

Algorithmes de recherche d'itinéraires en transport multimodal

Fallou GUEYE

14 Décembre 2010

Direction : Christian Artigues LAAS-CNRS

Co-direction : Marie José Huguet LAAS-CNRS

Encadrant industriel : Frédéric Schettini MobiGIS



Plan

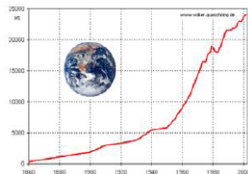
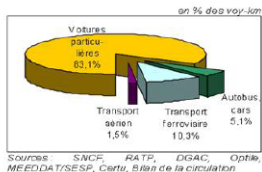
- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation
- 6 Conclusion et Perspectives

Plan

- 1 Contexte
 - La mobilité
 - Positionnement du problème
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation
- 6 Conclusion et Perspectives

Enjeux sociétaux

- Fort accroissement du trafic de voyageurs et de marchandises



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

Positionnement du problème

Développement des modes de transport alternatifs

- Favoriser les modes de transports moins polluants (vélo, marche ou transport en commun,...)
- Développer le transport multimodal : combinaison des modes de transport

Problèmes d'organisation et choix des modes

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

Contexte de l'étude

Recherche d'itinéraire(s) multimodaux

- Itinéraires les plus courts
- Itinéraires alternatifs

Véhicule Voiture de taille moyenne
Distance 2,1 km
Durée 00:03
Carburant 0,22 €

1 Départ: Allée Paul Sabatier, 31000, 31400, Toulouse, Midi-Pyrénées, France

1 95 m 00:00

Prendre à gauche Port Saint-Sauveur et continuer sur 1,5 km

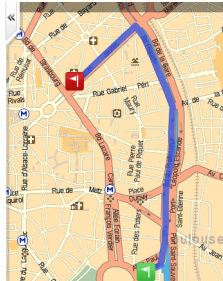
2 1,0 km 00:02

Prendre à gauche Allée Jean Jaurès et continuer sur 11 m

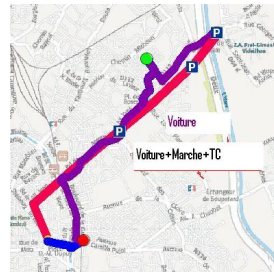
3 1,0 km 00:03

Prendre à gauche Allée Jean

Afficher la feuille de route



Actuel

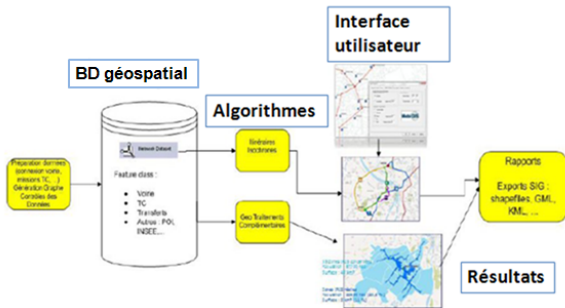


Futur

Thèse CIFRE

Objectifs de la thèse

- Concevoir, développer et valider des algorithmes de recherche d'itinéraires multimodaux
- Intégration des algorithmes dans un logiciel industriel



Utilisateurs

- Bureaux d'études
- Gestionnaires et exploitants de réseaux de transport
- Passagers
- Collectivités territoriales

Applications industrielles

- Bureautique
- Internet



Plan

- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
 - Problématique
 - Etat de l'art
 - Problème étudié et modélisation
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation

Problème général

Différents modes de transport

- Marche, Voiture, Vélo, Métro, Bus, Train, Tramway, ...
- Contraintes sur les modes (viabilité)

Dépendant du temps

- Horaires et fréquences de passage des modes

Critères

- Itinéraires : temps de trajet, distance, sécurité, ...
- Modes : prix du billet, confort, écomobilité, nombre de changements de modes, temps de marche maximal, ...

Plus courts chemins statique : SPP

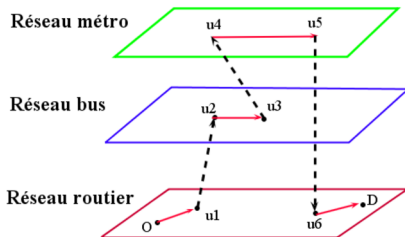
- Graphe statique
- Principaux algorithmes :
 - Algorithme de Dijkstra [1959]
 - Algorithme de Bellman-Ford [1960]
- Plus court chemin point à point
 - Algorithmes bidirectionnels, algorithme A^*
- Autres approches (pour des graphes de très grandes tailles) :
 - Approches de prétraitement (Landmarks,...)
 - Approches hiérarchiques

Plus court chemin dépendant du temps : TD-SPP

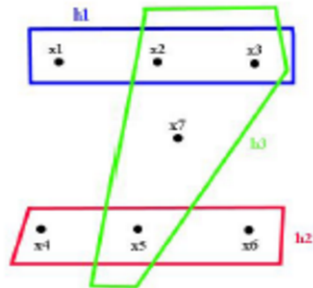
- Graphe dépendant du temps
- Modélisation : Graphe espace-temps
- Algorithmes :
 - Chrono SPT [PAL 98]
 - Algorithmes bidirectionnels [NAN 08]
- Complexité :
 - FIFO : polynomial
 - non FIFO : NP-difficile [ORDA 90]

Modélisation du réseau de transport multimodal

Graphe : Modélisation par niveaux



Graphe : Modélisation par hypergraphe



Plus courts chemins multimodaux viables bi-objectifs : BI-MM-V-SPP

- Recherche O-D minimisant le temps de trajet et le nombre de transferts
- Contraintes :
 - Viabilité
 - Nombre de transferts maximal
- Algorithme : inspiré de Chrono SPT [LOZ 2001]
- Expérimentations
 - Réseau : 21 nœuds et 51 arcs
 - Modes : Bus, Métro, Marche, Voiture
- Complexité : polynomial

Plus courts chemins viables bi-objectifs dépendant du temps :BI-MM-TD-V-SPP

- Recherche O-D minimisant le temps de trajet et le nombre de transferts
- Contraintes :
 - Viabilité
 - Nombre de transferts maximal
- Algorithme de K-Plus courts chemins [BIELLI2006]
- Experimentations
 - Réseau : 1000 nœuds et 3000 arcs
 - Modes : Bus, Métro, Marche, Voiture, Autobus
- Complexité : polynomial

Problème étudié

Réseau de transport multimodal

- Marche, Voiture, Métro, Bus,...

