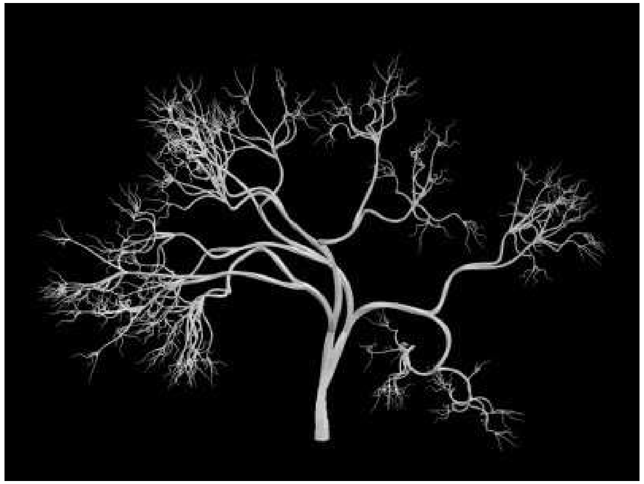
Le 23 janvier 2009

Optimisation des communications multicast sous contraintes

Autour d'une HDR



Miklós MOLNÁR

INSA / IRISA

molnar@irisa.fr

Synthèse

Carrière

- **Carrière**
  - **1976 Diplôme d'ingénieur en GE, option automatique, UT de Budapest**
  - **1977 DEA, UT de Budapest**
  - **1977 – 1989, Centre d'applications en informatique, UT de Budapest**
    - CR2 -> CR1 -> Directeur
  - **1989 – 1992 ATER, INSA de Rennes**
  - **1991 Thèse sur *l'applicabilité de l'approximation stochastique aux problèmes de stocks***
  - **1992 - Maître de conférences, INSA**

- **Recherche**
  - **1977 – 1989 Systèmes d'informations, contrôle de la production, BD**
  - **1989 – 1998 Algorithmes de gestion de stocks, contrôle adaptatif, réseaux de neurones**
  - **1998 – Contrôle de réseaux, problèmes d'optimisation, algorithmes**

Synthèse

- **Optimisation du multicast : problème de Steiner, amélioration des heuristiques**
- **Routage multicast en tenant compte de l'incertitude des valeurs énoncées** *(Balaton – UT Budapest)*
- **Routage multicast avec QoS multicritère** *(coopération, Tunisie)*
- **Agrégation du trafic multicast** *(thèse)*
- **Routage multicast dans les réseaux optiques WDM** *(thèses)*
- **Routage multicast explicite** *(thèse)*
- **Routage inter-domaine avec QoS** *(coopération Telecom Bretagne)*
- **Conservation d'énergie et routage dans les réseaux ad hoc** *(thèse)*
- ***k*-couverture dans les réseaux de capteurs** *(Balaton – UT Budapest)*
- **Protection des communications** *(thèse)*

Synthèse

Encadrements

- **Thèses**

  Alexandre Guitton (2003-2005),

  Joanna Moulierac (2004-2006),

  Hanen Idoudi (2005-2008),

  Alexandre Pocquet (2006 -),

  Hamza Drid (2007-),

  Fen Zhou (2007-),

  Alia Bellabas (2008-)

- **DEA et Master2**

  6 stages

Synthèse

Publications

- **Diffusion des résultats, publications**

	Journaux, chapitres de livre	Conf. internat. avec comité de lecture	Conf. nationales avec comité de lecture	Rapports	Divers
2006	2	7	2	1	2
2007		6	1		
2008	3	9	2	4	3
En total	8	36	15	12	8

Plan

- Routage optimal (de longueur minimale) pour le multicast
  - Nos contributions
- Optimisation sous contraintes
  - Contraintes sur les graphes et sur la structure
  - Généralisation de l'arbre couvrant : la hiérarchie
- Routage multicast dans les réseaux optiques
  - Nos contributions
- Routage multicast avec QoS multicritère
  - Nos contributions
- Conclusions et perspectives

Routage multicast de longueur minimale

- **Multicast : communication au sein d'un groupe**
  - **Intérêt : <u>minimiser l'utilisation des ressources</u> du réseau**
- **Modèle :**
  - **Un graphe** *G= (V,E,d)* **valué, non orienté (topologie)**
  - **un sous-ensemble** *M* = *{s}* ∪ *D* **de nœuds (groupe)**

  Routage : arbre couvrant partiel

  Routage optimal

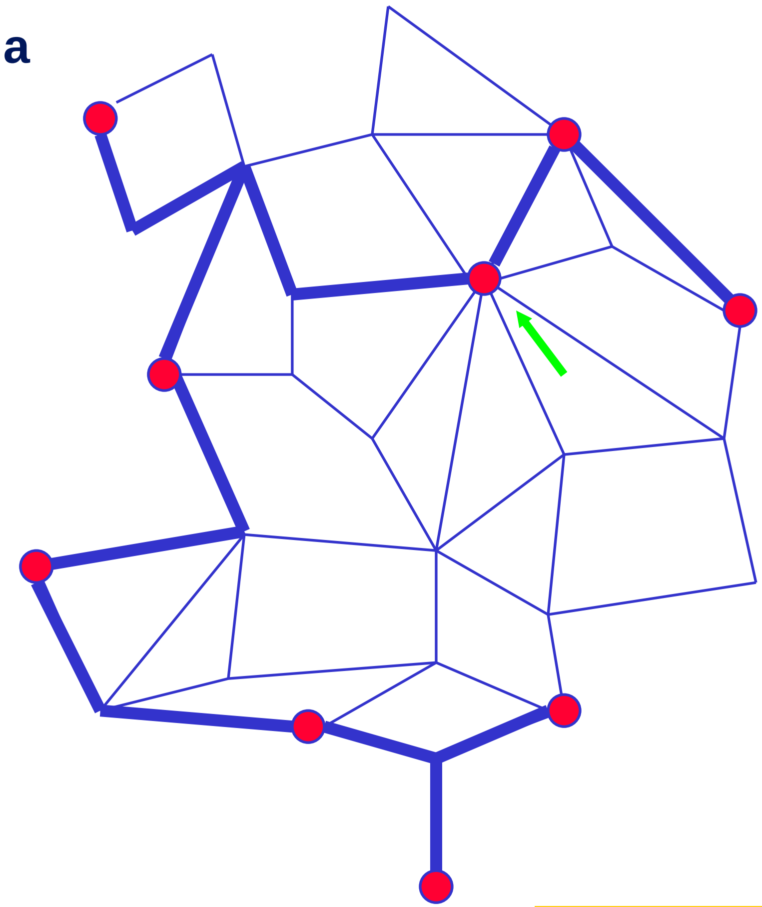
  - **arbre de diamètre minimal**
    - **plus courts chemins**
  - **arbre couvrant partiel de coût minimal**
    - **problème *NP*-difficile**

