

Conception de réseaux de télécommunications : optimisation et expérimentations

Jean-François **Lalande**

Directeurs de thèse: Jean-Claude **Bermond** - Michel **Syska**

Université de Nice-Sophia Antipolis
Mascotte, projet commun CNRS-I3S-INRIA



10 décembre 2004

Contexte

Problématiques

- ▶ Optimisation dans les réseaux de cœur
 - ▶ Conception du réseau
 - ▶ Allocation des ressources
- ▶ Deux contextes particuliers
 - ▶ Réseaux optiques
 - ▶ Réseaux satellitaires

Contributions

- ▶ Algorithmiques
- ▶ Expérimentations
- ▶ Logicielles

Démarche

Optimisation dans les réseaux

- ▶ Modélisation des réseaux: mathématiques discrètes
- ▶ Méthodes algorithmiques

Optimisation combinatoire et heuristiques

- ▶ Programmation linéaire
 - ▶ Génération de colonnes
- ▶ Relaxation du modèle pour traiter des réseaux réels
 - ▶ Algorithmes d'approximation: arrondis aléatoires

Plan de l'exposé

Réseaux optiques

- ▶ Routage
- ▶ **Protection**

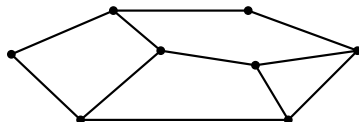
Réseaux satellitaires

Contributions logicielles

Les réseaux WDM

Problématique du routage

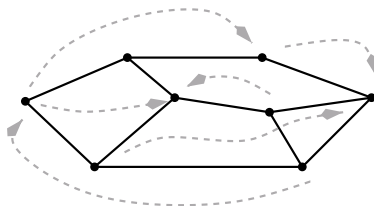
- ▶ Réseau physique:
 - ▶ Nœuds : add/drop + routeur
 - ▶ Arcs : câbles de fibres
- ▶ Requêtes : connexions entre 2 nœuds
- ▶ Connexion: route de longueurs d'onde



Les réseaux WDM

Problématique du routage

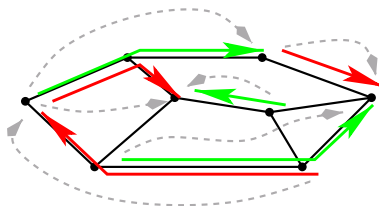
- ▶ Réseau physique:
 - ▶ Nœuds : add/drop + routeur
 - ▶ Arcs : câbles de fibres
- ▶ Requêtes : connexions entre 2 nœuds
- ▶ Connexion: route de longueurs d'onde



Les réseaux WDM

Problématique du routage

- ▶ Réseau physique:
 - ▶ Nœuds : add/drop + routeur
 - ▶ Arcs : câbles de fibres
- ▶ Requêtes : connexions entre 2 nœuds
- ▶ Connexion: route de longueurs d'onde



Routage

- ▶ Avec: M. Bouklit, D. Coudert, C. Paul, H. Rivano
Publications: AlgoTel 2003, SIROCCO 2003

Routage

- ▶ Application au routage optique
 - ▶ Une couche: une longueur d'onde
 - ▶ Arrondi aléatoire (Raghavan)
- ▶ Approximation du multiflot fractionnaire (Fleisher)
 - ▶ Algorithme de poussée de flot
 - ▶ Amélioration de la complexité

Protection des réseaux WDM

- ▶ Avec: Michel Syska, Yann Verhoeven
- ▶ Publication: Roadf 2005

Protection

- ▶ 1 panne unique
- ▶ Protection à 100%
- ▶ Protection par arc/chemin

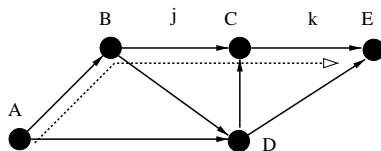


FIG.: Protection par arc/chemin

Protection des réseaux WDM

- ▶ Avec: Michel Syska, Yann Verhoeven
- ▶ Publication: Roadf 2005

Protection

- ▶ 1 panne unique
- ▶ Protection à 100%
- ▶ Protection par arc/chemin

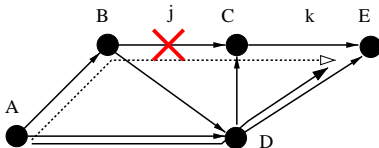
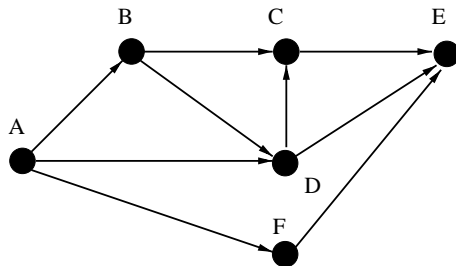


