

## LE MODÈLE DE DÉPLACEMENTS DE LA RÉGION ILE-DE-FRANCE

Marc PAPANUTTI\*



L'analyse des transports urbains se heurte à plusieurs types de difficultés, tant sur le plan méthodologique que sur celui des données disponibles. La direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France (DREIF) a mis au point un modèle de déplacements urbains en région parisienne (MODUS), dont on expose ici les principes méthodologiques, avec les quatre étapes classiques : génération, distribution, choix modal et affectation des déplacements automobiles sur le réseau routier, ainsi que les observations sur lesquelles il repose ; ses résultats seront exposés dans un prochain article.

### **Des modèles de déplacements pour prévoir et évaluer**

L'étude des projets de grandes infrastructures de transport (voies ferrées, routes) intervient nécessairement longtemps avant leur réalisation. Le choix entre différents projets nécessite donc de prévoir les besoins futurs en déplacements. Ces prévisions sont souvent basées sur des modèles fondés sur des hypothèses d'évolution des comportements individuels, de la population, des activités économiques et des réseaux de transport. Ils permettent, en effet :

- de simuler et de prévoir l'importance et la structure des trafics sur les différents éléments des réseaux ;
- d'évaluer la qualité du service rendu aux usagers et les impacts économiques des différents projets.

Le terme modèle est à entendre ici dans son sens mathématique : on cherche à reconstituer des phénomènes réels par des formules mathématiques. Les calculs nécessaires pour un modèle de déplacements sont longs et complexes ; ils nécessitent le recours à des moyens informatiques performants.

Bien que le simple bon sens doive primer dans la conception et l'utilisation d'un modèle, la complexité des phénomènes de déplacements rend nécessaire la réalisation d'enquêtes souvent lourdes auprès de la population (enquête globale des transports - EGT). Mises à jour régulièrement depuis 1965, ces enquêtes ont permis d'établir les principales règles statistiques utilisées.

Les résultats des modèles sont, bien sûr, à prendre avec précaution, tout spécialement lorsque l'on considère les résultats à long terme. Ils donnent des indications pertinentes, mais non suffisantes. Ils sont irremplaçables et riches d'enseignements qui doivent être analysés, interprétés, critiqués et considérés comme des simulations à partir desquelles l'expert peut établir des projections ou des prévisions.

### **Les quatre objectifs du modèle**

**Un modèle régional** : par opposition à un modèle local, qui se focaliserait particulièrement sur un secteur, le modèle de la DREIF couvre l'ensemble de l'Ile-de-France. Il s'intéresse aux 35 millions de déplacements quotidiens régionaux ; il ne peut donc pas être utilisé pour étudier ponctuellement un simple carrefour ou une petite ligne d'autobus.

**Un modèle multimodal** : l'ensemble des modes de déplacements terrestres est envisagé : marche, métro, bus, train, RER, voiture, deux-roues, poids-lourds...

\* Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France (DREIF).

## MODÈLE

**Un modèle de politique des transports** : la vocation première du modèle de la DREIF est de tester, à l'horizon de dix ou vingt-cinq ans, des variantes globales du réseau de transport régional, ou des infrastructures particulières. Cela nécessite de se fonder sur les tendances lourdes en matière de déplacements, sans souci d'une grande précision de détail qui serait largement illusoire. Le modèle sert à connaître, de manière complète (tous lieux, tous modes), les effets des grands choix d'aménagement. Dans l'idéal, il devrait même s'agir d'un modèle de déplacements et d'urbanisation.

**Un outil de fabrication de matrices de déplacements pour des applications particulières** : le modèle permet de fabriquer des matrices de demandes focalisées sur des zones réduites qui sont fournies aux maîtres d'ouvrage pour évaluer leurs projets.

