

Calcul d'itinéraire multimodal et multiobjectif en  
milieu urbain  
Soutenance de thèse de doctorat

Tristram Gräbener  
Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)  
Université Toulouse 1 Capitole

15 novembre 2010

- 1 Problématique et contexte
  - Exemple d'introduction
  - État de l'art
- 2 Ma contribution
  - Modélisation du réseau
  - Algorithmes
  - Expérimentations et résultats
- 3 Conclusion et perspectives
  - Conclusion
  - Perspectives

- 1 Problématique et contexte
  - Exemple d'introduction
  - État de l'art
- 2 Ma contribution
  - Modélisation du réseau
  - Algorithmes
  - Expérimentations et résultats
- 3 Conclusion et perspectives
  - Conclusion
  - Perspectives

# Problématique

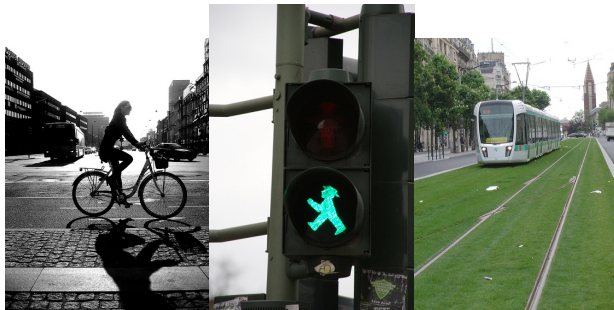
- Chemin de A à B avec tous les modes de transport.
- Quel est le *meilleur* chemin ?
- Comment prendre en compte les préférences utilisateur ?



flickr/skillicorn CC-BY-ND

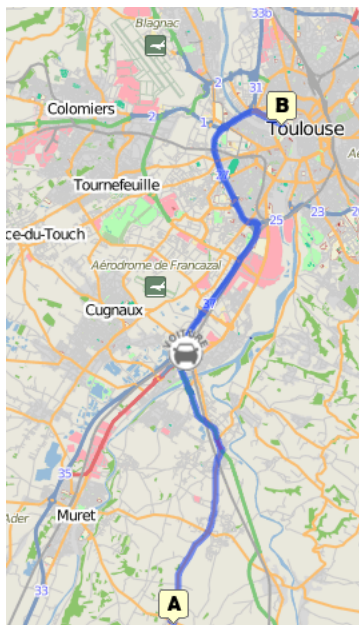
# Exemple : de Eaunes à la Manu

- Trajet : Eaunes vers la Manufacture des tabacs
- Modes : voiture, transports en commun, vélo, marche
- Critères : temps, coût, CO<sub>2</sub>



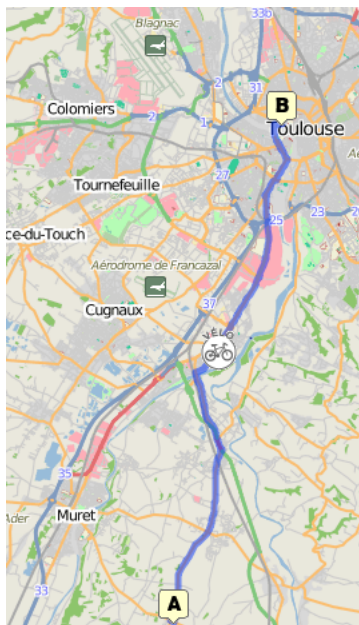
flickr/16nine CC-NC-ND, flickr/jazzlog CC-NC-ND, David Reverchon CC-NC-SA

# Exemple : de Eaunes à la Manu



- Mode : voiture
- Temps : 30 min
- CO<sub>2</sub> : 5 kg
- Coût : 5 €
- Autres : embouteillages, parking

# Exemple : de Eaunes à la Manu



- Modes : vélo
- Temps : 1h15
- CO<sub>2</sub> : 0
- Coût : 1 €
- Autres : effort physique, météo

# Exemple : de Eaunes à la Manu



- Modes : vélo, train, métro
- Temps : 1h10
- CO<sub>2</sub> : 0,1 kg
- Coût : 2,50 €
- Autres : correspondances, horaires



# Exemple : de Eaunes à la Manu



- Modes : bus, train, métro
- Temps : 1h25
- CO<sub>2</sub> : 0,2 kg
- Coût : 2 €
- Autres : correspondances, horaires


## Exemple : de Eaunes à la Manu


- Toutes ces solutions sont valables
- Importance de la **multimodalité**
- Importance de l'optimisation **multiobjectif**
- Nécessité d'un outil générique de calcul d'itinéraire