Plus court chemin(s) multimodaux

- Origine → Destination

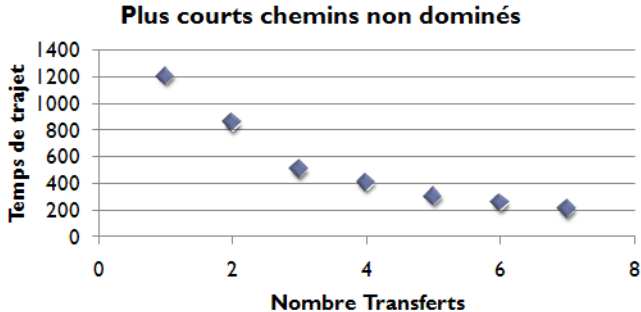
Contraintes des modes

- Viabilité des chemins

Problème étudié

2 fonctions objectifs

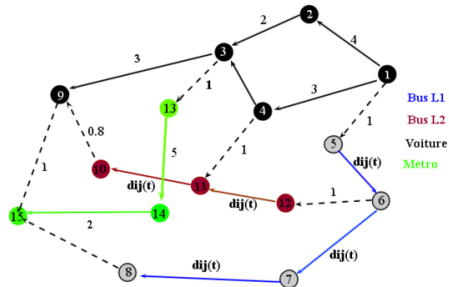
- Minimiser le temps de trajet
- Minimiser le nombre de transferts (changements de modes)



Modélisation du problème

Graphe : $G_T(V, E)$

- Mode m_i
 - Ensemble de nœuds $V_{m_i} \subset V$
 - Ensemble d'arcs $E_{m_i} \subset E$
 - temps de trajet $d_{ij}(t)$
- Arcs de Transfert
 - connecte 2 modes
- Toute ligne l (bus ou métro) est modélisée comme un mode à part
- Graphe FIFO



Modélisation du problème

La viabilité

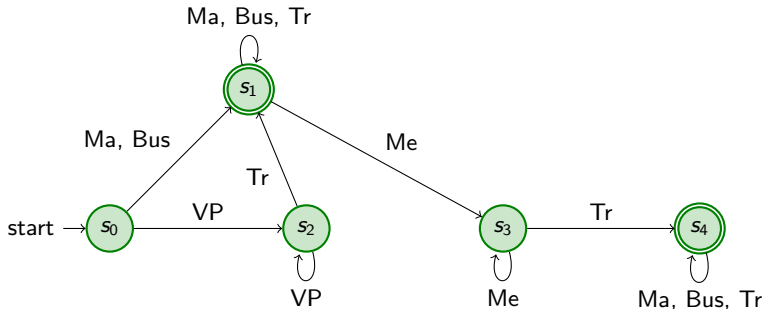
- Automate : $A = \{S, M, \delta, F, s_0\}$
- S : ensemble des états
- s_0 : l'état initial
- M : ensemble des modes de transport
- $\delta : M \times M \times S \rightarrow S$ la fonction de transition
- $\delta(m_i, m_j, s) = -1$ (chemin non viable ou non réalisable)
- F : ensemble des états finaux

Modélisation du problème

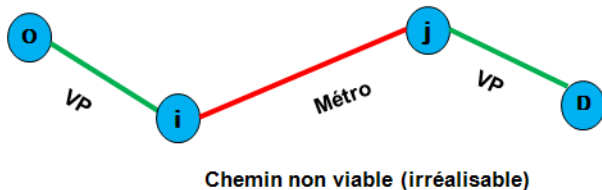
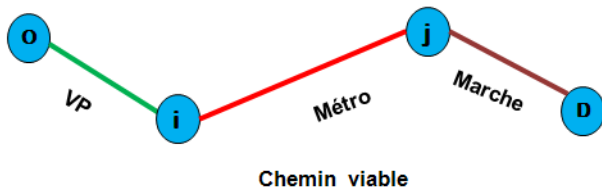
Contraintes de viabilité

- **Voiture** : ne peut être utilisée qu'en début de trajet et une fois quittée elle ne peut être de nouveau utilisée
- **Métro** : ne peut être utilisé qu'une seule fois durant un trajet

$M = \{ Marche(Ma), Bus, Metro(Me), Voiture(VP) \}$



Exemple de chemin viable



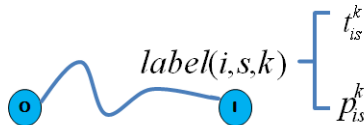
Plan

- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 **Algorithmes**
 - Caractéristiques des algorithmes
 - Algorithme TLS
 - Algorithme (MLMH)
 - Algorithme bidirectionnel MLMH (FB-MLMH)
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation

Labels et Extension

Label (i, s, k) = un chemin partiel viable $O - i$ de k dans l'état s

- t_{is}^k : temps d'arrivée au nœud i dans l'état s avec k transferts
- p_{is}^k : prédécesseur de (i, s, k)



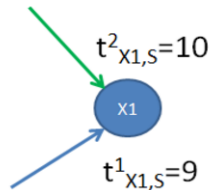
Un seul couple de valeurs pour (i, s, k) donné

- Problème polynomial

Règles de dominance

Dominance de base

- 2 labels : (i, s, k) et (i, s, k')
 - Si $k \leq k'$ et $t_{is}^k \leq t_{is}^{k'} \Rightarrow$ supprimer le label (i, s, k')



