Hyperchemin et applications sur les réseaux TC de l'Ile-de-France

Kaisheng Liu, Directeur de conception de systèmes à Alstom et Président de l'AFCDUD

Dans un réseau de transport public à grande échelle tels que le réseau de la région Ile-de-France, composé de nombreuses lignes multimodales qui desservent 25 millions de déplacements par jour, 26 milliards de passagers kilomètres par an, sélectionner un modèle de choix d'itinéraire ad hoc et efficace est très important pour les simulations de prévision de trafic. Cet article a pour objectif d'introduire la modélisation de transport avec le cheminement avancé — l'Hyperchemin - et son application dans le réseau de transport multimodal de la région parisienne avec l'outil de simulation RATP. Ce modèle peut être étendu pour prendre facilement en compte la qualité de service (l'inconfort de coût) pour les études ultérieures.

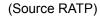
Présentation des réseaux et services de transport public en Ile-de-France

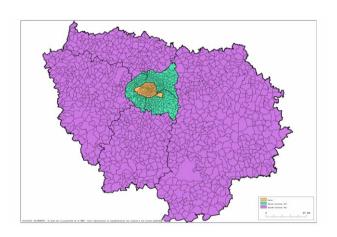
Les réseaux de transport public

Avec 11,6 millions d'habitants sur une superficie de 12011 Km², la région Île-de-France (IDF) a développé un réseau de transports publics particulièrement dense. Ce dernier, en 2004, est composé de 13 lignes express régionales (dont 8 lignes de Transilien et 5 lignes de RER), 16 lignes de métro et 4 lignes de tramway. Il regroupe 806 stations (gares) sur une longueur totale de 1642 Km. A cela s'ajoutent 1 371 lignes de bus comptant 30 068 arrêts.

La carte ci-contre présente le découpage francilien en 1921 zones, avec la mise en évidence du regroupement en trois couronnes :

- Paris
- Petite Couronne (PC)
- Grande Couronne (GC)





Les réseaux ferrés couvrent de manière radiale et transversale l'ensemble de la région. En moyenne, chaque ligne dessert 34 stations avec une fréquence de 20 à 30 trains à l'heure de pointe (soit moins de 3 min de temps d'attente). Parmi ces lignes, le RER A offre 30 trains par heure, 204 436 places totales (dont 20 430 places assises) en heure de pointe du matin (HPM).

Le réseau de métro dessert essentiellement le centre de Paris avec une haute fréquence (de 27 à 35 véhicules par heure pour chaque ligne), une haute capacité (près de 20 000 places offertes dont 420 places assises en moyenne par ligne) et une haute accessibilité (chacune des 297 stations de métro est à moins de 500 m à pied de n'importe quel point de la ville).

La mobilité en IDF

Les comportements modaux sont connus par l'enquête ménage et l'enquête globale des transports nommé EGT (2001). Chaque jour, 10,049 millions de voyageurs se déplacent. Parmi eux 3,089 millions utilisent les services de transport en commun et 6,96 millions d'autres modes de transport (voiture, vélo, marche à pied,...etc.). Par ailleurs, 2,762 millions effectuent au moins 2 voyages en transport en commun par jour.

Répartition modale des déplacements journaliers (%) 2004 (Source STIF)									
Type de liaison	VP	TC	Autres motorisé	Total					
Paris – Paris	28	64	8	100					
Paris - Banlieue	37	60	3	100					
Banlieue - Banlieue	81	16	3	100					
lle-de-France	66	30	4	100					

Tableau 1. Répartition modale des déplacements journaliers en IDF

Modèle et outil de simulation

Nous avons développé le Modèle Global à la RATP, qui est un outil informatique de prévision de trafic à 4 étapes : génération, distribution, choix modal et affectation. Voir la figure 1.

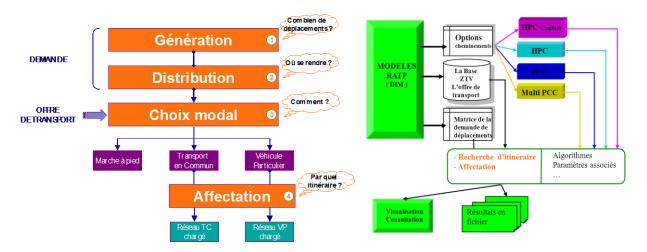


Figure 1. Les quatre étapes du Modèle Global et l'architecture du modèle (Source : RATP)

La génération et la distribution sont basées sur les données de l'EGT.

Le modèle de choix modal est fondé sur le principe selon lequel la part modale dépend du coût généralisé de chacun des modes disponibles sur la liaison considérée.

Sur les étapes du choix modal et d'affectation, nous avons développé les modules de recherche d'itinéraire et de chargement du réseau en hyperchemin classique (HPC), hyperchemin diversifié (avec la notion de tolérance restreinte), et hyperchemin confort (modèle de congestion en places assises).

Codage du réseau TC

Nous parlons dans cette section de la topologie du réseau codée dans les modèles, de la transformation des graphes dans la base des données des offres de transport. Voir la Figure 2.

La couche physique se compose des infrastructures des réseaux TC tels que les stations (gares, arrêts de bus, station de métros), les tracés des lignes (les tronçons de souterrain, les voies ferrées, les sites propres, etc.).

La Couche des services superposée décrit l'offre de TC : lignes, missions, horaires, fréquences, temps de roulement, capacité des missions (places assises/debout), et tarif, etc.