Routage multicast de longueur minimale

Problème de Steiner dans les réseaux

- **Heuristiques simples**

  Algorithme de Takahashi et Matsuyama
  (généralisation de l'idée de Prim)



> **Initialiser l'arbre par un des nœuds du groupe *M***
> **Calculer ses distances par rapport aux autres nœuds**
> **Jusqu'au dernier nœud non connecté:**
> - **Connecter le nœud le plus proche à l'arbre**
> - **Recalculer les distances**

Ratio d'approximation : *2*

Complexité : $O(mn^2)$

- **Une nouvelle famille d'heuristiques**

Principe

Connexion de deux arbres à l 'aide d 'un arbre minimal de Steiner

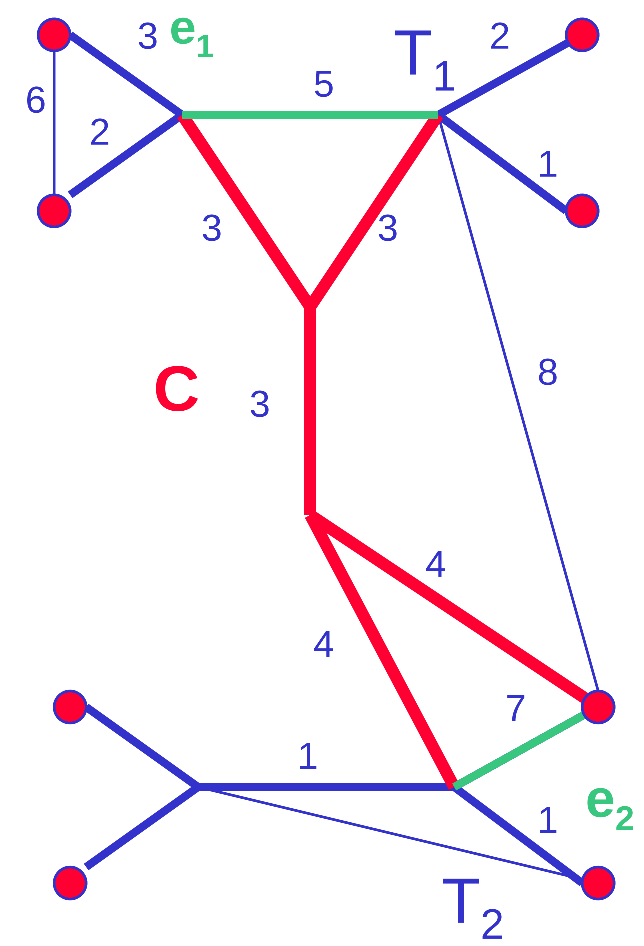
Exemple

- **Le plus court chemin :** *8*
- **En connectant les deux arbres par un troisième :**

la connexion proposée : *17 - 7 - 5 = 5*

- **Cette connexion nécessite une révision partielle des sous-arbres déjà construits**

Ici, une 2-distance : $d_2(T1,T2) = l(C) – \Sigma l(a)$



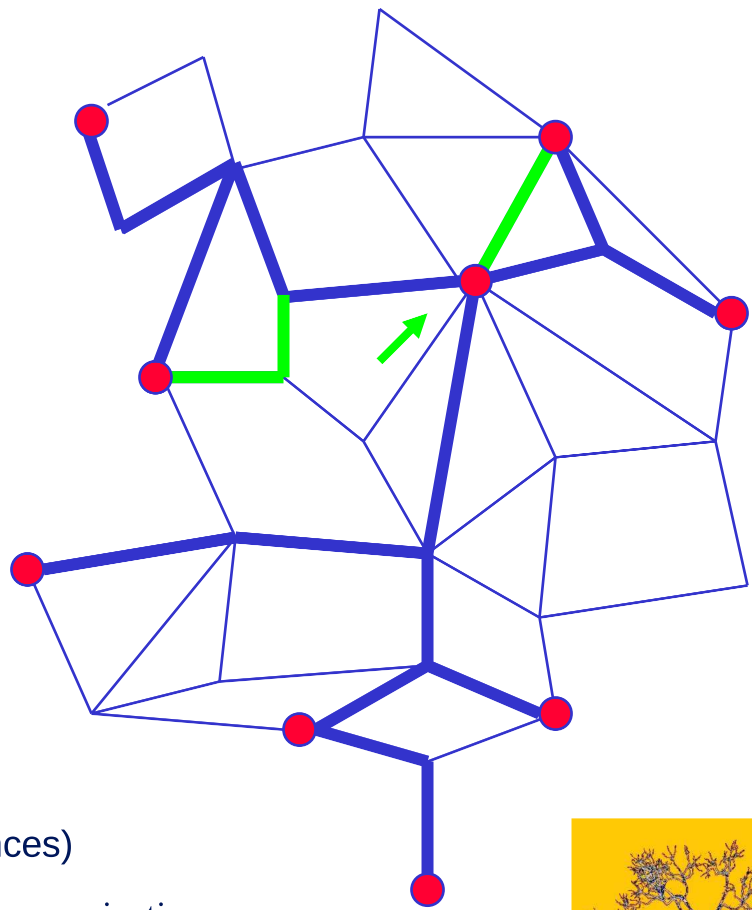
- **Algorithme modifié de Takahashi et Matsuyama**

Initialiser l'arbre avec un nœud v_s arbitrairement choisi de M ;

$M = M \setminus v_s$;

Tant que M n'est pas vide :

- **Pour tout nœud de M :**
  Calculer sa k-distance de l'arbre ;
- **Connecter le nœud v le plus proche à l 'arbre en utilisant un arbre minimal de Steiner ;**
- **Éliminer les boucles ;**
- $M = M \setminus v$ **;**

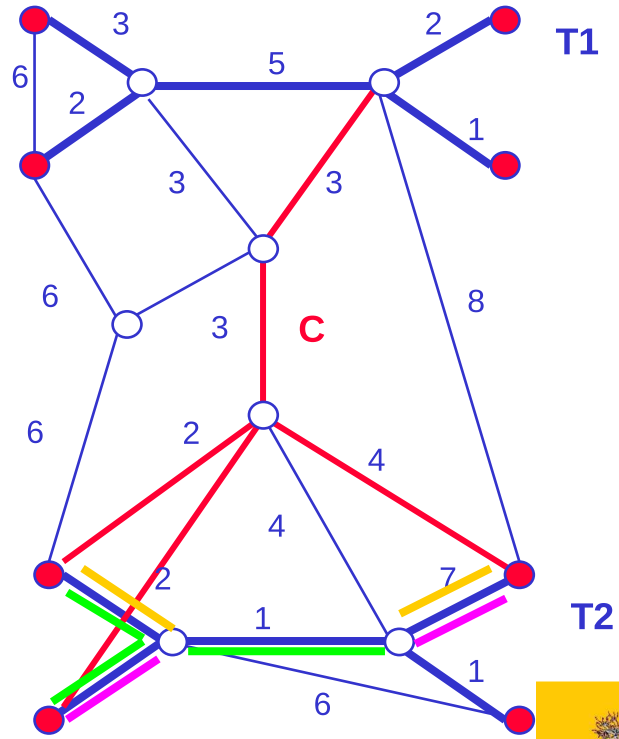


Ratio : ?