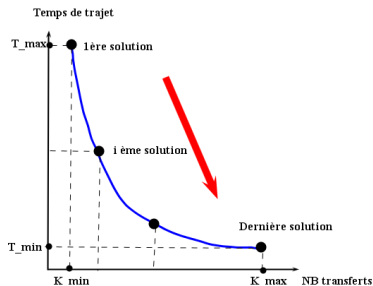
Dominance états

- Relation binaire entre états : $s \preceq s'$
 - Plus de possibilités d'extension avec s qu'avec s'
- 2 labels : (i, s, k) et (i, s', k')
 - Si $k \leq k'$ et $t_{is}^k \leq t_{is'}^{k'}$ et $s \preceq s' \Rightarrow$ supprimer le label (i, s', k')

Topological Label-Setting (TLS)

Principe de TLS

- $k \rightarrow 0$ et $k \leq K_{max}$
- (1) Calcule le PCC O à D avec k transferts
- (2) $k \rightarrow k + 1$
- (3) Retour à l'étape (1)



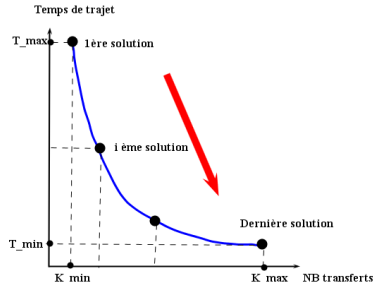
2 files de priorité

- Q_{now} : labels de k transferts
- Q_{next} : labels de $k + 1$ transferts
- $LastLabel(i, s)$: meilleur temps de trajet au nœud i dans l'état s
- complexité : $O(K_{max} \cdot m \cdot |S| \cdot (|S| + \log(n \cdot |S|)))$

Topological Label-Setting (TLS)

Principe de TLS

- $k \rightarrow 0$ et $k \leq K_{max}$
- (1) Calcule le PCC O à D avec k transferts
- (2) $k \rightarrow k + 1$
- (3) Retour à l'étape (1)



2 files de priorité

- Q_{now} : labels de k transferts
- Q_{next} : labels de $k + 1$ transferts
- $LastLabel(i, s)$: meilleur temps de trajet au nœud i dans l'état s
- complexité : $O(K_{max} \cdot m \cdot |S| \cdot (|S| + \log(n \cdot |S|)))$

Topological Label-Setting (TLS)

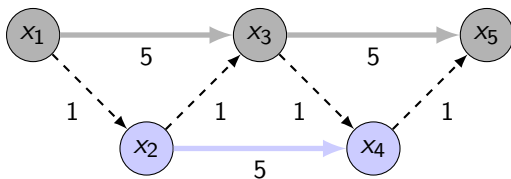
Algorithm 1 TLS

```
1: for  $k = 0$  to  $K_{max}$  do
2:   while  $Q_{now} \neq \emptyset$  do
3:      $(i, s, k) = Q_{now}.top()$ 
4:     Extension des labels  $(j, s', k')/k' \leq K_{max}$ 
5:     if  $m_i = m_j$  then
6:        $Q_{now} = Q_{now} \cup \{(j, s, k)\}$ 
7:     else
8:        $Q_{next} = Q_{next} \cup \{(j, s', k')\}$ 
9:     end if
10:  end while
11:   $Q_{now} = Q_{next}$ 
12: end for
```

TLS : Exemple

Plus court chemin de x_1 à x_5 ; $K_{max} = 4$ transferts

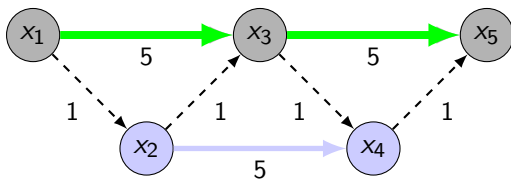
- 2 modes de transports
- Abstraction des états \Leftrightarrow (pas de viabilité)
- label $(i, s, k) \Leftrightarrow (i, k : t_{is}^k) \Rightarrow (X_1, 0 : 3)$
- 3 itinéraires : $PCC(0) = 10$; $PCC(2) = 7$; $PCC(4) = 4$



TLS : Exemple

Plus court chemin de x_1 à x_5 ; $K_{max} = 4$ transferts

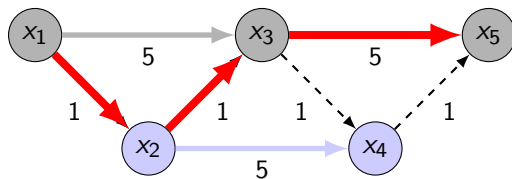
- 2 modes de transports
- Abstraction des états \Leftrightarrow (pas de viabilité)
- label $(i, s, k) \Leftrightarrow (i, k : t_{is}^k) \Rightarrow (X_1, 0 : 3)$
- 3 itinéraires : $PCC(0) = 10$; $PCC(2) = 7$; $PCC(4) = 4$



TLS : Exemple

Plus court chemin de x_1 à x_5 ; $K_{max} = 4$ transferts

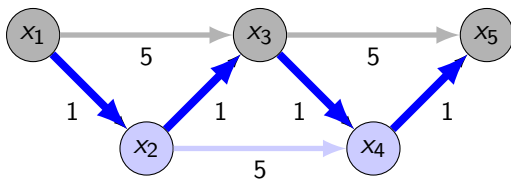
- 2 modes de transports
- Abstraction des états \Leftrightarrow (pas de viabilité)
- label $(i, s, k) \Leftrightarrow (i, k : t_{is}^k) \Rightarrow (X_1, 0 : 3)$
- 3 itinéraires : $PCC(0) = 10$; $PCC(2) = 7$; $PCC(4) = 4$