### *Evolution du modèle*

Une première version de MODUS est complètement opérationnelle en 1997. Une nouvelle version plus complète est en cours de calage (MODUS 2). Elle prend en compte d'une part le fait que certains voyageurs sont captifs des transports collectifs, d'autre part le bouclage de la demande sur les nouveaux temps issus de l'affectation. La boîte à outils utilisée comme support est un logiciel du commerce (TRIPS) paramétré pour répondre aux contraintes fonctionnelles décrites ci-dessous.

#### PREMIÈRE ÉTAPE : GÉNÉRATION DES DÉPLACEMENTS

Le modèle calcule les déplacements émis et attirés en une journée par chacune des 1 277 zones, tous modes (voiture particulière, transports en commun et marche à pied), pour 8 motifs, pour MODUS 1.

La segmentation par catégorie (captifs et non-captifs des transports en commun) est ajoutée dans MODUS 2.

### *Un zonage très détaillé*

Le zonage utilisé pour estimer la demande de déplacement comporte 1 277 zones. Ces zones recouvrent l'ensemble de l'Île-de-France, ainsi que vingt communes du sud de l'Oise (secteurs de Creil, Senlis et Chantilly). Cela représente en moyenne à peu près une zone par commune, mais la densité est en réalité hétérogène : Paris est décomposé en une centaine de zones, les communes de petite couronne et les principales de grande couronne comportent, en moyenne, trois ou quatre zones chacune, les autres zones étant constituées chacune d'une ou plusieurs communes du reste de la région.

### *Les huit types de motifs*

Les motifs sont définis selon l'origine et selon la destination, au nombre de huit :

1. domicile → travail
2. travail → domicile
3. domicile → affaires professionnelles
4. affaires professionnelles → domicile
5. domicile → autres lieux
6. autres lieux → domicile
7. secondaire professionnel
8. secondaire personnel

## MODÈLE

### **Emissions et attractions en fonction de l'occupation du sol : populations et emplois**

La première opération consiste à calculer le nombre de déplacements émis et le nombre de déplacements attirés par chacune des 1 277 zones, et ceci en distinguant les huit motifs. Le nombre de déplacements émis ( $E_{im}$ ) ou attirés ( $A_{im}$ ) par une zone, pour un motif donné, est modélisé par une combinaison linéaire de sept variables qui sont les suivantes :

- la population totale ;
- la population active ayant un emploi ;
- l'emploi total ;
- les emplois de commerce ;
- l'emploi lié aux loisirs ;
- l'emploi tertiaire ;
- le nombre d'étudiants inscrits dans les établissements d'enseignement de la zone.

### **Les déplacements « captifs »**

L'objectif spécifique à MODUS 2 est d'établir des taux de déplacements captifs pour les voyageurs ne disposant pas du mode « voiture particulière ». Ces taux sont différenciés par zones et selon que le déplacement est professionnel ou non.

Le principe général est de lier la captivité au niveau de motorisation de la zone « domicile ».

Un calage effectué sur les enquêtes globales de transport (EGT) de 1983 et de 1991 a permis de déterminer des valeurs de  $\alpha$  pour la relation suivante :  
**captivité = exp(- $\alpha$  · motorisation)**

#### DEUXIÈME ÉTAPE : LE CALCUL DES TEMPS GÉNÉRALISÉS MULTIMODAUX

Ces temps de déplacement sont utilisés dans le modèle de distributions.

### **Les temps de déplacement entre les zones**

Le calcul des temps de déplacement sont calculés de la façon approximative suivante.

**Temps de marche à pied** : les temps de déplacement à pied sont calculés à partir des distances à vol d'oiseau et d'une vitesse moyenne de « marche à pied à vol d'oiseau » ( $V_{MAP} = 2,5$  km/h).

**Temps en transport collectif** : ces temps prennent en compte les durées de rabattement, d'attente et de correspondance si nécessaire et, évidemment, les temps passés dans le véhicule. Il s'agit donc d'une matrice des temps de transport en commun porte à porte à l'heure de pointe du matin.