Complexité : $O(n^3+m^2\,(n+m))$ (cas des 1-distances)

- **Élimination des boucles**

Problème de la forêt déductible maximale (problème *NP*-difficile)

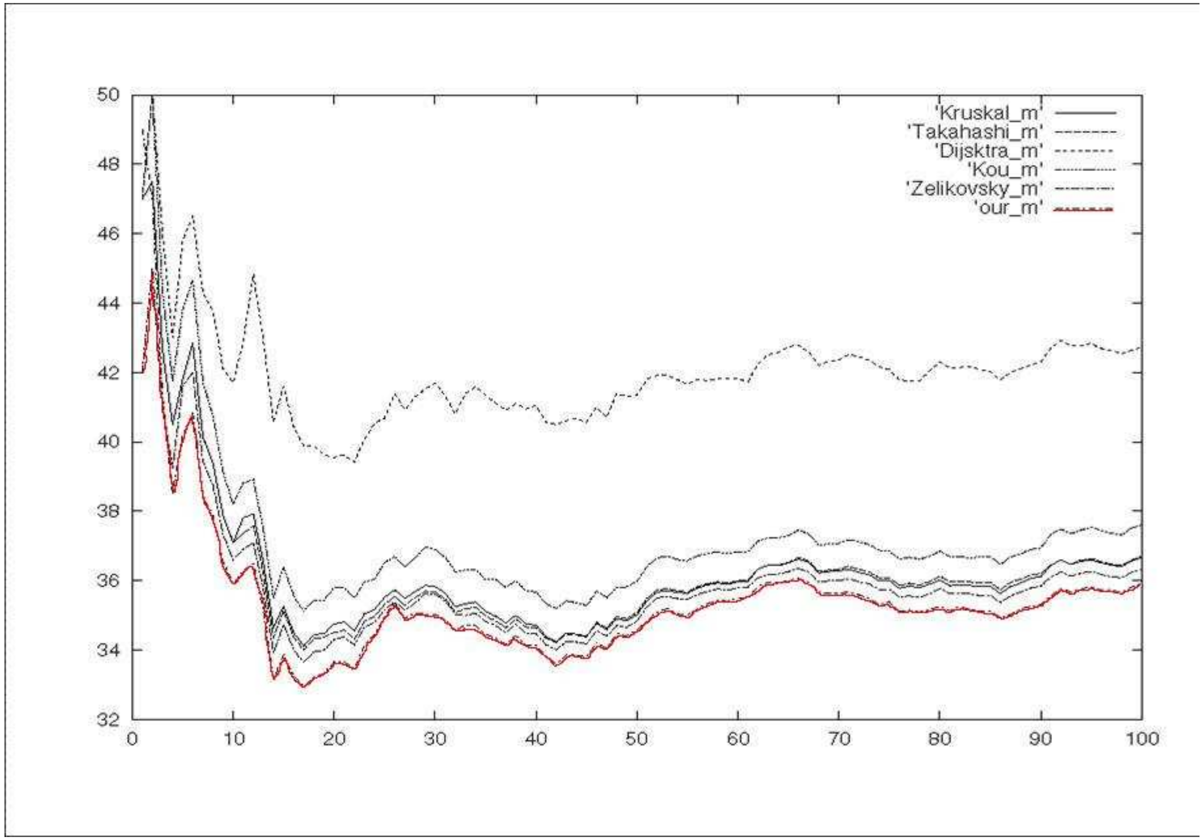


Routage multicast de longueur minimale

Nos contributions

- **Comparaison des heuristiques**

  Dans des graphes aléatoires, valués par des valeurs positives aléatoires (*n = 20, e = 50*) et avec des groupes aléatoires (*m = 5*)



Routage multicast de longueur minimale

Nos contributions

- **Amélioration des heuristiques**
  - **Takahashi-Matsuyama**
  - **Kruskal**

- **Élimination des boucles**

Applications

- **réseaux WDM**
- **dans la gestion de groupes dynamiques**

Plan

- Routage optimal (de longueur minimale) pour le multicast
  - Nos contributions
- **Multicast optimal sous contraintes**
  - **Contraintes sur les graphes et sur la structure**
  - **Généralisation de l'arbre couvrant : la hiérarchie**
- Routage multicast dans les réseaux optiques
  - Nos contributions
- Routage multicast avec QoS multicritère
  - Nos contributions
- Conclusions et perspectives

- **Des contraintes différentes peuvent être imposées**

le degré (ou le degré supérieur) des nœuds est limité

- capacité de duplication des commutateurs optiques WDM est limitée
- nombre limité des dirigés dans une structure d'un graphe de société, etc.

contraintes sur la QoS de bout à bout

- arbre de coût minimal ayant une borne sur le diamètre (« constrained Steiner problem »)
- routage multicast multicritère (avec plusieurs bornes sur la qualité)

le nombre des nœuds dans une sous structure est limité

- routage multicast explicite arborescent

les routes ne peuvent contenir que des segments de taille limitée sans passer par des nœuds particuliers

- routage multicast optique en vu les besoins d'amplification

etc.

- **Problème : trouver le <u>sous-graphe connexe de longueur minimale</u> couvrant *M***

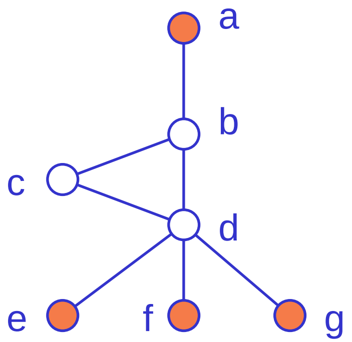
  satisfaisant les contraintes sur les nœuds, de la QoS, etc.