TLS : Exemple

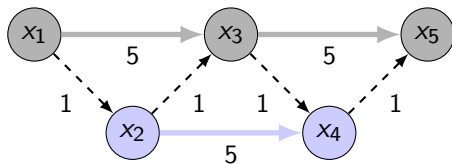
Plus court chemin de x_1 à x_5 ; $K_{max} = 4$ transferts

- 2 modes de transports
- Abstraction des états \Leftrightarrow (pas de viabilité)
- label $(i, s, k) \Leftrightarrow (i, k : t_{is}^k) \Rightarrow (X_1, 0 : 3)$
- 3 itinéraires : $PCC(0) = 10$; $PCC(2) = 7$; $PCC(4) = 4$



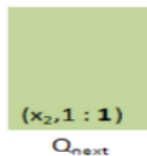
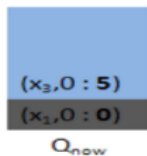
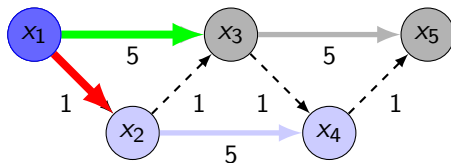
TLS : Exemple de fonctionnement

- Recherche à $k = 0$ transfert



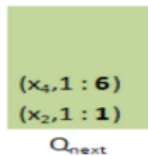
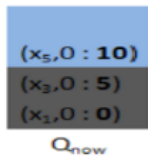
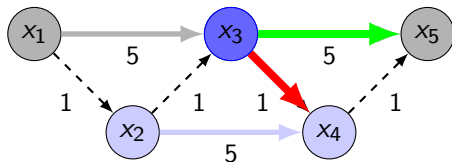
TLS : Exemple de fonctionnement

- Recherche à $k = 0$ transfert



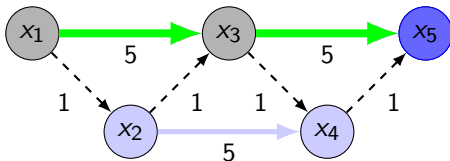
TLS : Exemple de fonctionnement

- Recherche à $k = 0$ transfert



TLS : Exemple de fonctionnement

- Recherche à $k = 0$ transfert



$(x_5, 0 : 10)$
$(x_3, 0 : 5)$
$(x_2, 0 : 0)$

Q_{now}

$(x_4, 1 : 6)$
$(x_2, 1 : 1)$

Q_{next}

- PCC à 0 transfert = 10
- $Q_{now} = Q_{next}$ pour la recherche du PCC à 1 transfert

TLS : Exemple de fonctionnement

Calcul du PCC avec $k=1$ transfert

- Pas de solution à 1 transfert

Calcul du PCC avec $k=2$ transferts

Calcul du PCC avec $k=3$ transferts

- Pas de solution à transferts

Calcul du PCC avec $k=4$ transferts

TLS : Exemple de fonctionnement

Calcul du PCC avec $k=1$ transfert

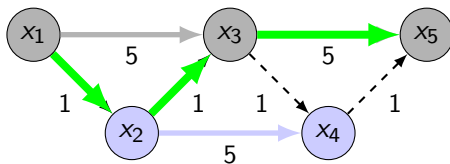
- Pas de solution à 1 transfert

Calcul du PCC avec $k=2$ transferts

Calcul du PCC avec $k=3$ transferts

- Pas de solution à transferts

Calcul du PCC avec $k=4$ transferts



TLS : Exemple de fonctionnement

Calcul du PCC avec $k=1$ transfert

- Pas de solution à 1 transfert

Calcul du PCC avec $k=2$ transferts

Calcul du PCC avec $k=3$ transferts

- Pas de solution à transferts

Calcul du PCC avec $k=4$ transferts

TLS : Exemple de fonctionnement

Calcul du PCC avec $k=1$ transfert

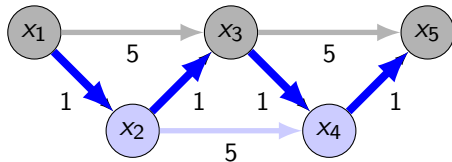
- Pas de solution à 1 transfert

Calcul du PCC avec $k=2$ transferts

Calcul du PCC avec $k=3$ transferts

- Pas de solution à transferts

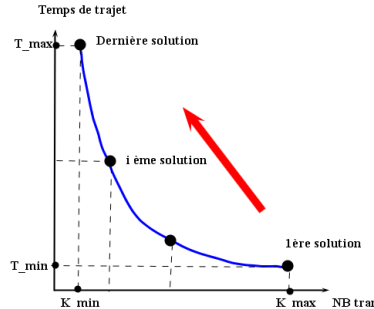
Calcul du PCC avec $k=4$ transferts



Multi-Labels-Multi-Heaps (MLMH)

Principe du MLMH

- Une liste $\mathcal{Q} = \{Q_0, Q_1, \dots\} / Q_k = \text{les labels de } k \text{ transferts.}$
- Partir du label (i, s, k) de plus petit coût
- Extension et mémorisation des labels (j, s', k') dans $Q_{k'}$



- Après obtention d'une solution à k transferts, supprimer les labels dominés de $Q_h, h \geq k$
- Complexité : $O(K_{\max}|S|m(K_{\max}|S| + \log n|S|))$

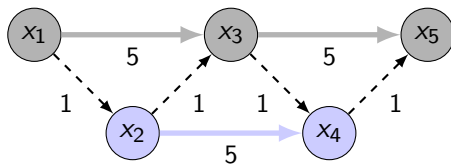
MLMH : Principe du MLMH

Algorithm 2 MLMH

- 1: $Q_0 \leftarrow \{(O, s_0, 0)\}$, $Q_{k(k \neq 0)} \leftarrow \emptyset$, $k_{max} \leftarrow \infty$
 - 2: **repeat**
 - 3: $k_{max} = ShortestPath(O, D, \{Q_k\}, k \leq k_{max})$
 - 4: $Delete(\{Q_k\}, k \geq k_{max})$
 - 5: **until** $k_{max} = 0$ or $Q_{k(k > k_{max})} = \emptyset$
-