Modes	Temps	CO <sub>2</sub>	Coût
Voiture	0h30	5 kg	5 €
Vélo	1h15	0	1 €
Vélo + TC	1h10	0,1 kg	2€50
TC	1h25	0,2 kg	2€







# Besoin d'un nouvel outil



- Les outils existants sont limités
- Changer la perception des avantages et défauts des modes
- Présenter des interconnexions « originales »
- Réduire l'impact environnemental des transports

Eaunes, 31600, Midi-Pyrénées, France 

Allée de Brienne, 31000, Toulouse, Midi-Pyrénées, France 

+ Ajouter une étape 

 <b>Véhicule</b>	<b>Options de calcul</b> <input checked="" type="radio"/> Le plus rapide <input type="radio"/> Le plus court <input type="checkbox"/> Éviter les péages <input type="checkbox"/> Afficher en miles	Véhicule	Voiture de taille moyenne 
 Piéton		<input type="checkbox"/> Caravane	
 Vélo		Carburant	Sans plomb 98  1.412 € / litre
 Transports en commun		Indemnités kilométriques	0 €

Rechercher le long de l'itinéraire:  Ex. hôtels, parkings 

**Allez hop, c'est parti !**

# Historique des calculs d'itinéraires

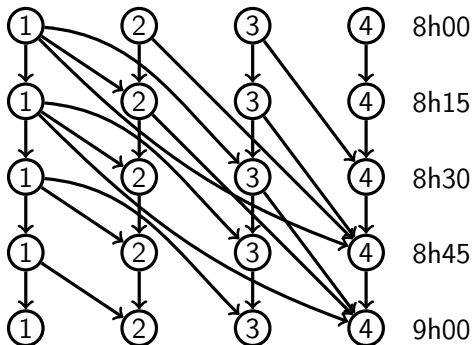
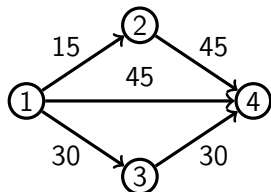
- 1959 : Algorithme de Dijkstra
  - Plus court chemin d'un nœud à tous
  - Variantes : A\*, bidirectionnel...
- 1984 : Algorithme de Martins
  - Plus court chemin multiobjectif
- 2006 : 9<sup>e</sup> challenge DIMACS
  - Explosion d'approches haute performance
  - Calcul du plus court chemin en 1 ms à travers le monde
  - Par exemple : Contraction Hierarchies [Geisberger 2008]

# Caractéristiques du problème

- Dépendant du temps : optimalité pas toujours garantie
- Multimodal : modes hétérogènes
- Multiobjectif : nombre exponentiel de solutions
- Taille : grandes instances (Île-de-France), nombreux objectifs
- Généricité : pas de cas particulier

# Difficultés : dépendance du temps

- Chemin le plus rapide : problème facile
- Chemin de moindre coût : problème difficile
- Deux approches :
  - *Time-dependent* : graphe inchangé, fonctions de coût
  - *Time-expanded* : modification du graphe, coûts constants (graphe espace-temps)



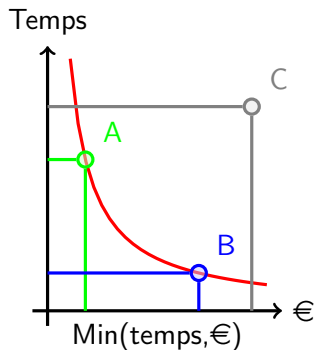
## Batz 2009

Approaches work well (...) for road networks, but none of them gave convincing results for public transportation networks so far

Deux familles de modes de transport :

- *Modes routiers* : voiture, marche, vélo...
- *Modes à grille horaire* : transports en commun
- *Time-dependent* : adapté pour transport routier
- *Time-expanded* : adapté pour les grilles horaires

# Difficultés : optimisation multiobjectif



- Solutions équivalentes : front de Pareto
- Nombre exponentiel de solutions avec coûts constants et 2 objectifs [Hansen 79]
- Cas dépendant du temps très peu traité
- Terminaison des algorithmes délicate