La couche des conditions économiques contient une série de coefficients et de paramètres de pénalité (parfois forfaitaires) qui interviennent lors d'actions ou mouvements sur les réseaux, tels que l'accès aux réseaux, les correspondances entre lignes, etc.

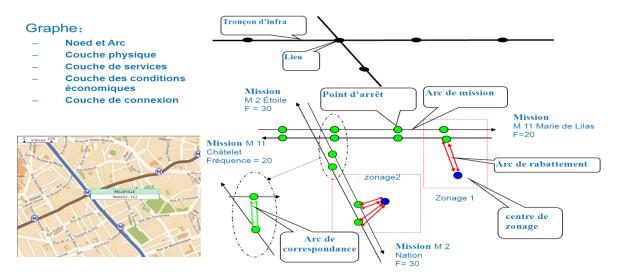


Figure 2. Codage du réseau TC et des zones

Choix d'itinéraire et types de cheminement

Face à une offre de transport, il s'agit pour le passager de prendre une chaîne de choix de transport pour arriver à son destination. Plusieurs types de choix d'itinéraire sont développés.

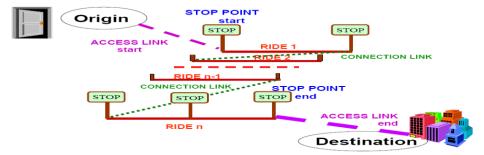


Figure 3. Illustration du trajet d'un déplacement origine/destination

PCC – plus court chemin

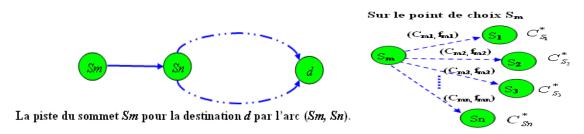
Pour une liaison avec une origine et une destination (O-D) données, selon les données du réseau TC (coûts généralisés et fréquences), on trouve le chemin le moins coûteux. Il peut être calculé au moyen du codage de tronc commun ou de ligne fictive. Les flux entre cette O-D seront affectés à 100% sur les arcs de ce PCC.

Multi PCC

Il est basé sur le principe de PCC que l'on effectue x fois. Pour chaque itération, les coûts généralisés des arcs sont modifiés au moyen d'un coefficient aléatoire afin de trouver des itinéraires différents. La probabilité de chaque chemin vaut 1/x.

Hyperchemin

Pour une destination donnée, c'est l'ensemble des arcs optimaux qui constituent un éventail de chemins, qui permet aux voyageurs venant de tout lieu d'origine de minimiser le temps total d'espérance pour arriver cette destination. Chaque arc optimal contient une probabilité qui sert à répartir les flux.



Simulation numérique

Notre simulation est basée sur l'hyperchemin, car il a mieux représenté les services combinés, le temps d'attente réel, avec un codage simple et un algorithme performant, facile à étendre pour prendre des aspects tels que le confort et la congestion.

Introduction et définition des indicateurs

Nombre moyen de chemins par paire O-D (NbChe) entre paires de zones connectées : le nombre moyen de chemins optimaux est le nombre de choix optimaux permettant aux voyageurs de minimiser le temps de déplacement entre ces deux zones.

Nombre moyen de correspondances par paire O-D (NbCor)

Coût Généralisé moyen (CGmoy) pour un déplacement entre paires de zones connectées.

Le coût moyen peut être décomposé selon les éléments du trajet :

- Coût Généralisé moyen en véhicule TC (CGveh),
- Coût Généralisé moyen du parcours lié aux rabattements (CGrab),
- Coût Généralisé moyen du parcours lié aux correspondances (CGcor),
- Coût Généralisé moyen du temps d'attente : somme des temps d'attente après rabattement et après correspondance (CGatt).

Taux de liaison sur l'ensemble des zones : il représente la connexité entre les zones à travers le réseau de transport collectif

Les résultats principaux du modèle d'hyperchemin

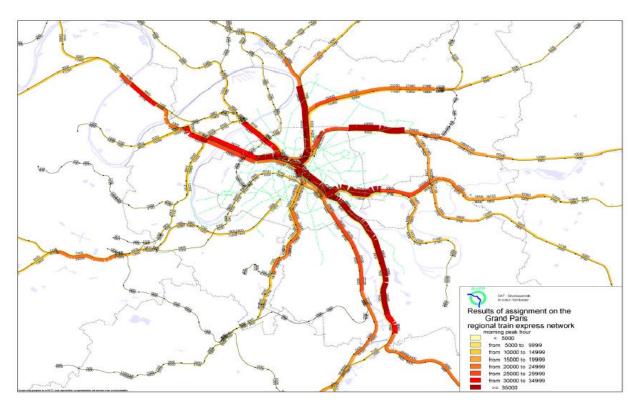


Figure 4. Carte de chargement en HPC du réseau ferroviaire de l'IDF

Tableau 2. Résultats des indicateurs d'affectation en HPC sur le réseau TC de l'IDF

Nb de chemins par OD	Nb de corresp. par OD	Coût Géné. moyen (€)	En-Véh	Attente	Correspon- dance		Taux de Connexion	Temps de calcul (s)
4,6	1,06	8,89	40%	11%	13%	36%	98,8%	161

De la quantification illustrative, nous tirons comme conclusion, qu'en termes de temps généralisé moyen, dans le modèle de référence (variante de base), un voyageur dépense en moyenne 40% du coût généralisé en véhicule, 11% en attente, 13% en correspondance et 36% en rabattement.