**Temps en voiture particulière** : la matrice des temps en voiture est le résultat d'une précédente affectation routière à contrainte de capacité. Il s'agit d'une matrice des temps passés à bord du véhicule à l'heure de pointe du soir. Afin de prendre en compte les temps nécessaires pour rejoindre son véhicule, quitter la voirie locale de la zone ou chercher une place de stationnement, on ajoute un « temps complémentaire » obtenu par calage sur l'EGT de 1991.

### **Temps généralisés**

On passe à des temps généralisés par l'intermédiaire des valeurs du temps, afin de prendre en compte les coûts de déplacements, coûts kilométriques et coûts de stationnement pour les voitures.

## MODÈLE

*On dispose à ce stade de matrices de temps généralisés en trois modes, huit motifs et 1 277 zones.*

### **Calcul des temps généralisés multimodaux**

Pour effectuer la distribution géographique des déplacements, il est nécessaire de disposer de matrices de temps généralisé correspondant à l'offre de transport globale, tous modes confondus, selon le motif.

Dans MODUS1 le temps généralisé est la moyenne pondérée des temps généralisés des trois modes. Dans MODUS 2, une segmentation entre captifs et non captifs est opérée : pour les captifs, l'offre globale se limite aux transports en commun et à la marche à pied ; pour les non captifs, l'offre comprend les transports en commun, la voiture particulière et la marche à pied.

Le temps généralisé multimodal est défini comme le minimum des temps généralisés des modes disponibles par catégories.

*On dispose alors de matrices de temps généralisés multimodaux pour huit motifs et deux catégories : captifs et non captifs.*

### **Le modèle gravitaire de distribution**

La distribution des déplacements consiste à bâtir une matrice origine-destination à partir des émissions attractions des 1 277 zones, et ce pour chaque motif.

Le nombre de déplacements pour aller de la zone  $i$  à la zone  $j$  étant supposé être une fonction décroissante de temps de parcours et dépendre directement du nombre total de déplacements dont l'origine est la zone  $i$  ainsi que du nombre de déplacements vers la zone  $j$ , on utilise une représentation des déplacements de type gravitaire, à savoir :

$$T_{ij} = E_i \cdot A_j \cdot \exp(-t_{ij}/\tau), \text{ où}$$

$T_{ij}$  est le nombre de déplacements entre la zone origine  $i$  et la zone destination  $j$  ;

$E_i$  est le nombre de déplacements émis par la zone  $i$  ;

$A_j$  est le nombre de déplacements attirés par la zone  $j$  ;

$t_{ij}$  est le temps généralisé pour aller de  $i$  à  $j$  ;

$\tau$  est le coefficient de distribution.

*On dispose à cette étape de matrices de déplacements tous modes pour les huit motifs.*

### TROISIÈME ÉTAPE

### **Séparation des modes légers**

Les modes légers (marche à pied, vélo...) sont séparés a priori des modes motorisés par une fonction de la distance à vol d'oiseau de zone à zone.

### **Répartition logistique : voiture/transport collectif**

Pour les captifs, le choix modal est réduit à la première étape de séparation des modes légers. En effet, les captifs étant définis comme n'ayant pas la possibilité d'utiliser une voiture, ils ne peuvent se déplacer qu'en transports en commun ou à pied (et deux roues).

## MODÈLE

Pour les non captifs, les déplacements en voiture particulière et en transports en commun sont répartis entre les deux modes dans MODUS 2 selon un modèle logistique exponentiel :

$$Tvp_j^m = Tvptc_j^m \cdot \frac{e^{-\nu p_j^m / \tau_m}}{e^{-\nu p_j^m / \tau_m} + e^{-\nu c_j^m / \tau_m}} \quad \text{et} \quad Ttc_j^m = Tvptc_j^m \cdot \frac{e^{-\nu c_j^m / \tau_m}}{e^{-\nu p_j^m / \tau_m} + e^{-\nu c_j^m / \tau_m}}$$

où  $\tau_m$  est le paramètre de choix modal pour le motif m.

