faute de mieux, on considère ainsi les données disponibles comme sûres même si on en connaît les limites.

Les modèles sont donc calibrés sur ces données puis ensuite généralisés.



D.R.

Réagir au lieu de prévoir

Cet aperçu rapide des méthodes de calculs des réseaux de transport montre que l'incertitude règne, et que, finalement, on s'en affranchit par contournement en estimant que les données disponibles sont justes.

Mais les marges de progrès sont nombreuses, car le « préventif » est compliqué du fait d'une insuffisance de données, on peut faire maintenant plus de « curatif » directement en exploitation à l'aide des technologies de l'information, notamment l'électronique embarquée et les capteurs au sol.

Citons rapidement quelques pistes.

- Il est possible par la géolocalisation et la téléphonie mobile de mieux connaître les demandes clients et d'enregistrer les parcours clients. On lève ainsi une partie de l'incertitude sur la connaissance des flux.

- Les autobus circulant dans l'ensemble du flot des voitures et étant donc tributaires du trafic, garantir le respect des horaires devient très difficile mais essentiel pour apporter une qualité de service aux voyageurs. On maîtrise maintenant bien les techniques de régulation des feux tricolores et de calcul de plan de feux aux carrefours. En mêlant électronique de pilotage des feux et modèles de simulation de la dynamique d'un bus, on peut ainsi mieux réguler leur vitesse commerciale sur une ligne.

- Avec les systèmes d'aide à l'exploitation qui contrôlent, vitesse, position géographique, ou temps de parcours des véhicules de transport, l'exploitant dispose de leviers d'action compensant en partie les aléas de la demande de voyages, du trafic ou de l'exploitation.

En d'autres termes, l'opérateur de service de transport, aidé par les progrès considérables de l'électronique et des communications, arrive à s'affranchir de ce que la prévision n'arrive pas à faire, c'est là toute la richesse des missions de l'exploitation. ■

**On peut faire
aujourd'hui
du « curatif »
directement
en
exploitation**