Le sous-graphe optimal n'est pas forcément un arbre

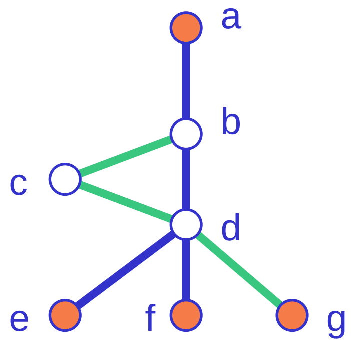
Exemple :

le nombre de successeurs (fils) de chaque <u>occurrence de nœuds</u> est limité par *2*

une arête ne peut être empruntée qu'une seule fois



Il n'y a pas d'arbre qui satisfait la contrainte



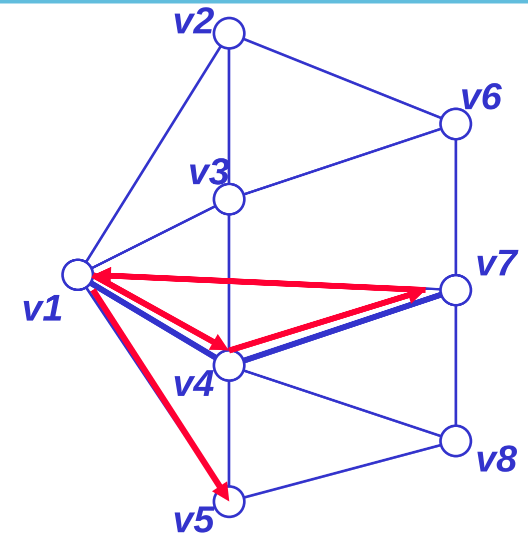
La solution est une structure différente

- **Chemin (simple)**

  p = (v1, e14, v4, e47, v7)

- **Chemin avec répétition**

  p = (v1, e14, v4, e47, v7, e71, v1, e15 v5)



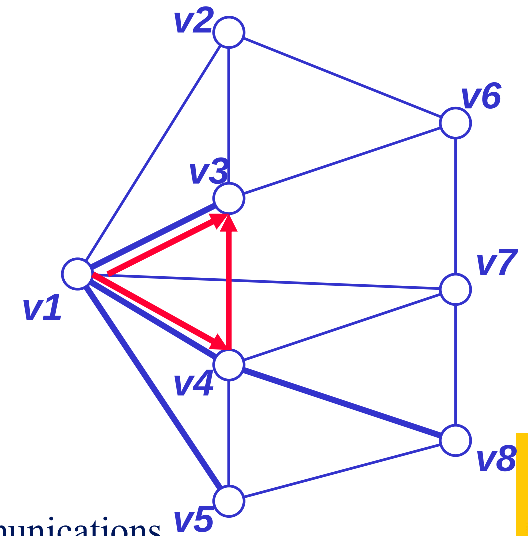
Chaque occurrence de nœuds a au plus un successeur et un prédécesseur

- **Arbre**

  T = (v1((e14, v4(e48, v8))(e13, v3)(e15, v5)))

- **« Arbre avec répétition »**

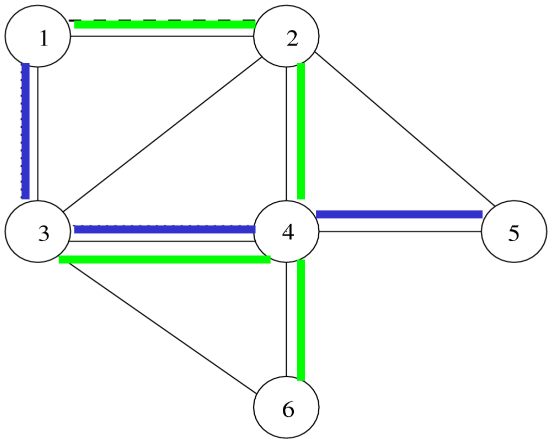
  T = (v1((e14, v4(e43, v3))(e13, v3)(e15, v5)))



Chaque occurrence de nœuds a au plus un prédécesseur

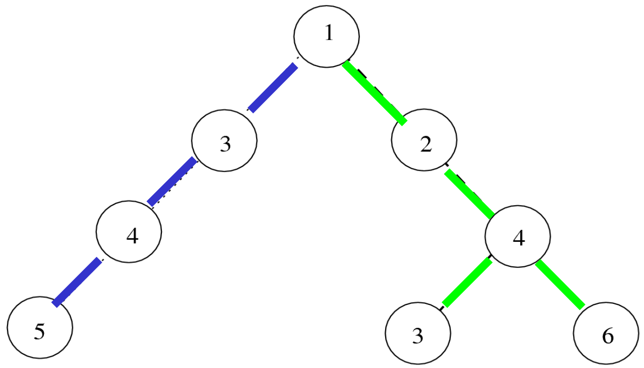
- **Définition : Une hiérarchie est une structure dans laquelle une occurrence de nœuds a un seul prédécesseur au maximum.**

$$H = \left(\emptyset \mid v(H_1, \ldots, H_k)\right)$$



image

a)



structure

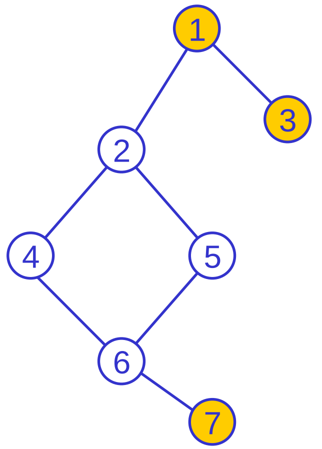
b)

Quelques propriétés

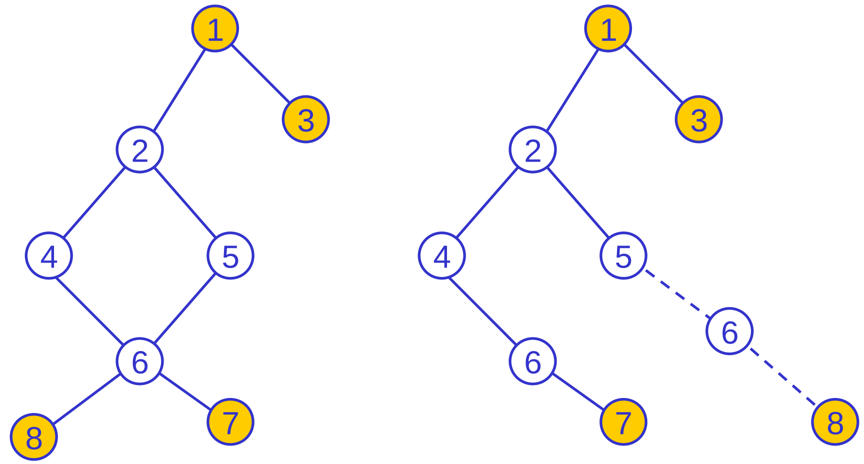
- **Une hiérarchie non vide est toujours connexe**
- **La *structure* hiérarchique n'a pas de cycle (mais son *image* dans le graphe peut en avoir)**
- **Une hiérarchie peut traverser un même nœud plusieurs fois**
- **Une même arête / un même arc peut être emprunté plusieurs fois par une hiérarchie**
- **Dans une hiérarchie, il y a un seul chemin entre deux occurrences de nœuds différentes**
  - l'image du chemin dans le graphe correspond à un parcours quelconque
- **Trivialement, les arbres sont des hiérarchies mais les hiérarchies ne sont pas toujours des arbres**
  - Toutes les propriétés des hiérarchies sont vrais dans les arbres
- **Certains problèmes d'optimisation ont des solutions hiérarchiques qui ne sont pas forcement des arbres**

