

# La gestion des incertitudes dans les réseaux de transport urbain

Claude Arnaud  
Directeur Recherche-Innovation &  
Développement Durable,  
Veolia Transport

*Article paru dans « La Jaune et la Rouge » (Revue mensuelle de la société amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique), février 2008.*

Les incertitudes sont au cœur de nos vies depuis toujours. Les Grecs ou les Romains ne partaient pas à la guerre sans consulter les oracles ou autres divinations. Ils géraient ainsi l'incertitude du futur, comme d'autres aujourd'hui vont voir une voyante.

Toutes nos activités humaines sont soumises aux aléas, au hasard, donc aux incertitudes liées à une absence ou une insuffisance d'informations.

La supériorité des mathématiques sur toutes les autres sciences est justement de chercher à résoudre les questions d'incertitude. Et remarquons simplement qu'elles ont assez bien réussi, là où d'autres s'en remettaient à la religion voire à la sorcellerie.

Je ne suis ni mathématicien, ni philosophe, donc peu apte à commettre un article sur la gestion des incertitudes. Et pourtant, Bernard Beauzamy m'a convaincu d'écrire quelques lignes sur le métier du transport public de voyageurs face aux incertitudes. Je me contenterai donc de quelques réflexions de bon sens d'ingénieur.

## **1. Comment fonctionne un réseau de transport ?**

Nous ne retiendrons ici que le transport public de voyageur 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'offre 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 ayant désigné ses représentants pour la mettre en œuvre. 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'Etudes 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.

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, avec quelle tendance pour l'avenir, etc. ...

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.

Remarquez bien que cette question de l'offre et de la demande relève du même ordre que la poule et l'œuf, il n'y a pas de demande s'il n'y a pas d'offre et réciproquement.

Cependant dans la plupart des industries ou des services la demande tire l'offre, sauf en transport où l'on raisonne dans l'autre sens.

Notons au passage que l'innovation fonctionne de l'offre vers la demande. Les exemples abondent : l'automobile, la télévision, ou la téléphonie mobile qui s'est développée intensément par l'offre de terminaux et services associés.

J'en déduis qu'un marché établi (mature) fonctionne plutôt par la demande et qu'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. Ne pensez pas que je ne veuille pas traiter le sujet, au contraire, je suis en plein dedans.

On voit tout le paradoxe de ces métiers de tradition qui ont établi des règles semble-t-il immuables, donc pourquoi en changer ? Nous y sommes. 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 conclut son offre en la protégeant dans un contrat où l'essentiel de la recette sera sous forme de subvention assise sur un niveau de service plutôt que sur la fréquentation réelle du réseau.

En comparaison, une pièce de théâtre voit son succès directement par le nombre de billets vendus, métier à risque commercial fort et aux incertitudes élevées. Mais vous noterez qu'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 certes pas un théâtre, bien qu'il s'y passe des aventures tous les jours dignes des meilleurs vaudevilles, mais relève ainsi d'une gestion des incertitudes par contournement.

Bon, soyons sérieux, comment fait-on ? Et peut-on améliorer nos connaissances ?

Le transport est fait pour durer, le temps est une donnée majeure. Construire un tramway est une décision structurante valable pour 30 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. Dans les courses au large, c'est le prévisionniste météo qui fait gagner presque autant que le skipper.

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 2 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, nous allons en donner un bref aperçu.

Le principe adopté pour le calcul d'offre et ensuite la gestion des graphiques est de considérer le « peu » de données disponibles comme fiables. A 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 internet de calculs d'itinéraires ne sont pas si faux que cela.

Il n'en demeure pas moins que 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 qui ne demande qu'à se développer.