# Difficultés : taille du problème

## Tailles traitées

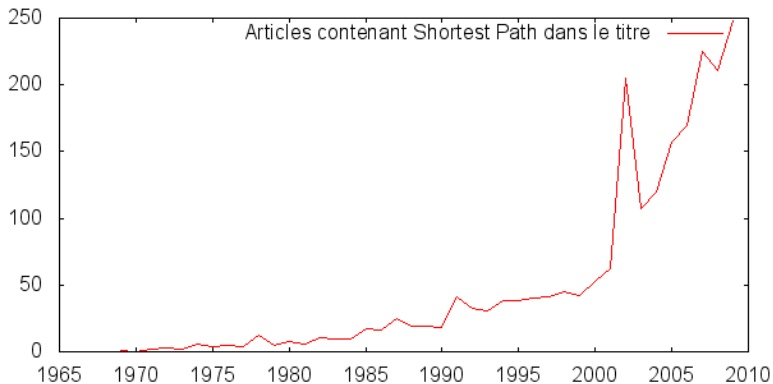
- Ziliaskopoulos 2000 : 1 000 nœuds, 100 intervalles de temps ( $\approx$  15 min)
- Delling 2009 : 10 000 000 nœuds, seulement 359 aéroports

## Exemples de tailles

- Rennes : 12 000 nœuds, 3 000 arrêts
- Île-de-France : 100 000 nœuds, 25 000 arrêts

# Synthèse de l'existant

- Recherche très active ces 5 dernières années
- Des algorithmes très performants. . .
- . . . appliqués à des cas très particuliers
- Multiobjectif souvent réduit au nombre de changements
- Multimodalité très marginale



- 1 Problématique et contexte
  - Exemple d'introduction
  - État de l'art
- 2 Ma contribution
  - Modélisation du réseau
  - Algorithmes
  - Expérimentations et résultats
- 3 Conclusion et perspectives
  - Conclusion
  - Perspectives

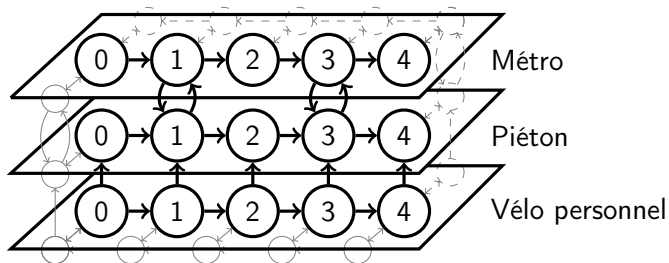
Approche générique :

- Réellement multimodal
- Objectifs arbitraires
- Simplicité de mise en œuvre
- Performances raisonnables ( $< 1$  s)

# Représentation des modes

## Représentation multicouche

- Un seul mode par couche
- Une seule ligne par couche (ramifications RER)
- Garantit la contrainte FIFO
- Modélise les transitions possibles



## Approche Time-dependent

- Meilleures performances [Müllerhannemann 2007]
- Plus adaptée aux réseaux routiers
- Modélisation plus naturelle

- Martins [1984] généralisé (prise en compte du temps)
  - Algorithme de référence, très simple
- Tsaggouris [2005] (prise en compte du temps)
  - Polynomial sur le papier (approximation bornée)
- Contraction hierarchies [2008] (extension multiobjectif)
  - Approche mono-objectif très performante

- Martins [1984] généralisé (prise en compte du temps)
  - Algorithme de référence, très simple
- Tsaggouris [2005] (prise en compte du temps)
  - Polynomial sur le papier (approximation bornée)
- Contraction hierarchies [2008] (extension multiobjectif)
  - Approche mono-objectif très performante



# Algorithme de Martins dynamique

- Martins 1984 : extension de l'algorithme de Dijkstra en multiobjectif
- Nos travaux : extension triviale pour prendre en compte le temps
- Label : triplet (nœud, vecteur coût, prédécesseur)
- Initialisation :  $l_0 := (s, [t_0, 0, 0], \_)$
- À chaque itération :
  - Prendre le label  $l$  de plus petit coût lexical  $\mathbf{c}(l)$
  - Pour chaque successeur, créer un nouveau label  $l'$  :  
 $c_i(l') := c_i(l) + f_i(c_t(l))$  ( $c_t$  étant le temps)
  - Éliminer les labels dominés

- Améliorer les performances
  - Supprimer les labels dominés par une solution
- Réduire les solutions trop similaires
  - Dominance relâchée : un changement de plus pour gagner 2 minutes, n'est pas intéressant

## Taille des instances

Ville	Surface	Population	Arcs	Arrêts
San Francisco	100 km <sup>2</sup>	744 000	43 788	3 659
Los Angeles	3000 km <sup>2</sup>	5 000 000	377 382	15 565