→ **Problèmes de Steiner sous contraintes**

- **La solution optimale du recouvrement partiel sous contrainte une hiérarchie**
  - **Supposons que la solution de longueur minimale n'est pas une hiérarchie**
  - **Dans ce cas, il existe des cycles**
    - Exemple d'un cycle : une occurrence de nœud a plusieurs prédécesseurs
  - **Une partie des cycles peut être éliminée sans violer les contraintes**



cycle



hiérarchie

Plan

- **Routage optimal (de longueur minimale) pour le multicast**
  - **Nos contributions**
- **Multicast optimal sous contraintes**
  - **Contraintes sur les graphes et sur la structure**
  - **Généralisation de l'arbre couvrant : la hiérarchie**
- **Routage multicast dans les réseaux optiques**
  - **Nos contributions**
- **Routage multicast avec QoS multicritère**
  - **Nos contributions**
- **Conclusions et perspectives**

Routage optique

Les messages sont transmis par des fibres en traversant les commutateurs optiques (sans traitement électronique)

- connexion directe entre la source et les destinations
- chemins et arbres optiques (*lightpaths, light-trees*)

Contraintes

unicité de la longueur d'onde dans les fibres

- dans une direction donnée

continuité de la longueur d'onde

- sans convertisseurs de la longueur d'onde

degré limité des nœuds dans les arbres optiques

- capacité de duplication – *splitting capacity*

niveau suffisant de l'énergie de la lumière

- longueur des chemins et nombre de duplications limités

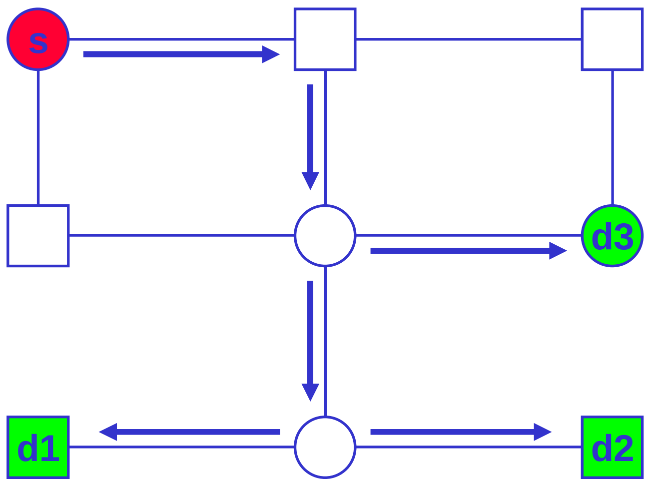
- **Routage multicast WDM avec peu de commutateurs pouvant dupliquer**

  Topologie *G=(V,E),* **avec deux types de nœuds :**

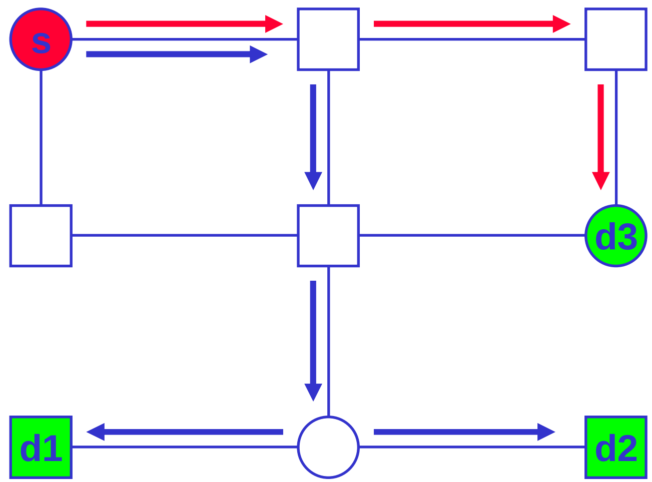
  MC (splitter) **et** **MI**

  Groupe multicast *(s,D)*

  Habituellement : on cherche un arbre ou une forêt



Arbre optique



Forêt optique

Problème : les nœuds de branchement doivent coïncider avec les nœuds MC

- **Algorithmes d'adaptation**
  - Calculer un arbre couvrant partiel pour le groupe
  - Adapter l'arbre aux contraintes :
    - reconnecter les fils des nœuds de branchement MI (MIB) à des nœuds qui ont la capacité de duplication
  - Exemples : Reroute-to-Source, Reroute-to-Any

- **Algorithmes de construction directe**
  - Construire directement l'arbre ou la forêt qui correspond aux contraintes
  - Exemple : Member-Only

Algorithmes d'adaptation

Amélioration de l'algorithme de Reroute-to-Source par post-traitement

(pour diminuer le stress de liens, en privilégiant les connexions aux feuilles)

Adaptation de l'arbre de plus courts chemins

- **Cas 1 : pour minimiser le nombre d'arbres dans la forêt**
- **Cas 2 : pour minimiser le coût total de l'arbre**

dans la thèse d'Alexandre Guitton et dans celle de Fen Zhou

Algorithmes de construction directe

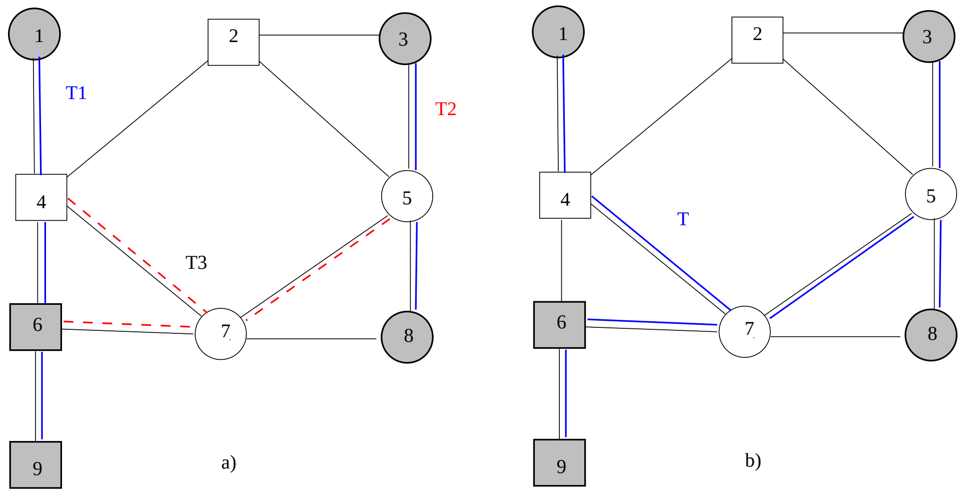
Amélioration de l'algorithme Member-Only et l'heuristique de Kruskal en utilisant les 1-distances

