

PLANIFICATIONS D'ITINÉRAIRES EN TRANSPORT MULTIMODAL

Fallou Gueye^{1,2} Christian Artigues²
Marie-José Huguet²

¹MobiGIS, www.mobigis.fr

²LAAS-CNRS, 7 Av Colonel roche 31077 Toulouse
fgueye@mobigis.fr

EDSYS; Toulouse 15 Mai 2009



Plan

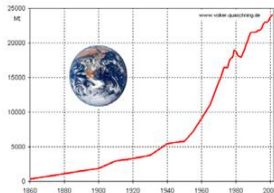
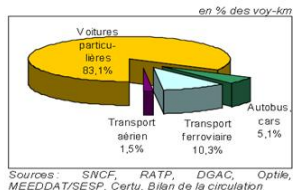
- 1 INTRODUCTION
- 2 PRÉSENTATION DU PROBLÈME
- 3 REVUE LITTÉRATURE
- 4 ALGORITHMES
- 5 COMPARAISON EXPÉRIMENTALE
- 6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Importance et enjeux

FORT ACCROISSEMENT DU TRAFIC DE VOYAGEURS ET DE MARCHANDISES

ENJEUX SOCIÉTAUX

- Baisse de la consommation énergétique
- Diminution d'émission de polluants



Contexte et Position du problème

DÉVELOPPEMENT DE MODES DE TRANSPORT ALTERNATIFS

- Favoriser les modes moins polluants (vélo, marche ou transport en commun)

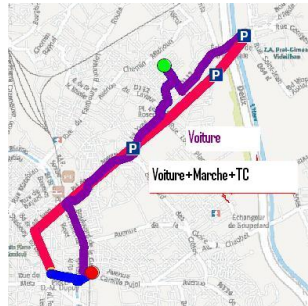
PROBLEMES

- Organisation des déplacements de passagers
- Aide aux choix des modes de transport dans les réseaux multimodaux

Problèmes étudiés

RECHERCHE D'ITINÉRAIRE(S) MULTIMODAUX

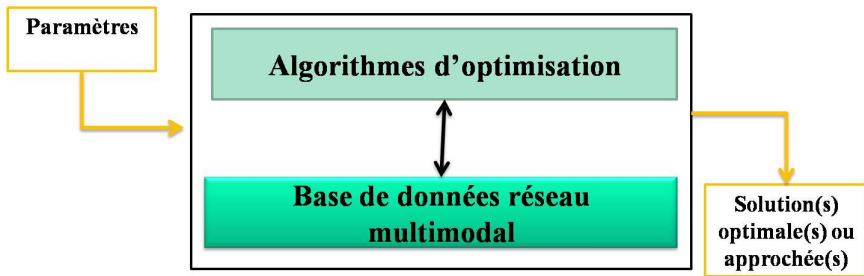
- Itinéraires les plus courts
- Itinéraires alternatifs



Objectifs

OBJECTIF DE LA THÈSE

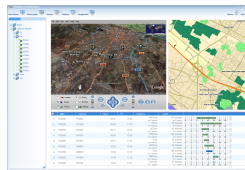
Développer un outil d'aide à la décision pour l'optimisation de la planification d'itinéraires multimodaux



Objectifs

DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS

- Bureautiques
- Client / Serveur
- Internet
- PDA et Mobile



Itinéraires multimodaux

DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORTS

- Marche, Voiture, Vélo, Métro, Bus, Train, Tramway
- Viabilité ou séquence d'utilisations des modes

DÉPENDANT DU TEMPS

- Horaires et fréquence de passages pour certains modes

CRITÈRES À MINIMISER

- Le temps de trajet, distance
- Le coût de transport (prix du billet, confort, écomobilité)
- Les préférences sur les modes (le nombre de changements de modes, etc.)

Problème étudié

RÉSEAU MULTIMODAL

- Modes : Bus, métro, vélo, voiture, Piéton
- Graphe FIFO

PROBLÉMATIQUE

- Recherche de chemin(s) O-D à une date de départ donné avec minimisation
 - du temps de trajet
 - du nombre de changements de modes

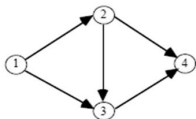
CONTRAINTES

- Viabilité ou séquence d'utilisation des modes
- Restrictions sur les modes (Horaires ou fréquences, sens de circulation, parkings relais, temps de marche)

Modèles

- Modèle discret
 - $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$: ensemble de dates $t + \text{delay}(i,j)(t) \in T$
- Graphe dynamique : Graphe espace-temps :
- Taille du Réseau Espace-Temps :
 - $|V| = n \cdot q$ et $|E| \leq (m + n) \cdot q$
- Discrete-Time Algorithms
 - (Chabini, Transportation Research Record, 1998)
 - (S. Pallotino M. G. Scutella (1998))
 - Algorithme Chrono-SPT
 - Utilisation des buckets
 - Complexité :
 - $O(mq)$ dans le cas général
 - $O(m + \min(q, n \log n))$ O-D une date de départ