FIG.: Protection par arc/chemin

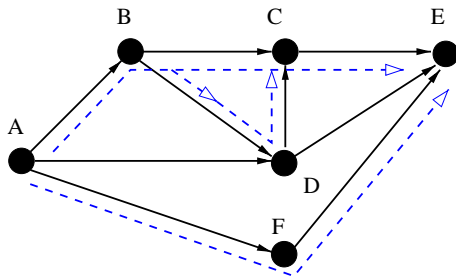
Protection $M : N$



Types de protection

- ▶ Protection $M:N$
- ▶ Partage de capacité de protection

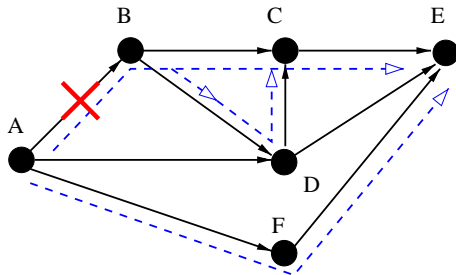
Protection $M : N$



Types de protection

- ▶ Protection M:N
- ▶ Partage de capacité de protection

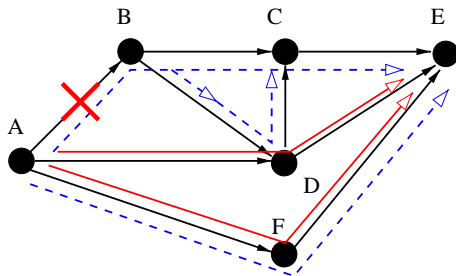
Protection $M : N$



Types de protection

- ▶ Protection M:N
- ▶ Partage de capacité de protection

Protection $M : N$



Types de protection

- ▶ Protection M:N
- ▶ Partage de capacité de protection

Principe de résolution

- ▶ Baroni, Bayvel, Gibbens (JLT)

Génération des chemins

- ▶ Requêtes z de taille $size(z)$
- ▶ Les plus courts chemins + μ
- ▶ Marche aléatoire limitée par pcc + μ

Programme linéaire en nombres entiers

- ▶ Variable $\delta_{p,z}^A$: chemin p utilisé pour la requête z
- ▶ Variable $f_{e,z}^j$: flot arc e pour la requête z pour la panne j
- ▶ Variable f_j : fibres optiques sur j
- ▶ Contraintes d'exclusion, de capacité

Flot de protection

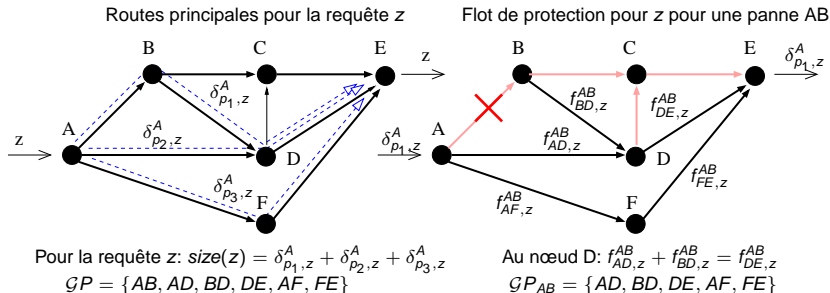


FIG.: Variables du PL pour $z = (A, E)$

Intérêt du modèle

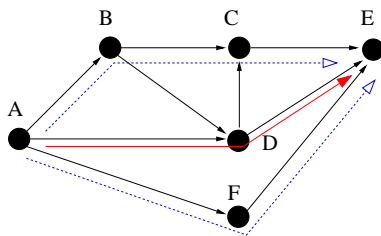


FIG.: Pannes disjointes

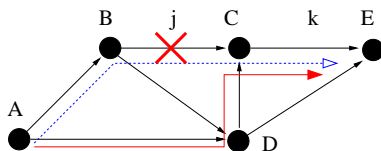


FIG.: Réutilisation de la capacité principale

Intérêt du modèle

Améliorations

- ▶ Moins de variables: réseaux réels
- ▶ Variables de flot entières mais non 0/1
- ▶ Un cas de partage supplémentaire