avec Aniko Zsigri et Alexandre Guitton

Amélioration par des politiques de priorités

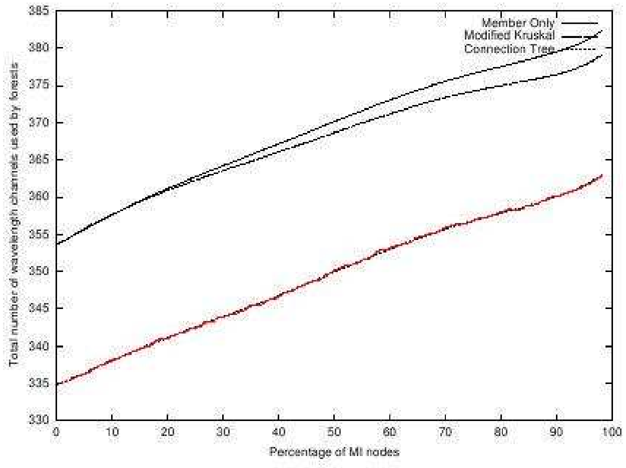
dans les publications récentes avec Fen Zhou

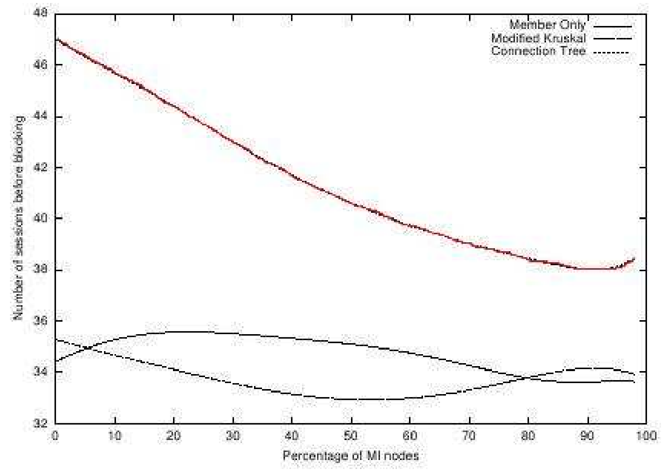
- **Utilisation des 1-distances dans la construction d'arbres optiques**
  - **Condition : le nœud de branchement de la connexion doit coïncider avec un nœud MC**
  - **Intérêt : les nœuds MC qui ne sont pas sur l'arbre en construction peuvent être sollicités**



Connexion par un arbre de Steiner ayant un nœud MC

- **Performance des heuristiques basées sur les 1-distances**





Nombre de canaux

Nombre de groupes avec un seul arbre

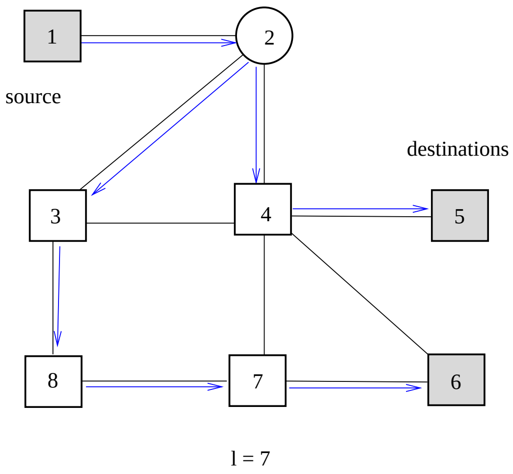
Relâcher la contrainte de construction d'arbres

Travaux précurseurs sur la structure de routage multicast optique

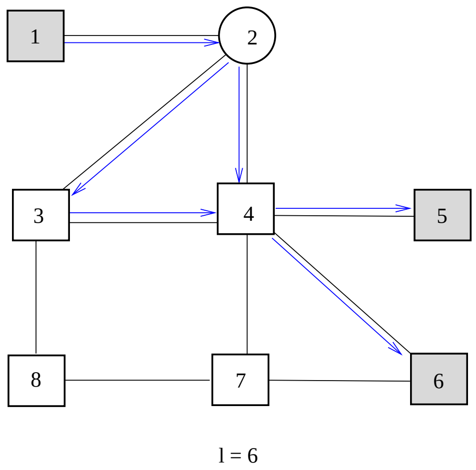
- *Thèse d'Alexandre Guitton*

En utilisant des hiérarchies

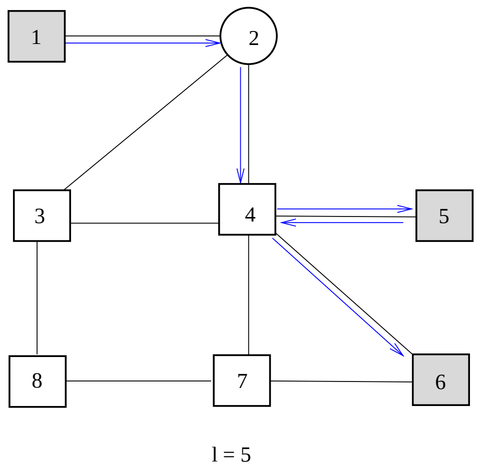
- *Thèse de Fen Zhou*



Arbre

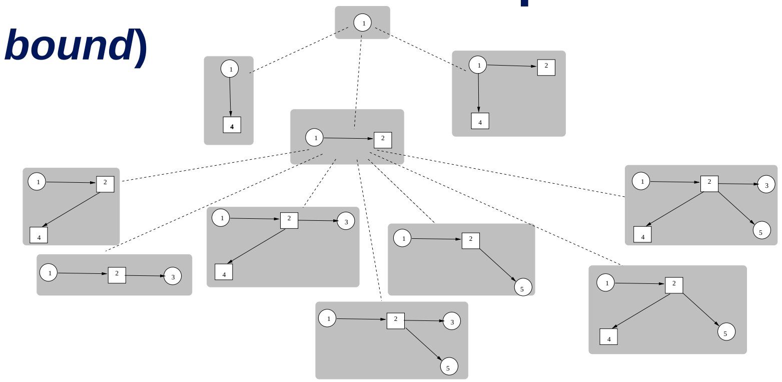


Hiérarchie



Hiérarchie

- **La recherche de la solution optimale est *NP*-difficile**
  - **Des cas particuliers (quand les nœuds sont MC) sont *NP*-difficiles**
  - **Les algorithmes exactes classiques ne marchent pas**
    - Un nœud peut appartenir plusieurs fois à la solution optimale
  - **Le problème est ρ-approximable**
- **Deux propositions pour construire la hiérarchie optimale**
  - **Algorithme PSEP (*branch and bound*)**



