

# PLANIFICATIONS D'ITINÉRAIRES EN TRANSPORT MULTIMODAL

Fallou Gueye<sup>1,2</sup> Christian Artigues<sup>2</sup>  
Marie-José Huguet<sup>2</sup> Frédéric Schettini<sup>1</sup> Laurent Dezou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MobiGIS, [www.mobigis.fr](http://www.mobigis.fr)

<sup>2</sup>LAAS-CNRS, 7 Av Colonel roche 31077 Toulouse  
[fgueye@mobigis.fr](mailto:fgueye@mobigis.fr)

ROADEF; Nancy 11 Février 2009



# Plan

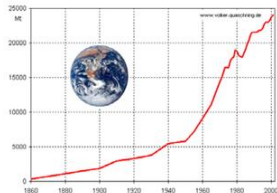
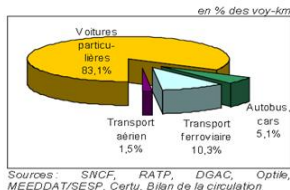
- 1 INTRODUCTION
- 2 PRÉSENTATION DU PROBLÈME
- 3 REVUE LITTÉRATURE
- 4 ALGORITHMES
- 5 COMPARAISON EXPÉRIMENTALE
- 6 CONCLUSIONS

# 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 le transport en commun)

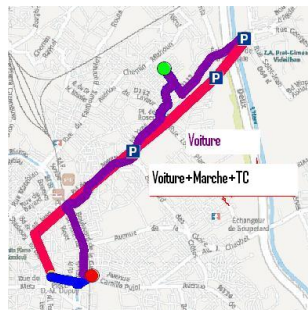
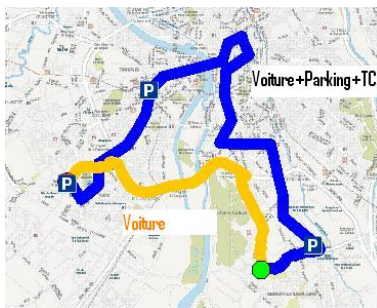
### PROBLEMES

- Organisation des déplacements de passagers
- Aide aux choix des modes de transport

# Problèmes étudiés

## RECHERCHE D'ITINÉRAIRE(S)

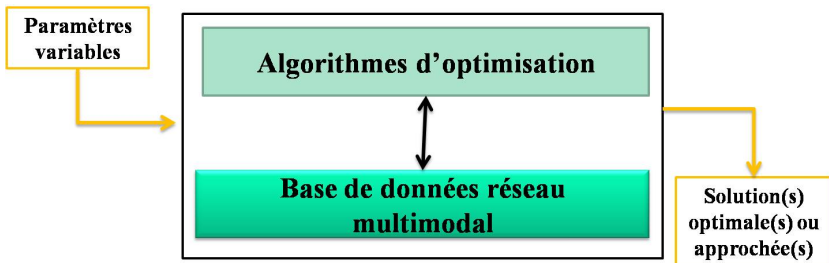
- Itinéraires les plus courts
- Itinéraires alternatifs



# Objectifs

## OBJECTIF DE LA THÈSE

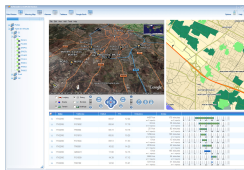
Développer un outil d'aide à la décision pour l'optimisation de la planification d'itinéraires multimodaux



# Objectifs

## DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS

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



## Plus courts chemins multimodaux

### DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORTS

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

### DÉPENDANT DU TEMPS

- Horaires et fréquence de passages des 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

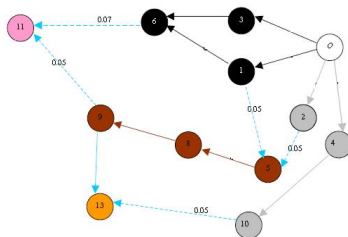
- Recherche de chemin(s) O-D à une date de départ donné avec minimisation
  - Temps de trajet
  - Nombre de changements de modes

### CONTRAINTES

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

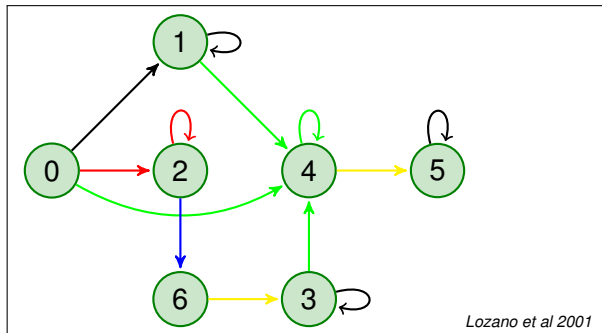
# Le graphe

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



# La viabilité

- Graphe des transitions entre états



Transferts

Voiture

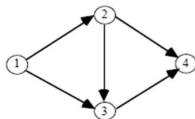
Metro; Parkings

Autres (Marche, vélo, Transferts)

