

Graphes – Applications

Problématique des Transports à la Demande

Institut National des Sciences Appliquées – Rouen
Département Architecture des Systèmes d'Information
michel.mainguenaud@insa-rouen.fr

Alternatives de transports

- Transports publics collectifs
 - Répondent partiellement aux attentes
 - Compétitifs sur les segments milieux urbains denses en sites propres
- Transports individuels en voiture, taxi
 - Compétitifs sur le péri-urbain, rural
- ... le vélo, la marche à pied
- Transports à la demande (TAD, DRT : Demand Responsive Transport)
 - Exemple : Seine-Maritime (conseil général)

Transports à la demande

- Définition
 - Transports terrestres collectifs individualisés de personnes, activés seulement à la demande, sur des trajets libres fixés par les demandes des usagers
- Principe
 - Lieu de destination souhaité
 - Heure d'arrivée souhaitée
 - Pool de véhicules dans des dépôts

Argumentaires

- Maîtrise des dépenses de transport (ne roule jamais à vide)
- Assurer le droit à la mobilité
 - Déficit de transports en commun
- Proposer un mode de déplacement pour les zones non denses, à des heures spéciales
- Lutte contre la pollution, le tout-voiture
- Service flexible

Historique

- Historique
 - Taxi-brousse
 - Nés dans les années 1970 (USA : Admendment to the Urban Mass Transportation Act – 1966)
 - Re-découverts dans les années 1990 – Cible :
Personnes à mobilité réduite, personnes âgées

France

- Loi d'Orientation des Transports Intérieurs (votée en 1982, décret en 1985)
 - « des services collectifs offerts à la place, déterminés en fonction de la demande des usagers, dont les règles générales de tarification sont établies à l'avance et qui sont exécutés avec des véhicules dont la capacité minimale est fixée par décret.
- Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (1996)

Problématique inter-disciplinaire

- Géographes:
 - Interactions entre réseaux de communication et territoires
 - Territoires forment les réseaux ou les réseaux (dé)structurent les territoires ?
- Sociologues :
 - Impacts d'une plus grande offre de communication ?
 - Système égalitaire ou non ?, gain de liberté ?
- Informaticiens / mathématiciens
 - Modélisation, résolution, optimisation, ...

Problématique inter-disciplinaire (2)

- Entreprises High-Tech
 - Nouvelles technologies de communication (bluetooth, WI-Fi, GPS, ...)
- Transporteurs
 - Rationalisation de l'offre
 - Simulation et fonctionnement puis adaptation
 - Qualité de service
 - Intermodalité (très utilisée pour les marchandises mais peu pour les personnes)

Outils

- Recherche opérationnelle
 - Plus court chemin
 - Ordonnancement
 - Programmation linéaire sous contraintes
 - Recherche exacte ou approchée (heuristiques)
- Informatique
 - Communication (requêtes, solution)
 - Affectation d'un grand nombre de demandes (non gérables manuellement)

Acteurs

- AOT : Autorités Organisatrices du Transport
- Transporteurs : compagnies privées
- Passagers
- Territoire (élément structurant du TAD)
 - Urbain
 - Rural
 - Péri-urbain

Modélisation de contraintes

- Problème difficile (économique, social, fonctionnel, environnemental)
 - Mode de réservation plus ou moins contraignant
 - Tarification en fonction de la souplesse
 - Délais d'attente faible, gestion en temps réel
 - Topologie : à ligne fixe activée à la demande, porte à porte, arrêt à arrêt, convergent (vers un évènement) ou divergent (à partir d'un évènement), avec ou sans détours
 - Qualité de service par nombre de rejet faible
 - Concurrence des transporteurs locaux

Outils

- Géostatistique spatiale
 - Semis de population
 - Taux de pénétration
 - Matrice origine / destination

Formalisation du problème

- Système défini par
 - Un ensemble de passagers
 - $P = \{p_1, \dots, p_n\}$
 - Une flotte de véhicule avec des caractéristiques hétérogènes -> pour simplifier fonction d'étiquetage unique
 - $F = \{v_1, \dots, v_p\}$
 - Dépôts
 - $D = \{d_1, \dots, d_q\}$
 - Un réseau routier modélisé par un p-graphe
 - $R = G(N, E, \Psi, \nu, \varepsilon)$

Éléments

- Requête
 - Demande de service formulée par les passagers entre un ramassage et une livraison
- Tronçon
 - Itinéraire continu (sans arrêts) entre deux services et identifiable sur le réseau routier
- Tournée
 - Plan de route exact - tronçons empruntés et heures de passages si nécessaire – pour un véhicule

Éléments ⁽²⁾

- Course
 - Fragment de tournée relatif à une requête
- Séquence
 - Liste ordonnée de services à effectuer pour un véhicule (les tronçons ne sont pas encore forcément connus)
- Fenêtre de temps
 - Couple de dates de réalisation au plus tôt et au plus tard pour un service