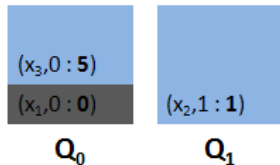
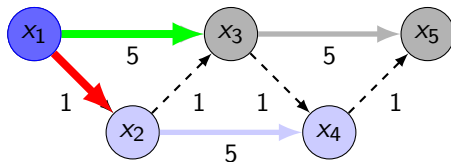
MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



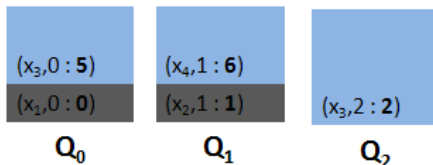
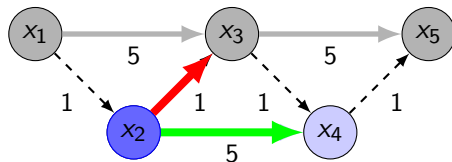
MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



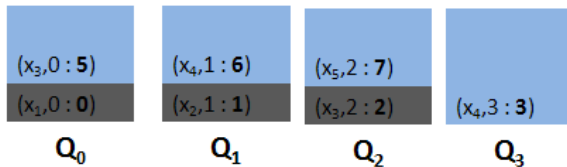
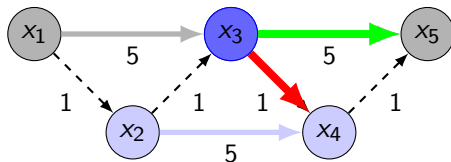
MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



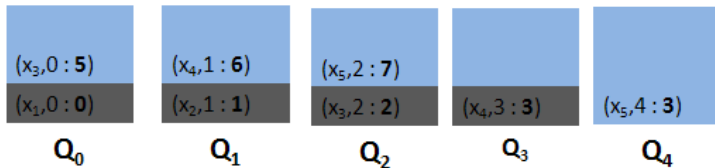
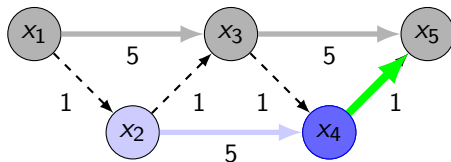
MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



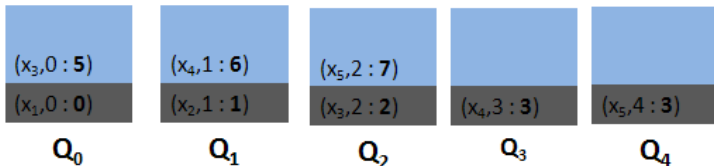
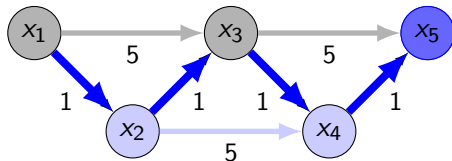
MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



MLMH : Exemple de fonctionnement

Calcul des PCC non dominés



Forward-Backward Multi-Labels-Multi-Heaps (FB-MLMH)

Recherche en avant

- Forward Search = MLMH basé sur :
 - Graphe G
 - Une liste $\mathcal{FQ} = \{FQ_0, FQ_1, \dots, FQ_p\}$
 - $ft_{i,s}^k, pf_{i,s}^k$
 - Automate fini

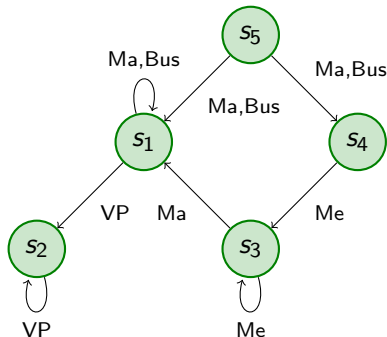
Recherche en arrière

- Backward Search = MLMH basé sur :
 - Graphe G^{-1}
 - Une liste $\mathcal{BQ} = \{BQ_0, BQ_1, \dots, BQ_h\}$
 - $bt_{i,s}^k, pb_{i,s}^k$
 - Automate fini

Viabilité dans le Backward Search

Automate non déterministe

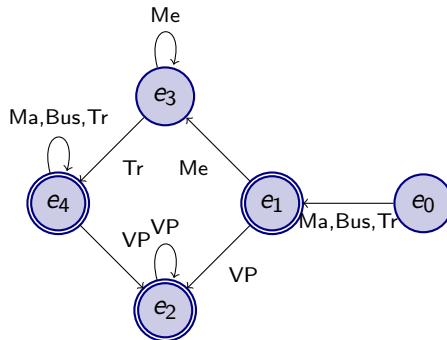
- Inversion des arcs de transition
- $\delta^{-1}(m_i, m_j, s) \subset S$



Viabilité dans le Backward Search

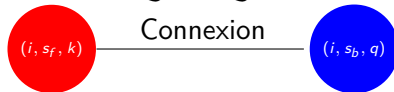
Automate déterministe

- viabilité d'un chemin pris à l'envers
- $F_b = \{e_1, e_2, e_4\}$ états finaux à l'origine



Forward-Backward Multi-Labels-Multi-Heaps (FB-MLMH)

- Connexion des chemins \mathcal{FQ} et \mathcal{BQ}



- Compatibilité des états s_f et s_b
 - Automate non déterministe
 - Automate déterministe
- Condition d'Optimalité (**CO**) :

$$\min (ft_{i,s_f}^k + bt_{i,s_b}^q) \leq \min_{(i',s'_f,k') \in \mathcal{FQ}} ft_{i',s'_f}^{k'} + \min_{(i',s'_b,q') \in \mathcal{BQ}} bt_{i',s'_b}^{q'}$$