## 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 :
  - $|V| = n.q$  et  $|E| \leq (m + n).q$
- Discrete-Time Algorithms
  - (Chabini, Transportation Research Record, 1998)
  - (S. Pallotino M. G. Scutella (1998))
    - Algorithme Chrono-SPT
    - Utilisation des buckets
    - Compléxité :
      - $O(mq)$  dans le cas général
      - $O(m + \min(q, n \log n))$  O-D une date de départ

## Exemple Graphe Espace-Temps



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

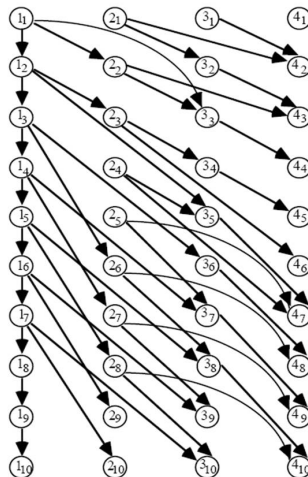
$$d_{13}(t) = [2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]$$

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

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

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

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



## 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 : 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 :  $O(K^2 M^2 N \log r) - O(M^2 N)$ .

## Deux types d'algorithmes

### ALGORITHMES

- Multimodal Time Dependant Path 1
- Multimodal Time Dependant Path 2

### CARACÉRISTIQUES

- Algorithme d'extension d'étiquettes (type Dijkstra)
- Etiquette
  - Sommet
  - état
  - Nombre de transferts
  - coût du trajet en fonction du temps



# Multimodal Time Dependant Path 1

---

## Algorithm 1 Multimodal Time Dependant 1

---

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

- 1: **for**  $k = 0$  to  $K_{max}$  **do**
  - 2:    $Q.add(\text{origine})$
  - 3:    $x_{min} \leftarrow Q.top()$
  - 4:   **while**  $x_{min} \neq \text{destination}$  **do**
  - 5:      $Q.pop()$
  - 6:     **Etendre** cette étiquette vers ses Succ
  - 7:     Ajouter les étiquettes **non dominées** tel que le  
 $nbTransferts \leq k$  dans  $Q$
  - 8:   **end while**
  - 9: **end for**
-

# Principe

- Extension :
  - Vérification de la viabilité (Graphe d'états)
  - Mis à jour de l'étiquette
- Dominance :
  - Vis-à-vis du temps de trajet
  - Vis-à-vis des états (Préférences des états)
- complexité :  $K * o(M + (N * S) \log(N * S))$

## Multimodal Time Dependant 2

---

### Algorithm 2 Multimodal Time Dependant 2

---

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

- 1: **while**  $Q_{now}.size() \neq \emptyset$  **do**
- 2:    $\mathbf{x}_{min} \leftarrow Q_{now}.top()$
- 3:   **Etendre** cette étiquette vers ses Succ
- 4:   **if** Transfert **then**  
     Ajouter les étiquettes **non dominées** tel que  
      $nbTransferts \leq K_{max}$  dans  $Q_{next}$
- 5:   **else**  
      $Q_{now}$
- 6:   **end if**
- 7:   **if**  $\mathbf{x}_{min} = destination$  ||  $Q_{now}.size() \neq \emptyset$  **then**  
      $Q_{now} = Q_{next}$
- 8:   **end if**

## Le graphe

## Les données : "Zone urbaine toulousaine"

## VOLUME

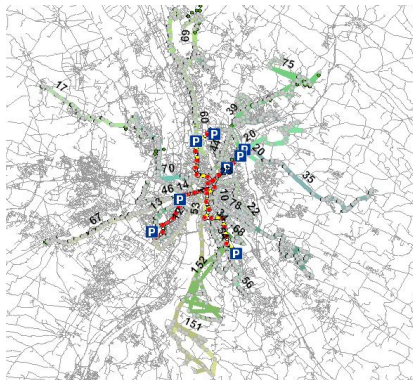
- Noeuds : 10507
- Arcs : 22788

## TABLES HORAIRES

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

## MODES

- Bus, Métro, Piéton, Voiture



# Résultats

## SCÉNARIOS DE TEST

- 50 tests aléatoires pour chaque transfert

## LES TEMPS DE CALCULS

temps de calcul	Algo MTDP 1			Algo MTDP 2		
	min	moy	max	min	moy	max
0	0,84	2,85	4,55	0,84	2,85	4,55
1	1,55	5,14	7,81	1,55	4,88	7,64
2	6,23	7,38	9,2	5,91	6,44	6,86

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

## Conclusions et perspectives

- Poursuivre les tests qualitatifs et quantitatifs
- Etude du cas non FIFO
- Évaluation des critères supplémentaires
- Etudes d'heuristiques ( $A^*$  par exemple)
- Etudes des tournées multimodales

## 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