Classification

- Problèmes statiques
 - Toutes les données sont connues avant le calcul
- Problèmes stochastiques
 - Les données sont connues par une fonction de probabilité
- Problèmes dynamiques
 - De nouvelles données peuvent apparaître en cours de calcul

Problèmes 1ère génération

- (n-)TSP : Traveling Salesman Problem
 - Ordre de parcours des villes à visiter en minimisant la distance totale
 - n : nombre de véhicules qui se partagent la visite des villes
- VRP: Vehicule Routing Problem
 - Transport de marchandises récoltées en cours de trajet et ramenées à un dépôt unique.
- CVRP avec des contraintes de capacité
- VRPTW : avec contraintes temporelles (Time Window)

Problèmes 2ème génération

- PDP : Pick up and Delivery Problem (marchandises)
 - Contraintes de précédence entre arrêts
 - Avec ou sans contrainte de temps de transport maximal
 - ...
- SDP : Split and Delivery Problem
 - Avec éventuellement un chargement partiel en un noeud
- ... et avec les arcs : Postier chinois (eulérien)

DARP : Dial-a-Ride Problems

- Critères classiques (conduit à une approche multi-critères)
 - Distance totale parcourue
 - Durée d'une tournée
 - Durée de transport individuel
 - L'écart par rapport à une date de service souhaitée, ...
- Nature du problème (personnes)
 - Problème d'affectation : quel véhicule pour quel service
 - Problème de séquençement : ordre de visite des arrêts attribués à un véhicule
 - Problème d'horodatage : heure de passage aux arrêts

Analyse multi-critères

- Economie : un seul véhicule → qualité de service plus faible (retards cumulés)
- Qualité de service : plusieurs véhicules → l'impact environnemental plus important et coût plus élevé
- Environnemental : limiter l'impact → introduction de retard, augmentation du nombre de véhicule (coût)

Objectifs poursuivis

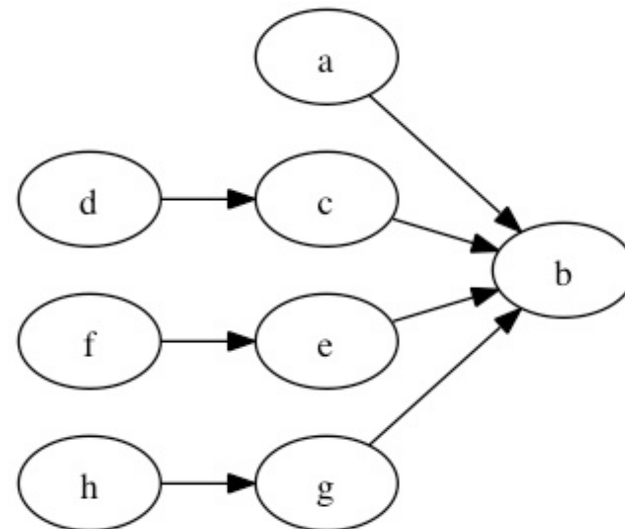
- Fonction
 - Economique : minimiser le nombre de véhicule
 - Environnemental : minimiser les temps de parcours
 - Qualité de service : minimiser les retards
- Contraintes
 - Nombre de véhicules
 - Horaires
 - Tolérance des clients vis à vis des retards

Convergence

- Mathématique : rapprochement d'un point limite
- Géographie : rapprochement de flux jusqu'à leur rencontre (fret ou de personne)
- Mono-convergence : en un seul point
 - Souvent excentré (aéroports,...)
 - Attraktif
 - Mal desservi (surtout si activité ponctuelle, ou horaire de frange – tôt / tard)
- Mono-divergence : à partir d'un seul point (retour)
- Solution : arbre de couverture, (anti-)racine

Arbre tentaculaire

- Chemin terminant : branche de l'arbre couvrant se terminant à l'anti-racine
- Tentaculaire : tous les chemins terminants sont arcs-disjoints deux à deux et sommets-disjoints deux à deux (sauf l'anti-racine)
- Minimal : lorsque le nombre de branche est minimal



multi-convergence

- Plusieurs destinations possibles :
 - Explicite : Connues et fixées à l'avance
 - Implicite : Non imposées et à découvrir (structure de flux) => identification des pôles attracteurs du territoire
- Solution
 - Méthodes avec agrégats : créer des graphes à partir d'une agrégation des demandes puis trouver les détours
 - Méthodes sans agrégats

Autres techniques

- Optimisation par séparation et évaluation progressive -SEP- (Branch and Bound)
- SEP avec génération de coupe (Branch and Cut)
- Génération de colonne (Branch and Price)
- Coupe et colonne (Branch and Cut and Price)

Faiblesses

- Délais de réservation : Plus la demande est forte, plus les temps de calcul sont élevés (optimisation informatique)
- Souvent considérés comme des substituts de lignes fixes
- Volonté politique (faible) pour le déployer sur des territoires qui ne possèdent pas une offre de transport public existante.