Relaxation

- ▶ Intégrité des variables
- ▶ Arrondi de la solution fractionnaire

Arrondi aléatoire

Arrondi aléatoire [Rag94]

- ▶ Arrondi aléatoire sur un multiflot fractionnaire

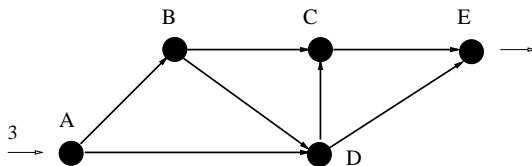


FIG.: Arrondi aléatoire d'une commodité

Arrondi aléatoire

Arrondi aléatoire [Rag94]

► Arrondi aléatoire sur un multiflot fractionnaire

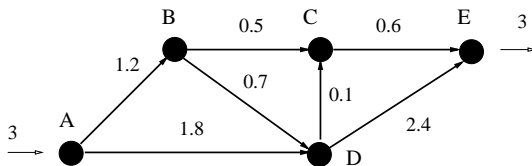


FIG.: Arrondi aléatoire d'une commodité

Arrondi aléatoire

Arrondi aléatoire [Rag94]

► Arrondi aléatoire sur un multiflot fractionnaire

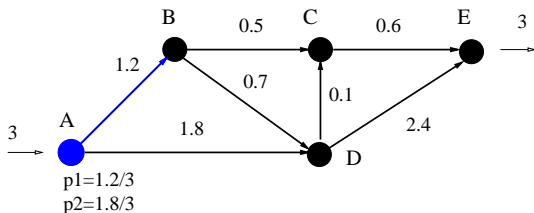


FIG.: Arrondi aléatoire d'une commodité

Arrondi aléatoire

Arrondi aléatoire [Rag94]

► Arrondi aléatoire sur un multiflot fractionnaire

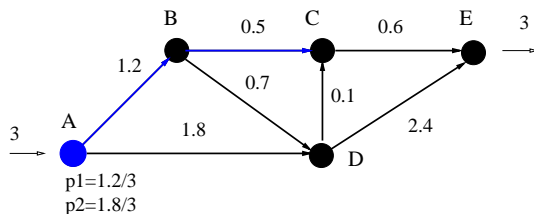


FIG.: Arrondi aléatoire d'une commodité

Arrondi aléatoire

Arrondi aléatoire [Rag94]

► Arrondi aléatoire sur un multiflot fractionnaire

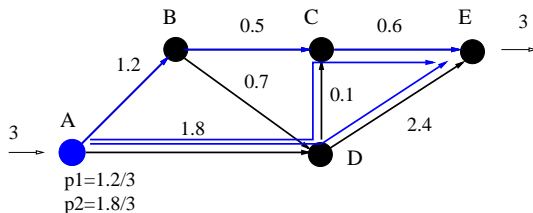


FIG.: Arrondi aléatoire d'une commodité

Adaptation de l'algorithme

Arrondi des chemins principaux/protection

- ▶ Tirage des chemins principaux
- ▶ Tirage du flot de protection pour chaque chemin principal

Garantie de qualité

- ▶ 100% des cas de protection
- ▶ Solution valide avec probabilité $1 - \frac{1}{|E|}$

Résultats expérimentaux

Réseau	Source	Nœuds	Arcs	Requêtes
R ₃	Europe	11	50	110
NSFNET	Nsfnet	14	21	140
R ₁	France	20	34	118
EU	USA	64	150	190

TAB.: Caractéristiques des réseaux testés

Bilan

Algorithme LSV

- ▶ Bonne relaxation
- ▶ Algorithme d'approximation pour la solution entière
- ▶ Réseaux réels

Que faire quand aucune solution n'est trouvée ?

- ▶ Du point de vue de l'algorithme:
 - ▶ Augmenter le nombre de chemins générés
 - ▶ Réaliser un max-flot sur le réseau
- ▶ Du point de vue du réseau:
 - ▶ Augmenter les capacités

Plan de l'exposé

Réseaux optiques

Réseaux satellitaires

▶ **Allocation de fréquences**

Contributions logicielles

Communications satellites/terminaux

- ▶ Avec: S. Alouf, E. Altman, J. Galtier, C. Touati
Publications: Infocom 2005, Combinatorial Optimization in Communication Networks

Problématique proposée par Alcatel

- ▶ Prévoir sa plage de réception
 - ▶ Division en espace (largeur de bande)
 - ▶ Division en temps (cyclique)
- ▶ Communication avec des terminaux au sol