Exemple Graphe Espace-Temps



$$d_{12}(t) = [1, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]$$

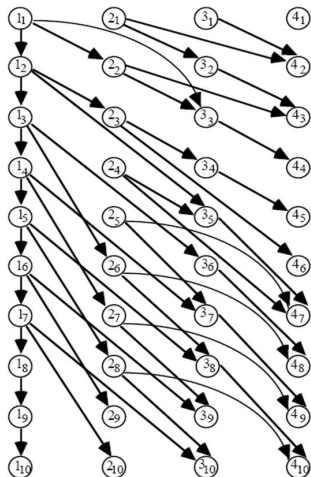
$$d_{13}(t) = [2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]$$

$$d_{23}(t) = [1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2]$$

$$d_{24}(t) = [1, 1, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2]$$

$$d_{34}(t) = [1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2]$$

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{10}\}$$



Plus courts chemin multimodal

""Shortest viable path algorithm in multimodal networks""

Angelica Lozano, Giovanni Storchi ; 2001

- MULTIMODAL SHORTEST VIABLE PROBLEM PATH (MSVPP)
 - Recherche O-D minimisant le temps de trajet
 - Contraintes :
 - Viabilité
 - Nombre de transferts
 - Algorithme : basé sur le Chrono SPT
 - Experimentations
 - Graphe : 21 noeuds et 51 arcs
 - Modes : Bus, métro, marche, voiture
 - Complexité : $O(MNKS)$

Problème Plus court Chemin Multimodal et Dépendant du Temps

""Object modeling and path computation for multimodal travel systems""

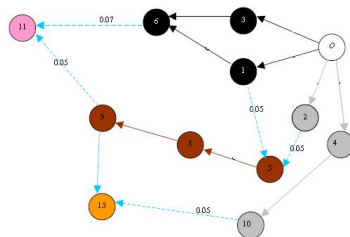
Bielli. al, 2006

- **K-MULTIMODAL SHORTEST PATH ALGORITHM**

- Recherche O-D minimisant le temps de trajet
- Contraintes :
 - Viabilité
 - Nombre de transferts
- Experimentations
 - Graphe : 1000 noeuds et 3000 arcs
 - Modes : Bus, métro, marche, voiture, autobus
- Complexité : $O(K^2 M^2 N \log r) - O(M^2 N)$.

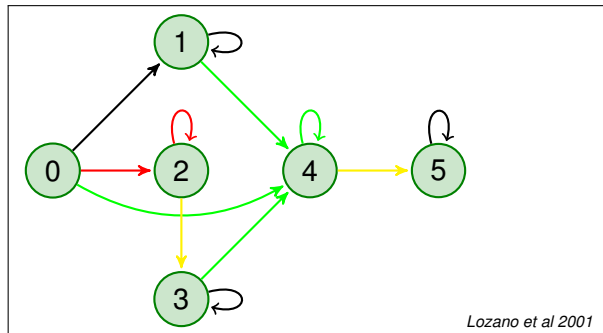
Le graphe

- Graphe orienté : $G_T(V, E)$:
 - V : ensemble des noeuds (arrêts de bus, stations métro)
 - E : ensemble des arcs
 - Arc (i, j)
 - origine i
 - destination j
 - mode m
 - fonction délai(i, j, t, m)



La viabilité

- Graphe de transition entre états



Transferts

Voiture

Metro; Parkings

Autres(Marche ,vélo,Transferts)

Deux types d'algorithmes

ALGORITHMES

- MMTD-SP1 : MultiModal Time Dependant Shortest Path 1
 - Dijkstra TD + **MM**
- MMTD-SP2 : Multimodal Time Dependant Shortest Path 2
 - Lozano MM + **TD**

CARACRÉTISTIQUES

- Algorithme d'extension d'étiquettes (type Dijkstra)
- Etiquette un couple [noeud,état] noté $[j, s]$
 - noeud j avec $j \in N$
 - état s avec $s \in S$ ensemble des états
 - Nombre de transferts effectués
 - coût du trajet en fonction du temps depuis l'origine
 - le noeud précédent

Principe de l'algorithme MMTD-SP1

- La méthode de résolution :
 - ε -contrainte avec $\varepsilon = 0 \dots K_{max}$
- Extension d'étiquette :
 - Vérification de la viabilité (Graphe d'états)
 - Dominance :
 - Vis-à-vis du temps de trajet
 - Vis-à-vis des états (Ordre partiel entre états)
 - Mise à jour de l'étiquette
- complexité : $K_{max} * o(M + (N * S) \log(N * S))$