  - **Algorithme de recherche dans la plus large hiérarchie possible**
    - Construire la plus large hiérarchie limitées par les contraintes
    - Ajouter un nœud fictif pour chaque membre
    - Déterminer un arbre de Steiner dans le graphe obtenu

Plan

- Routage optimal (de longueur minimale) pour le multicast
  - Nos contributions
- Multicast optimal sous contraintes
  - Contraintes sur les graphes et sur la structure
  - Généralisation de l'arbre couvrant : la hiérarchie
- Routage multicast dans les réseaux optiques
  - Nos contributions
- **Routage multicast avec QoS multicritère**
  - **Nos contributions**
- Conclusions et perspectives

- **Routage avec QoS multicritère**

  L'application nécessite la satisfaction d'un ensemble de critères

  - on connaît la source et les destinations

- **Contraintes**

  délai < *d*

  variation du délai < *v*

  capacité > *c*

  taux de pertes < *p*

  budget < *b*

- **On considère les contraintes qui sont données par des métriques additives**

■ Routage unicast avec QoS multicritère

chaque arête du graphe est valuée par un vecteur $\overrightarrow{w}(e) = [w(e)_1, ..., w(e)_m]^T$ **de métriques additives**

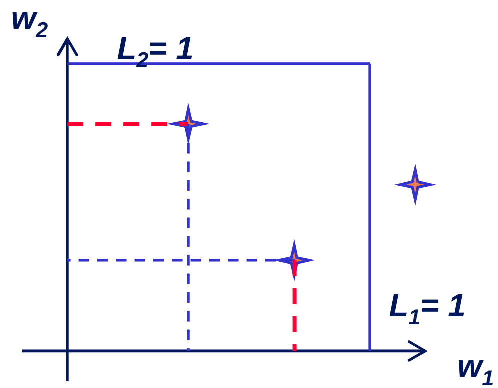
les critères de la QoS sont donnés par $\overrightarrow{L} = [L_1, ..., L_m]^T$

Multi-Constrained Path (MCP) Problem

- **chemin faisable :** $$P : \sum_{e \in P} \overrightarrow{w}(e) \leq \overrightarrow{L}$$

Multi-Constrained Optimal Path (MCOP) Problem

- **longueur non-linéaire :** $$l(P) = \max_{i \in \{1, ...m\}} \frac{\sum_{e \in P} w(e)_i}{L_i}$$
- **chemin optimal :** $$P^* : \min_{P \in \text{ chemins(s,d)}} l(P)$$



■ Le routage unicast est déjà *NP*-difficile

Routage multicast avec QoS multicritère

la source s **et les destinations** $D = \{ d_1, d_2, \ldots d_g \}$ **sont données**

Multiple Constrained Multicast (MCM) Problem

- un chemin faisable par destination :

$$\vec{w}(P(s,d_j)) \overset{d}{\leq} \vec{L}$$

Multiple Parameter Steiner Tree (MPST) Problem

- arbre de longueur minimal :

$$G_M^* : \min_{G_M \in G_{couvrant}} l(G_M)$$

Multiple Constrained Minimum Weight Multicast (MCMWM) Problem

- structure faisable avec poids minimale :

$$G_M^* : \min_{G_M \in G_{couvrant}} l(G_M)$$

$$\vec{w}(P(s,d_j)) \overset{d}{\leq} \vec{L}, \forall d_j \in D$$

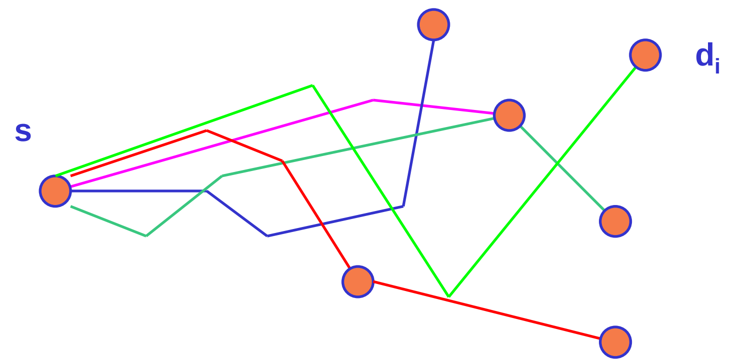
Routage multicast avec QOS multicritère

Solution connue

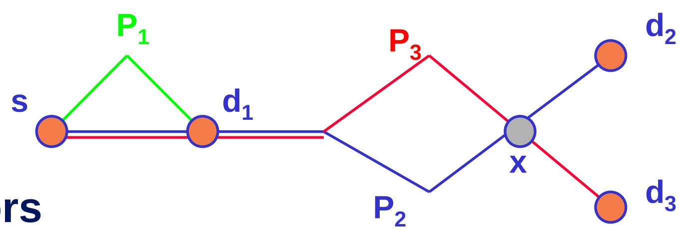
- **Algorithme MAMCRA**

Calculer le chemin optimal (MCOP) pour chaque destination d_j ;

Éliminer le plus de boucles de l'ensemble des chemins obtenus à l'aide d'un algorithme glouton ;



- **Propriétés utilisées**

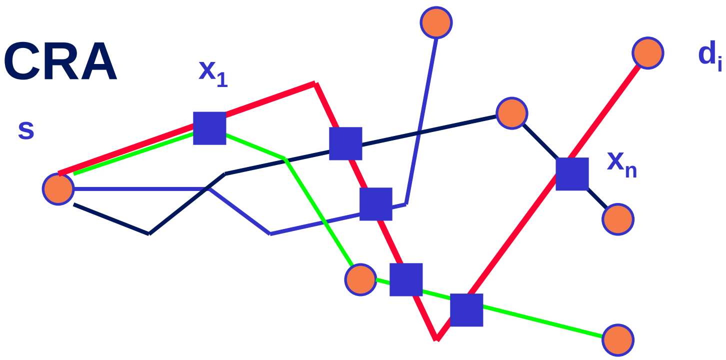


Si $\vec{w}(P_2(s,x)) + \vec{w}(P_3(x,d_3)) \overset{d}{\leq} \vec{L}$ alors on peut remplacer $P_3(s,x)$ par $P_2(s,x)$

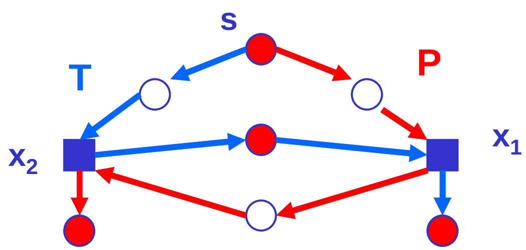
Si d_1 est sur un chemin faisable vers une autre destination (d_2), alors $P_1(s,d_1)$ peut être remplacé par $P_2(s,d_1)$

- **Problèmes de l'algorithme MAMCRA**

On ajoute les chemins un par un et les suppressions ne concernent que les nouveaux chemins