Terminaux

- ▶ Placés sur des spots au sol
- ▶ Spot découpé en zones: demandes spécifiques

Demands

Type	Largeur de bande	Nombre de porteuses	Durée	Nombre de timeslots
1	187.5	192	2944	18
2	750	96	736	36
3	3000	12	184	288
4	6000	6	92	576

Définition des demandes

- ▶ Type=(b, t) avec $b \times t = cte$
- ▶ A placer dans un espace $(B, T) = (36000, 52992)$
- ▶ $\forall type_i, b_i$ divise B
- ▶ $\forall type_i, t_i$ divise T

Interférences

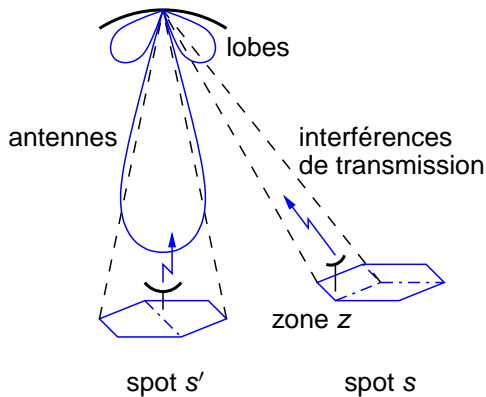


FIG.: Interférence d'une zone z sur une zone z'

Méthode de résolution

Programmation linéaire

- ▶ Satisfaction de la demande en nombre de timeslot typés
- ▶ Génération de colonnes

Heuristiques de génération de combinaisons

- ▶ Zones qui émettent avec interférence acceptable

Allocation de la trame

- ▶ Algorithme de placement des timeslots sur la trame

Réponse à la demande

Programmation linéaire

- ▶ Variables: x_{F_i} famille typée (couple famille-type)
- ▶ Contrainte de satisfaction de la demande
- ▶ Placement des familles typées sur l'aire BxT

Caractéristique d'une famille F_i

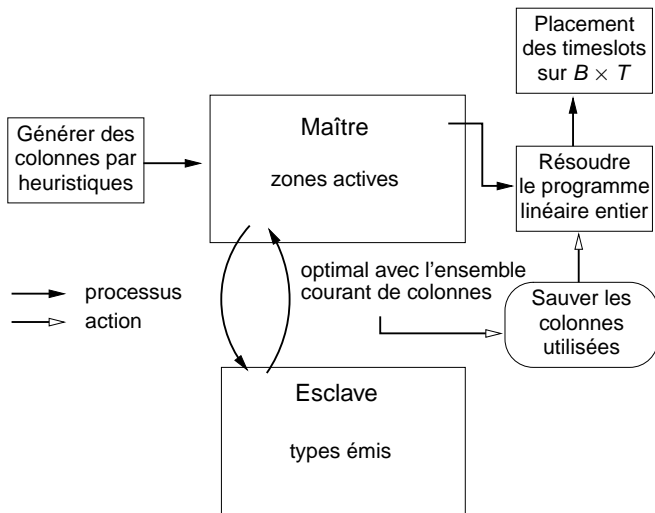
- ▶ Spot $s = (z, z1, z2)$
- ▶ $F_i^T(s) = t_j$ (production de type j)
- ▶ $F_i^A(z) = \text{on}$ (zone allumée)

$$\forall j, z, / \text{spot } s = (z, z_1, z_2),$$

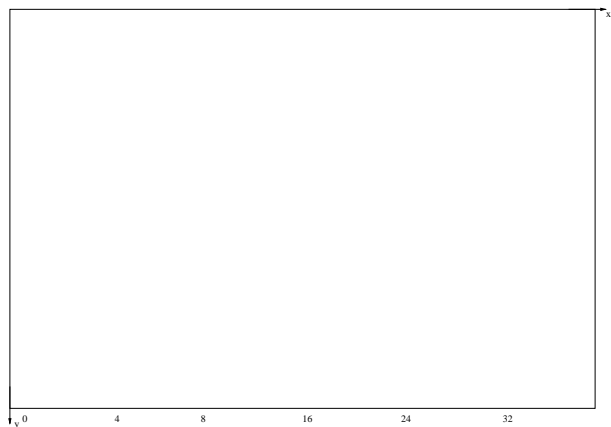
$$\sum F_i^M x_{F_i} \geq d(z, t_j)$$

$$i / \left\{ \begin{array}{l} F_i^T(s) = t_j \\ \text{et} \\ F_i^A(z) = \text{on} \end{array} \right.$$