## Modes considérés

- Vélo (au départ uniquement)
- Transports en commun
- Marche

# Résultats : San Francisco

## Nombre de solutions et temps de calcul

Objectifs	Solutions		Temps (ms)	
	Avec heur	Sans heur	Avec heur	Sans heur
Tps, mode	1	1.1	74	92
Tps, mode, d+	13	60	949	7 616

- Tps : durée du trajet
- mode : nombre de changements de modes
- d+ : dénivelé positif des trajets à vélo



Thomas Bachmann CC-BY-SA

# Résultats : Los Angeles

## Nombre de solutions et temps de calcul

Objectifs	Solutions		Temps (ms)	
	Avec heur	Sans heur	Avec heur	Sans heur
Tps, mode	1.1	1.2	642	1 028
Tps, mode, d+	5.5	16.9	4 613	220 940

- Tps : durée du trajet
- mode : nombre de changements de modes
- d+ : dénivelé positif des trajets à vélo



Myriam Thyès CC-BY-SA

# Bilan des expérimentations

- Approche applicable à la réalité
- Temps de calcul acceptable
- Les heuristiques sont indispensables
- La nature des objectifs influence fortement le temps de calcul

- Tsaggouris
  - Trop d'opérations lourdes à chaque itération
  - Performances très mauvaises en pratique
- Contraction Hierarchies
  - Réduction significative des étiquettes générées
  - Performances en temps comparable à Martins
  - Voie à explorer

# D'un modèle générique vers un outil générique

- Réflexion sur le nombre de solutions présentées à l'utilisateur
- Code source mis en ligne  
<http://github.com/Tristramg/mumoro/>
- Utilisation des données :
  - Openstreetmap (routes)
  - GTFS (transport en communs)
  - API (vélo libre service)



# Démonstrateur Mumoro

Démonstrateur sur Rennes : <http://mumoro.openstreetmap.fr/>

## Mumoro demonstration on the city of Rennes

Multimodal and multiobjective routing [Read more here](#)

Start location:

Rue du Léon, Saint-Hélier, Rennes, Ille-et-Vilaine, Bretagne, France

Destination:

9, Rue des Portes Mordelaises, Colombier, Rennes, Ille-et-Vilaine, France

Example: 23 rue de la Chalotais 35000 Rennes France

Reverse

Calculate route

Costs:

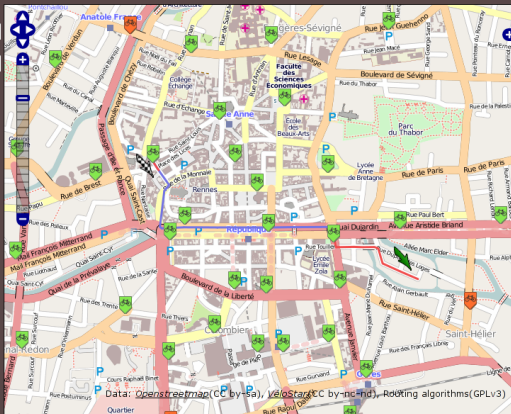
+	Duration	+	Mode changes	+	Time changes
13m		1		None	
18m		None		None	
4m		None		None	

Routing description:

Transport mean	Color
Foot	Red
Public bike	Blue
Car	Yellow
Municipal transports	Green
Connection	Orange

Send this url to a friend :

<http://mumoro.openstreetmap.fr/?id=32cf3ad151be4526>



- 1 Problématique et contexte
  - Exemple d'introduction
  - État de l'art
- 2 Ma contribution
  - Modélisation du réseau
  - Algorithmes
  - Expérimentations et résultats
- 3 Conclusion et perspectives
  - Conclusion
  - Perspectives

# Conclusion : ma contribution

- Proposition d'un modèle simple aux propriétés intéressantes
- Extension de plusieurs algorithmes
- Application réelle
- Le tout avec une approche très simple
- Performance satisfaisante pour une grande agglomération

- Amélioration des performances
- Meilleure gestion de la mémoire
- Utilisation réelle pour avoir le point de vue de l'utilisateur
- Prise en compte de l'auto-partage, transport à la demande
- Aspect temps-réel (embouteillages, perturbation du réseau)
- Nouvelles métriques (robustesse, distance entre solutions)

Merci de votre attention

Questions !



flickr/fortdrastic CC-ND

# Merci de votre patience !

- Pot de thèse
- 17h00
- ME-001
- Manufacture des Tabacs
- Allée de Brienne