On examine les nœuds communs en remontant vers la source (tous les cas possibles ne sont pas traités)



La solution optimale n'appartient pas forcément à l'ensemble des plus courts chemins

Il s'agit d'une hiérarchie

Formulation plus précise des problèmes

Multiple Constrained Minimum Length Multicast (MCMLM) Problem

- structure faisable avec une longueur minimale (en nombre de sauts) :

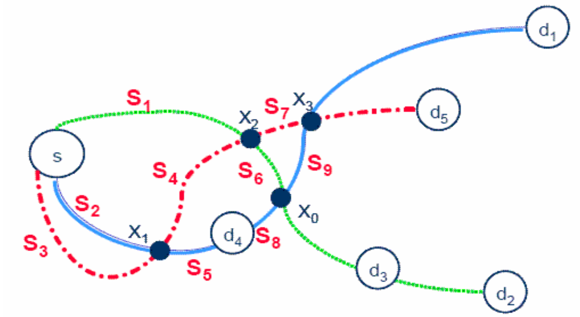
$$G_M^* : \min_{G_M \in G_{couvrant}} h(G_M)$$

$$\overrightarrow{w}(P(s,d_j)) \overset{d}{\leq} \overrightarrow{L}, \forall d_j \in D$$

ici *h()* indique le nombre d'arcs

Problème de l'ensemble déductible maximal

- déterminer l'ensemble des segments qui peuvent être supprimés de l'ensemble des chemins sans perdre la faisabilités de la solution pour chaque destination
- problème *NP*-difficile

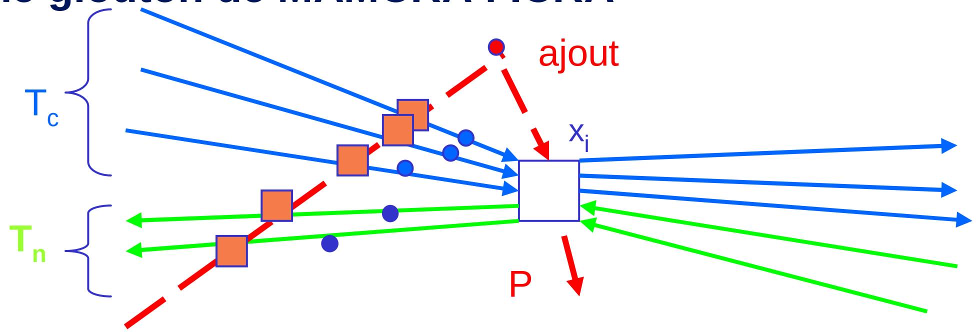


Solutions du problème de la suppression maximale

Travaux effectués avec Naouel Ben Ali

Amélioration de l'algorithme glouton de MAMCRA : ICRA

- généralisation
- suppression locale de l'ensemble maximal



- **Quand on ajoute un nouveau chemin à l'ensemble des arbres, on examine les possibilités de suppression des segments à chaque nœud d'intersection**
- **On choisit la suppression qui donne le gain maximal en terme de nombre de liens effacés**

Optimisation globale en utilisant une solution approchée fournie par une méta-heuristique (algorithme Tabou)

- Pour déterminer l'ensemble des segments effaçables

Résultats de la méta-heuristique

Graphes de Waxman avec 70 nœuds
Groupes avec 50 membres
4 fois 100 simulations

Average number of cycles			Average critical length (diameter)			Average number of iterations
S	M_{Mamcra}	M_{Taboo}	$cl(S)$	$cl(M_{Mamcra})$	$cl(M_{Taboo})$	
3,51064	0,04255	0,00000	0,77531	0,79046	0,77852	3,69149
3,60638	0,04325	0,01064	0,74906	0,77596	0,75179	3,50000
3,70103	0,02062	0,00000	0,75788	0,77834	0,76603	3,42268
3,60215	0,06452	0,03226	0,76176	0,78321	0,76625	3,52688

Remarques :

- **Peu de cycles dans les graphes de Waxman**
- **Tabou élimine les cycles en peu d'itérations**
- **La valeur critique de l'arbre est nettement meilleure avec l'optimisation globale**

- **Analyse de la solution optimale**
  - **Cette solution correspond à une hiérarchie orientée de longueur minimale**
  - **Le problème est *NP*-difficile**
    - Déjà pour une seule destination, le problème est *NP*-difficile

- **Proposition d’un algorithme exact**
  - **Basé sur l’idée de *branch and bound***
    - Sélectionner la feuille (hiérarchie) de longueur minimale de l’arbre de recherche
    - Calculer les successeurs faisables de cette hiérarchie
      - Un successeur contient un ensemble non vide d’arcs adjacents par rapport à la hiérarchie de départ et satisfait les contraintes

- **Une autre solution rapide pour sélectionner les arbres**

  - **Utiliser une BD contenant des arbres configurés**
    - **Les méthodes pour faire l'agrégation utilisent des BD**
  - **Étude de l'agrégation d'arbres avec QoS**

    Travail avec Joanna Moulierac et Naouel Ben Ali

Plan

- Routage optimal (de longueur minimale) pour le multicast
  - Nos contributions
- Multicast optimal sous contraintes
  - Contraintes sur les graphes et sur la structure
  - Généralisation de l'arbre couvrant : la hiérarchie
- Routage multicast dans les réseaux optiques
  - Nos contributions
- Routage multicast avec QoS multicritère
  - Nos contributions
- **Conclusions et perspectives**

Conclusions

- **Le routage multicast sous contrainte a un intérêt éminent**
  - Routage avec QoS, routage explicite, routage optique
- **Nos algorithmes heuristiques ont considérablement amélioré la performance des algorithmes de routage**
  - Heuristiques du problème de Steiner
  - Routage optique avec peu de duplicateurs optiques
  - Elimination des redondances dans les structures du routage multicritère
- **Le concept hiérarchie permet la formulation correcte des problèmes de recouvrement partiel**
  - Routage en cas des contraintes différentes
- **Plusieurs thèses et collaborations scientifiques ont permis d’élargir la recherche et de diffuser les résultats**

Perspectives

- **Heuristiques pour le problème de Steiner**
  - **Recherche d'une borne supérieure du ratio d'approximation**
  - **Se positionner par rapport à des solutions k-limitées**
- **Hiérarchies**
  - **Recherche fondamentale sur les hiérarchies**
  - **NP-complétude et approximabilité des différents problèmes**
  - **Diffusion large des résultats**
- **Routage optique**
  - **Routage en cas de plusieurs contraintes**
    - Conversion de longueurs d'onde, amplification
  - **Analyse de performance au niveau de la capacité du réseau**
  - **Application sur le routage en rafales**
- **Routage multicritère**
  - **Recherche de la solution optimale**
  - **Routage inter-domaine**

Merci…

Questions ?