Algorithme MMTD-SP1

Algorithm 1 Algorithme MMTD-SP1

Require: $K_{max} \in \mathbb{N}$, Q une file de priorité

```

1: for  $k = 0$  to  $K_{max}$  do
2:   Initialisation()
3:   Ajouter [Origine, 0] dans  $Q$ 
4:    $[x, s] \leftarrow Q.top()$ 
5:   while  $x \neq destination$  do
6:      $Q.pop()$ 
7:     for  $[y, s']$  successeur de  $[x, s]$  do
8:       Chercher l'ensemble des états préférés  $s''$  de  $s'$ 
9:       if  $[y, s']$  domine  $[y, s'']$  then
10:        Etendre  $[x, s]$  vers  $[y, s']$ 
11:        Ajouter  $[y, s']$  dans  $Q$ 
12:      end if
13:    end for
14:  end while
15: end for

```

Principe de l'algorithme MMTD-SP2

- Solutions Pareto
 - Détermination des solutions non-dominées inférieures à K_{max} transferts.
 - Utilisation de deux files de priorité Q_{now} et Q_{next} contenant respectivement les étiquettes non-dominées de k et $k + 1$ transferts.

- Extension d'étiquette :
 - Vérification de la viabilité (Graphe d'états)
 - Dominance :
 - Vis-à-vis du temps de trajet
 - Vis-à-vis des états
 - Mis à jour de l'étiquette

- complexité : $K_{max} * o(M + (N * S) \log(N * S))$

Algorithme MMTD-SP2

Algorithm 2 Algorithme MMTD-SP2

Require: $K_{max} \in \mathbb{N}$, Q_{now} , Q_{next} des files de priorité

```

1: Initialisation()
2: Ajouter [Origine, 0] dans  $Q_{now}; Q_{next} \leftarrow \emptyset$ 
3: while  $Q_{now} \neq \emptyset$  and  $k \leq K_{max}$  do
4:    $[x, s] \leftarrow Q_{now}.top()$ 
5:   if  $x \neq destination$  then
6:     for  $[y, s']$  successeur de  $[x, s]$  do
7:       Chercher l'ensemble des états préférés  $s''$  de  $s'$ 
8:       if  $[y, s']$  domine  $[y, s'']$  then
9:         Etendre  $[x, s]$  vers  $[y, s']$ 
10:        if  $((x, y)$  est un Transfert et  $k + 1 \leq K_{max})$  then
11:          Ajouter  $[y, s']$  dans  $Q_{next}$ 
12:        else
13:          Ajouter  $[y, s']$  dans  $Q_{now}$ 
14:        end if
15:      end if
16:    end for
17:  end if
18: end while

```

Le graphe

Les données : "Zone urbaine toulousaine"

VOLUME

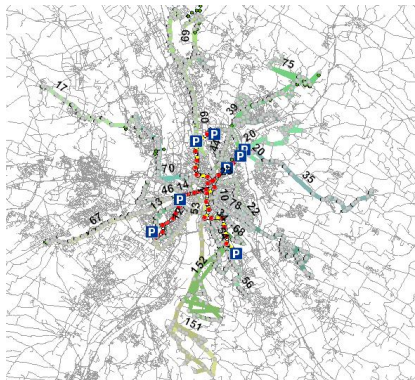
- Noeuds : 10507
- Arcs : 22788

TABLES HORAIRES

- Amplitude : 5h à 23h59
- Tableau de 739 horaires

MODES

- Bus, Métro, Piéton, Voiture



Résultats

LES TEMPS DE CALCULS

- 50 tests aléatoires pour chaque transfert.
- Temps de trajets(mn) minimum, moyen et maximum sont : 13,56 ; 30,65 et 189,03

Nombre de transferts	Temps CPU	MMTD-SP1	MMTD-SP2
0	Min	2,28	2,27
	Moy	4,82	4,78
	Max	6,69	6,72
1	Min	4,69	3,23
	Moy	9,46	7,13
	Max	13,53	9,66
2	Min	7,05	4,83
	Moy	14,20	9,91
	Max	20,23	17,86

(Laptop, CPU=50, RAM= 2Go)

Conclusions et perspectives

- Poursuivre les tests qualitatifs et quantitatifs et améliorer les temps de calculs;
- Etendre les algorithmes présentés ci-dessus vers un algorithme de type A^* ;
- Etudier le cas des réseaux non FIFO;
- Prendre en compte des critères supplémentaires comme le coût du trajet, l'écomobilité ou la sécurité;
- Adapter des méthodes bidirectionnelles ou de prétraitement au cas multimodal.

Bibliographie

- [1] Bielli, M., Boulmakoul, et A., Mouncif, H. Object modeling and path computation for multimodal travel systems. *European Journal of Operational Research* 175 p. 1705-1730.
- [2] Chabini, I. 1997. A new short path algorithm for discrete dynamic networks. *In the proceeding of the 8th IFAC symposium on transport system*, p. 551-556.
- [3] Lozano, A. et Storchi, G., 2001. Shortest viable path Algorithm in multimodal network. *Transportation Research Part A* 35, p. 225-241
- [4] Pallottino, S. et M. G. Scutellà, 1998. Shortest path algorithms in aransportation models: Classical and Innovative Aspects. *Equilibrium and Advanced Transportation Modelling*, Kluwer, p.245-281