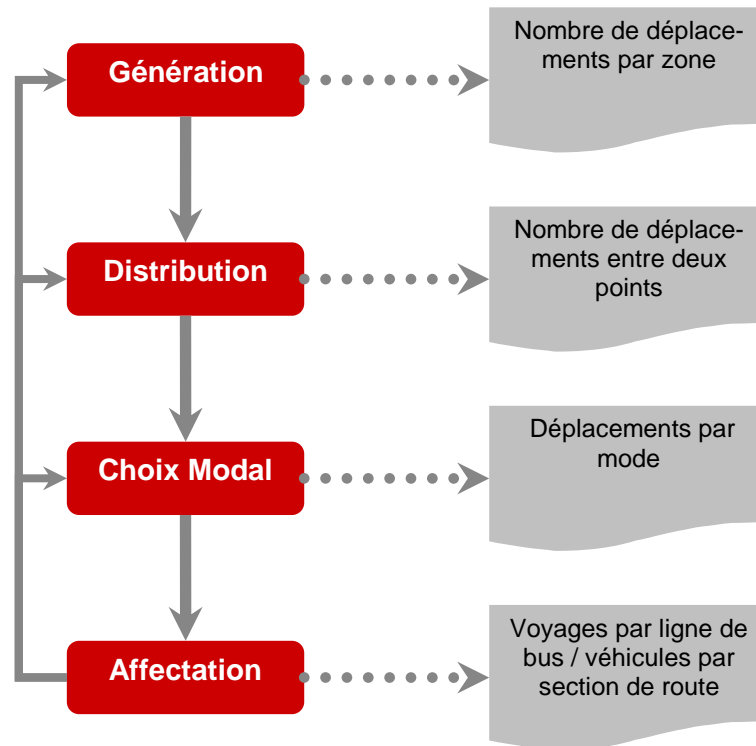
La deuxième incertitude porte vraiment sur l'exploitation, sous l'angle gestion de crises ou d'événements. La survenance d'un incident ou accident relève de l'aléatoire pur, mais la réaction de l'opérateur est elle du domaine de la gestion (y compris d'incertitude) où il faut recalculer le plus vite 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 de trafic possible grâce aux capteurs et aux systèmes de communication permet de faire tourner nos modèles plus vite.

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.

## **2. Les modèles de prévision de trafic**

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.

La plupart de ces modèles ont une structure commune, en quatre étapes qui simulent chacune une phase du comportement des voyageurs :



La première étape de **génération** permet de répondre à la question : Combien de déplacements vais-je réaliser aujourd'hui ? et pour quelles raisons ? Elle 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. A 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 (voir ci-dessous)

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)...

A 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, logit ou probit pour le choix modal et l'affectation. 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 une loi de distribution de type loi de Gumbel (modèle Logit) ou loi normale (modèle Probit). Sur un plan pragmatique on constate que les formules sont les mêmes.

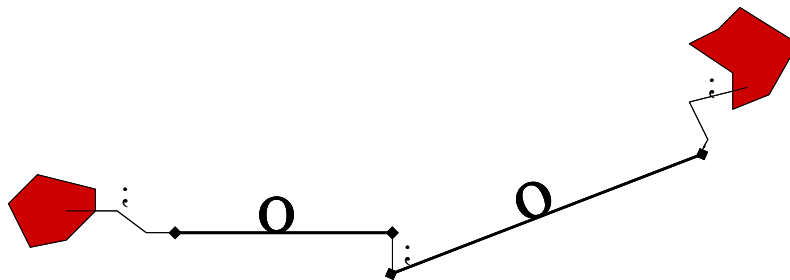
### 3. Les modèles d'affectation

Ces modèles sont plus particulièrement utilisés dans le cadre du dimensionnement des réseaux de transport. 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 des lignes de TC).

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.

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.

#### **4. Les erreurs dans les prévisions de trafic et recettes**

Comme déjà dit, 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 :

##### ***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.

##### ***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 (dans le temps et dans l'espace).

#### **5. Perspectives de progrès**

Vous avez eu un aperçu rapide des méthodes de calculs des réseaux de transport, ou l'on voit que l'incertitude règne, et que finalement, comme je l'écrivais plus haut, on s'en affranchit par contournement en estimant que les données disponibles sont justes.

Mais y a-t-il des marges de progrès ?

Oui il en existe, car si, comme on vient de le voir, 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.

Je terminerai cet article en donnant rapidement quelques pistes de recherche.

- Il est possible par la géo localisation 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.