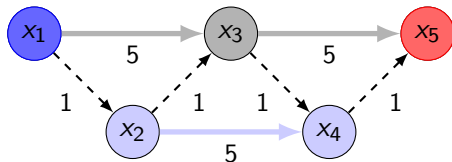
- Suppression des solutions dominées $FQ_{k'}$ et $BQ_{k'}$ tq $k' \geq k + q$

Forward-Backward Multi-Labels-Multi-Heaps (FB-MLMH)

Algorithm 3 Algorithme FB-MLMH

```
1:  $FQ_0 \leftarrow \{(O, s_O, 0)\}$ ,  $BQ_0 \leftarrow \{(D, s_D, 0)\}$ ,  $L[k] \leftarrow \infty$ 
2: repeat
3:   if  $\min(\{FQ_h\}) \leq \min(\{BQ_l\})$  then
4:      $(i, s_f, k_1) \leftarrow \arg \min (\{FQ_h\})$ 
5:      $ForwardSearch((i, s_f, k_1), D, \{FQ_h\})$ 
6:   else
7:      $(i, s_b, k_2) \leftarrow \arg \min (\{BQ_l\})$ 
8:      $BackwardSearch((i, s_b, k_2), O, \{BQ_l\})$ 
9:   end if
10:   $L[k] \leftarrow MinConnexionLabels(\{FQ_h\}, \{BQ_l\})$ 
11:  if  $L[k] \leq (\min(\{FQ_h\}) + \min(\{BQ_l\}))$ , then
12:     $Delete(FQ_h, h \geq k)$ ,  $Delete(BQ_l, l \geq k)$ 
13:  end if
14: until  $k = 0$  or  $(FQ_{h(h < k)} = \emptyset$  and  $BQ_{l(l < k)} = \emptyset)$ 
```

FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



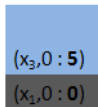
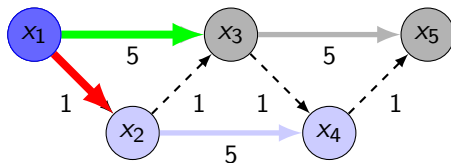
$(x_1, 0 : 0)$

FQ_0

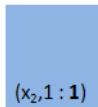
$(x_5, 0 : 0)$

BQ_0

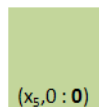
FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



FQ₀

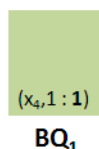
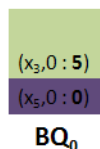
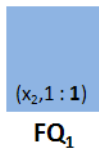
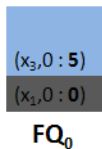
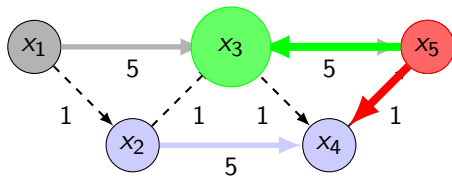


FQ₁



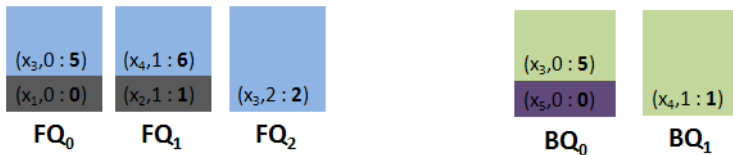
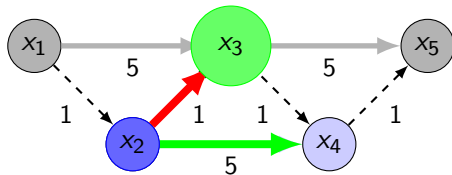
BQ₀

FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



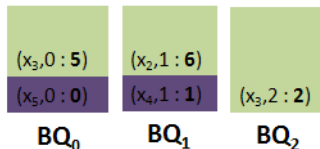
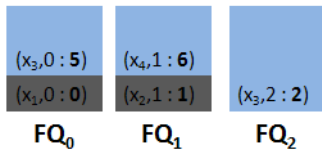
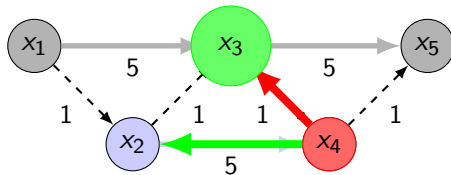
- Min. Connexion $L_0 = 10 \Leftrightarrow \text{(CO)} = \text{FAUX}$

FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



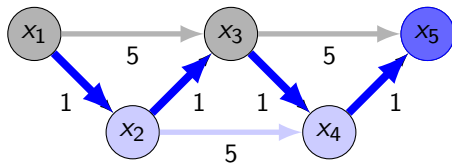
- Min. Connexion $L_2 = 7 \Leftrightarrow$ (CO) = FAUX

FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



- Min. Connexion $L_4 = 4 \Leftrightarrow$ **(CO) = VRAI**

FB-MLMH : Exemple de fonctionnement



Extension A*

- Estimation d'un label $\tilde{t}_{i,s}^k = t_{i,s}^k + \text{dist}(i, D)/V_{max}$
- $\text{dist}(i, D)/V_{max}$ est une borne inférieure \Rightarrow solutions exactes
- Pour l'algorithme FB-MLMH-A* :

$$\tilde{ft}_{i,s}^k = ft_{i,s}^k + \text{dist}(i, D)/V_{max} \text{ pour le forward}$$

$$\tilde{bt}_{i,s}^k = bt_{i,s}^k + \text{dist}(i, O)/V_{max} \text{ pour le backward}$$

- Condition optimale :

$$\min(ft_{i,s_f}^k + bt_{i,s_b}^q) \leq \max\left\{ \min_{(i',s'_f,k') \in \mathcal{FQ}} \tilde{ft}_{i',s'_f}^{k'}; \min_{(i',s'_b,k') \in \mathcal{BQ}} \tilde{bt}_{i',s'_b}^{k'} \right\} \quad (1)$$