Dans MODUS 1, la répartition entre voiture particulière et transports en commun se fait également selon un modèle logistique exponentiel, mais pour une seule catégorie.

### **Passage aux heures de pointe**

A cette étape, on dispose de matrices de déplacements à la journée, en deux modes et huit motifs. Les exploitations se faisant en général pour les heures de pointe, il faut obtenir les matrices correspondantes.

On passe des flux journaliers aux flux d'heure de pointe par des coefficients multiplicateurs  $\rho$  dépendant du motif, du mode, de la pointe (matin ou soir), de la liaison géographique dans le découpage en trois couronnes (Paris, petite couronne, grande couronne + Oise).

### **Trafics spécifiques des non-franciliens**

Les matrices ainsi calculées correspondent aux déplacements des résidents franciliens en voiture particulière ou en transports en commun, effectués dans les limites de la région. Il convient ensuite d'ajouter les trafics suivants, calculés par ailleurs :

- déplacements professionnels internes à l'Ile-de-France des non franciliens ;
- déplacements personnels internes à l'Ile-de-France des non franciliens ;
- cas spéciaux mal pris en compte par le modèle général (passagers aériens gagnant les aéroports, visiteurs des parcs d'expositions, visiteurs de Disneyland...);
- flux issus du cordon régional (pour les déplacements en voiture, en transit ou entrant ou sortant de la région) ;
- flux de poids-lourds (marchandises et transport collectif routier).

On ne dispose pour l'instant que du cordon régional routier, sur 28 points cordon. On passe ainsi d'une matrice en 1 277 zones à 1 305 zones.

*On dispose alors à ce stade de quatre matrices en 1 305 zones : heures de pointe du matin (séparément pour les transports en commun et les voitures particulières), heures de pointe du soir (en séparant également les transports en commun des déplacements en voitures particulières).*

#### QUATRIÈME ÉTAPE - PROCÉDURES D'AFFECTATION DANS LE MODÈLE ROUTIER ET CALCUL DES TEMPS DE PARCOURS

### **Présentation générale. Cas de Modus 1**

La procédure d'affectation consiste à mettre en relation la demande de déplacement (cette demande de déplacement générée en fonction des hypothèses, issues du schéma directeur de la région Ile-de-France (SDRIF), de la localisation des habitants, des actifs et des emplois) et l'offre de transport (le réseau d'infrastructures) dans une situation donnée (décrite par des paramètres tels que la valeur du temps des différentes classes d'usagers, etc.).

## MODÈLE

Il s'agit donc d'un calcul de choix d'itinéraire.

La valeur du temps représente, dans le cas de l'utilisation d'une infrastructure à péage, le consentement à payer pour gagner du temps dans le déplacement.

*L'utilisateur est prêt à payer un surcoût d'usage de la route pour être plus vite à destination.*

C'est une méthode d'affectation avec recherche de la convergence du modèle selon un critère d'équilibre dit « de Wardrop ».

*Chaque usager cherche à minimiser son coût généralisé de parcours :*  
le coût généralisé = temps généralisé x valeur du temps + péages éventuels

Cet optimum individuel est unique. La procédure d'affectation est à contrainte de capacité, c'est-à-dire qu'elle tient compte de la congestion

On dispose à l'issue de ce calcul de la charge du réseau (nombre de véhicules) ainsi que du temps de parcours sur chacun des tronçons.

### **Cas de MODUS 2**

La méthode d'affectation est tout à fait similaire à celle de MODUS 1, c'est-à-dire selon le principe d'équilibre de Wardrop et avec contrainte de capacité.

Une des grandes nouveautés dans MODUS 2 est de traiter le bouclage, c'est-à-dire les interactions entre les temps de parcours et les choix de destination ou de mode de transport. En effet, les temps de parcours issus de l'affectation routière peuvent être réintroduits dans la distribution et le choix modal, permettant ainsi de traiter certains aspects de l'élasticité de la demande qui peut se traduire par une modification des choix de destination et des choix de mode. ■