- Condition approchée :

$$\min(ft_{i,s_f}^k + \tilde{bt}_{i,s_b}^q) \leq \min_{(i',s'_f,k') \in \mathcal{FQ}} \tilde{ft}_{i',s'_f}^{k'} + \min_{(i',s'_b,k') \in \mathcal{BQ}} \tilde{bt}_{i',s'_b}^{k'} \quad (2)$$

Extension des algorithmes au cas dépendant du temps

- Modification simple des algorithmes TLS et MLMH
- Pour l'algorithme FB-MLMH-A*
 - Date t_D d'arrivée à la destination D est inconnue
 - Recherche arrière dans $G(N, E^{-1}, \lambda)$ où λ est une fonction d'évaluation des arcs (j, i) [NAN 08]
- $\forall (j, i)$ de G^{-1}
 - Si $m_i = m_j \in M_{TD}$ $\lambda = \text{dist}(i, D)/V_{max}$
- Reconstruction des chemins à partir du nœud de connexion

Plan

- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
 - Réseaux de transport multimodal
 - Résultats des tests
- 5 Industrialisation
- 6 Conclusion et Perspectives

Réseau de transport multimodal statique

Réseau

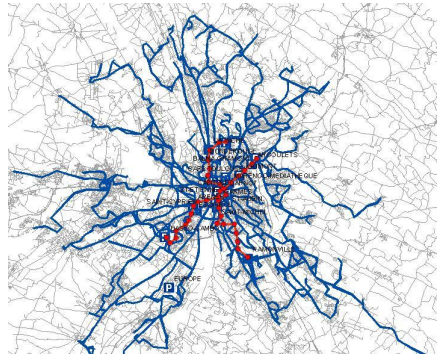
- Noeuds : **63 048**
- Arcs : **159 368**

Modes

- Bus, Métro, Piéton, Voiture
- Viabilité

- 100 instances O-D (banlieue-banlieue)
- $K_{max} = 5$

- Machine 2, 47 Intel Xeon W3520 GHz avec 4Go de RAM sous Linux Fedora 11



- 5 itinéraires non dominés

Réseau de transport multimodal TD

Réseau

- Noeuds : **65 262**
- Arcs : **183 416**

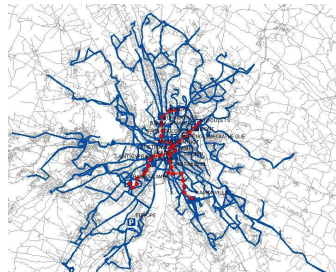
Tables horaires

- Amplitude : **5h à 23h59**
- Horaires : **129975**

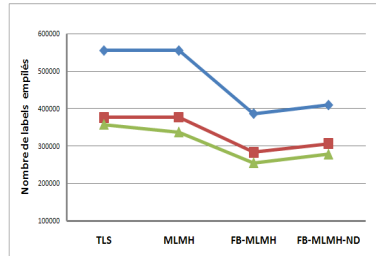
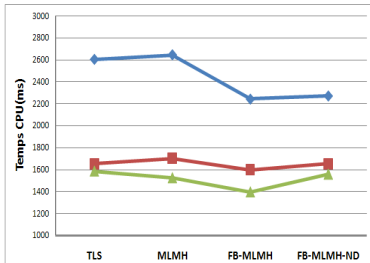
Modes

- Bus, Métro, Piéton, Voiture
- Viabilité

- 100 instances O-D banlieue-banlieue
- $K_{max} = 5$
- 5 itinéraires non dominés



Résultats sans A^* (Graphe statique)



Temps CPU(ms)

Nb. labels employés

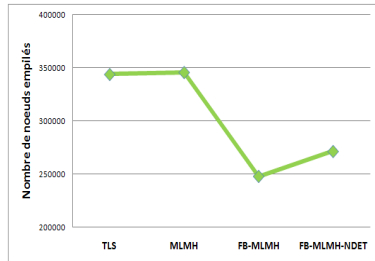
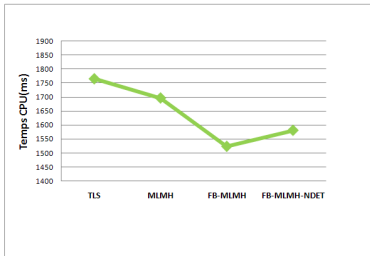
Pas de dominance

Dominance simple

Dominance état

- Temps CPU du meilleur algorithme FB-MLMH: 1,39s (dominance états)

Résultats sans A^* (Graphe dépendant du temps)

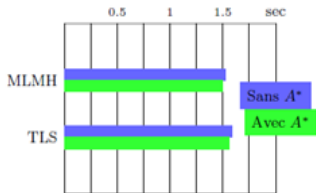


Temps CPU(ms)

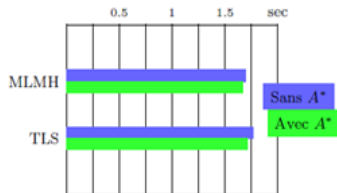
Nb. labels explorés

- Temps CPU du meilleur algorithme FB-MLMH: 1.52s
- Apport de MLMH par rapport à TLS
- Apport du bidirectionnel avec l'automate déterministe

Apport de A^* (mono-directionnel)



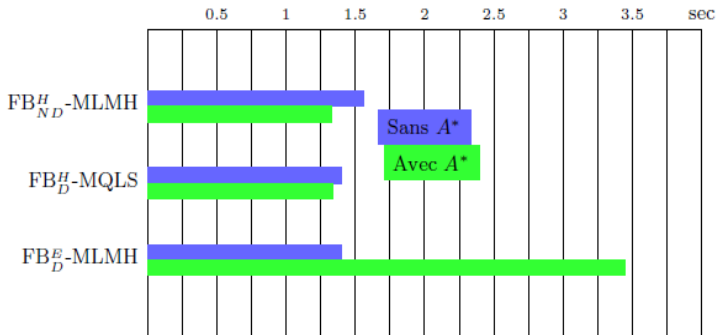
Graphe Statique



**Graphe dépendant
du temps**

- Apport très faible de A^*
 - Meilleur temps (statique) : 1,49s (1,52 sans A^*)
 - Meilleur temps (dépendant du temps) : 1,67s (1,69 sans A^*)

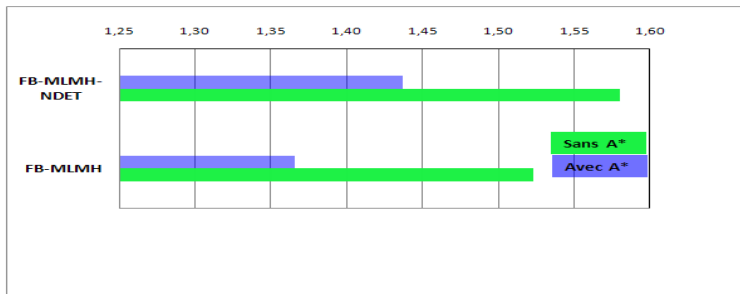
Apport de A^* (bidirectionnel) [Statique]



- Apport de A^* avec la condition approchée
- Mauvaise performance de la condition exacte
- Écarts entre solutions trouvées : aucun sur ce jeu de données

Apport de A^* (bidirectionnel) [TD]

- Mauvaise performance de la condition exacte
- Pas de perte de solution avec condition approchée (sur le jeu de données)



- Apport de A^*
- Meilleur temps 1,36s (bidirectionnel et automate déterministe)

Plan

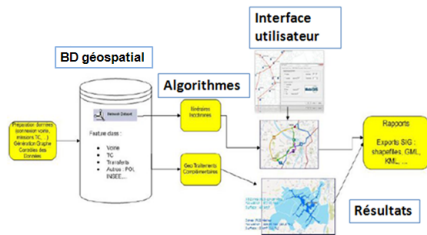
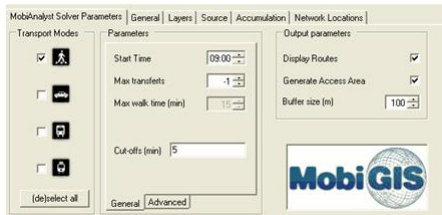
- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation**
 - Logiciel industriel
- 6 Conclusion et Perspectives

Différentes fonctionnalités

- 1 Multimodalité :
 - Comment organiser un déplacement en combinant les modes de transport choisis ?
 - Comment connecter les différentes modes ?
- 2 Accessibilité
 - Quels sont pour un service ou une offre commerciale les bassins d'usagers couverts ?
- 3 Matrices OD

Conception et réalisation

- C/C++ / Visual Studio
- Architecture 3 tiers
- Utilisation des outils SIG
 - ArcMap
 - ArcGIS
 - NetworkAnalyst
 - ArcCatalog

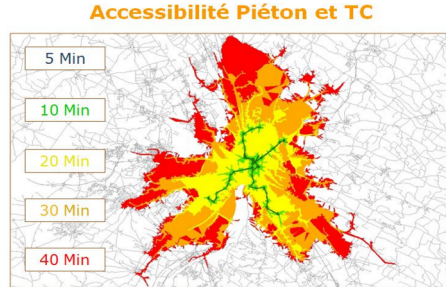


Exemple d'application

- Itinéraires multimodaux



- Accessibilités multimodales



Plan

- 1 Contexte
- 2 Problématique et État de l'art
- 3 Algorithmes
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Industrialisation
- 6 Conclusion et Perspectives
 - Conclusions
 - Perspectives

Contribution scientifique

- Problème étudié : Problème de plus courts chemins multimodaux viables bi-objectifs
- Règle de dominance basés sur l'automate de viabilité
- Proposition ou extension d'algorithmes
 - PCC dans l'ordre croissant du nombre de transferts (TLS)
 - PCC dans l'ordre croissant du temps de trajet (MLMH)
 - Variante bidirectionnelle (FB-MLMH)
 - Variantes A^* de ces algorithmes
 - Extension de ces algorithmes dans le cas dépendant du temps
- Expérimentations sur un réseau réel (Toulouse)




Contribution industrielle





- Intégration d'algorithmes dans le logiciel industriel
- Participation :
 - Modélisation du réseau de transport multimodal
 - Développement d'un logiciel industriel
 - Validation des données de test
- Validation des résultats du logiciel industriel

Perspectives

- Évaluation des algorithmes sur des graphes de grandes tailles
- Évaluation des algorithmes sur d'autres types d'automates
- Intégration d'autres techniques d'accélération (Landmarks,...)
- Autres objectifs (prix du trajet, confort, écomobilité...)
- Autres problèmes de transport : tournées multimodales

Merci de votre attention !
Questions ?

-  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.
-  Lozano, A. et Storchi, G., 2001. Shortest viable path Algorithm in multimodal network. *Transportation Research Part A* 35, p. 225-241
-  Pallottino, S. et M. G. Scutellà, 1998. Shortest path algorithms in Transportation models: Classical and Innovative Aspects. *Equilibrium and Advanced Transportation Modelling*, Kluwer, p.245-281

-  G. Nannicini, D. Delling, D. Schultes, L. Liberti. “Bidirectional A* Search in Time-Dependent Road Networks”, *Optimization Online*, paper 2154, (2008).
-  G. Nannicini, D. Delling, D. Schultes, L. Liberti. “Bidirectional A* Search in Time-Dependent Road Networks”, *Optimization Online*, paper 2154, (2008).
-  G. Nannicini, D. Delling, D. Schultes, L. Liberti. “Bidirectional A* Search in Time-Dependent Road Networks”, *Optimization Online*, paper 2154, (2008).
-  G. Nannicini, D. Delling, D. Schultes, L. Liberti. “Bidirectional A* Search in Time-Dependent Road Networks”, *Optimization Online*, paper 2154, (2008).