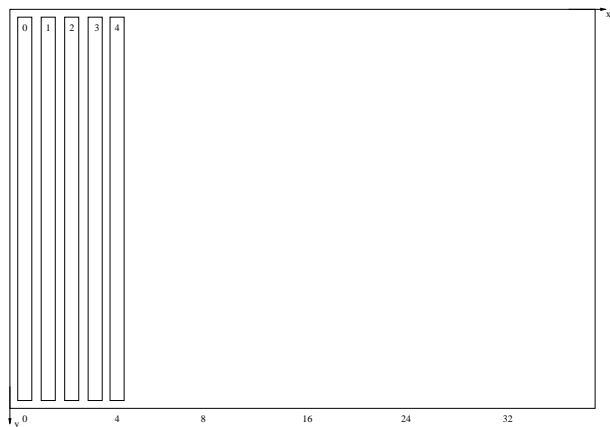
Génération de colonnes



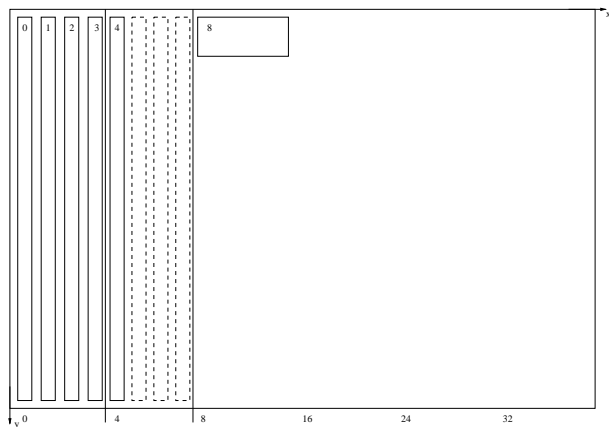
Algorithme de placement



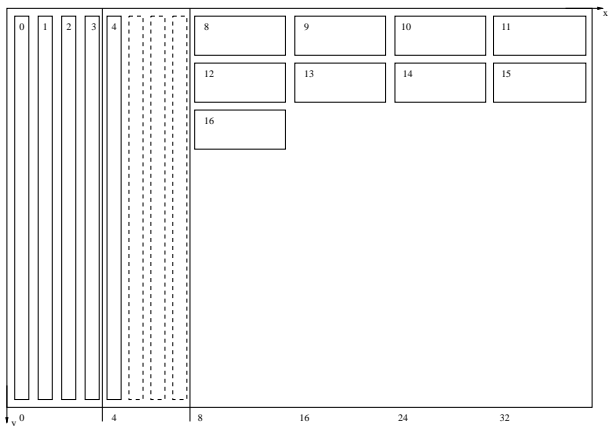
Algorithme de placement



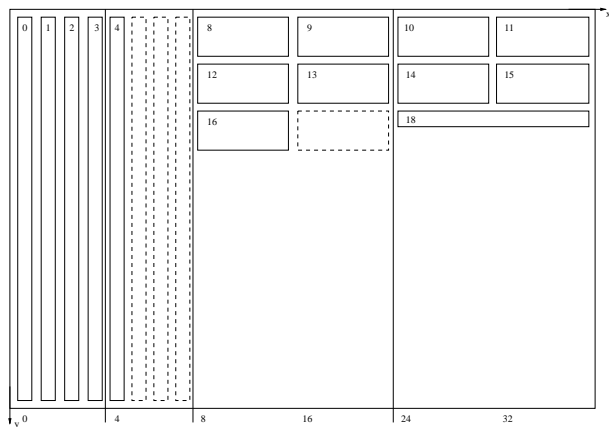
Algorithme de placement



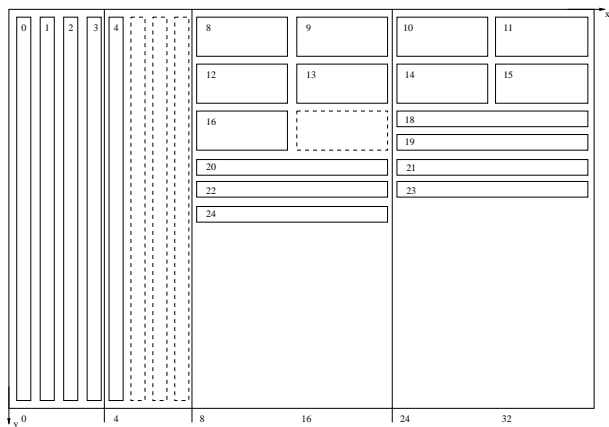
Algorithme de placement



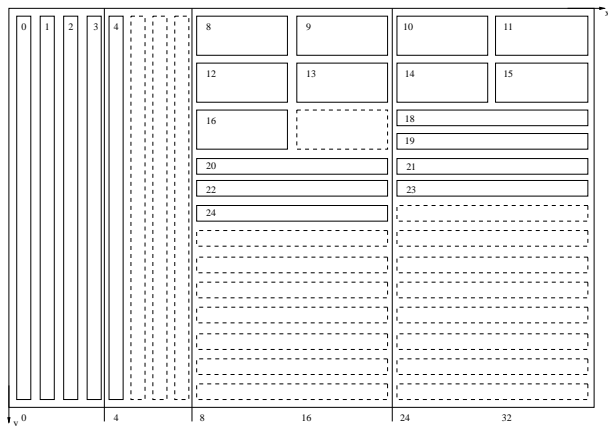
Algorithme de placement

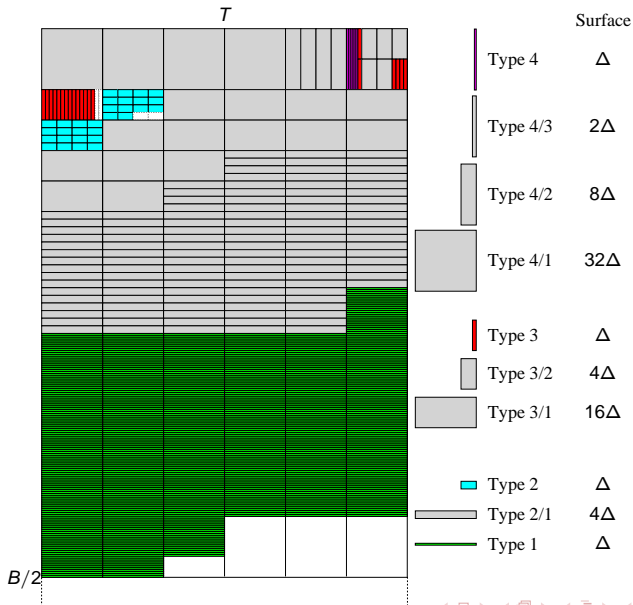


Algorithme de placement



Algorithme de placement





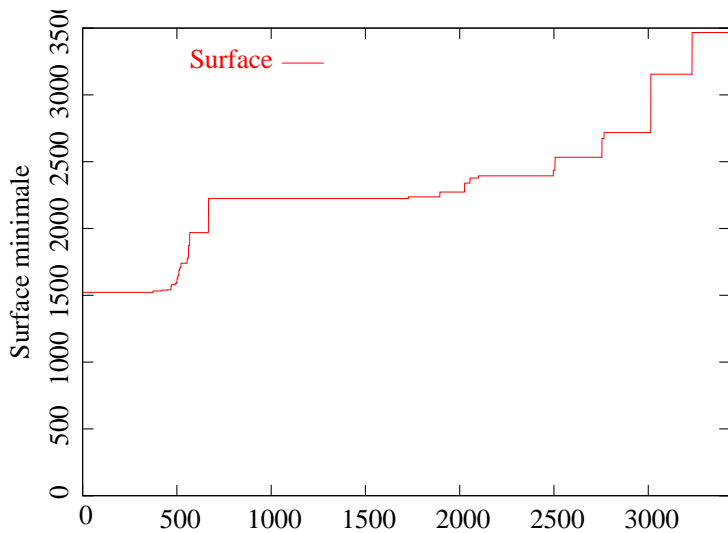


FIG.: Valeurs d'aires obtenues sur l'ensemble des seuils possibles

Bilan

Qualité du plan de fréquence

- ▶ Tolérance de 1% d'éloignement de l'optimum
- ▶ Combinaisons de zones perdues lorsque le seuil diminue
 - ▶ Information importante pour Alcatel

Génération de colonnes

- ▶ Pas forcément exhaustive
- ▶ Passer le seuil d'aire *BT*

Plan de l'exposé

Réseaux optiques

Réseaux satellitaires

Contributions logicielles

▶ **Mascopt**

Une nouvelle bibliothèque

Bibliothèque de modèles et d'algorithmes

- ▶ Graphes
- ▶ Réseaux

- ▶ Sur l'initiative de Michel Syska
- ▶ Deux ingénieurs experts:
 - ▶ Bruno Bongiovanni
 - ▶ Yann Verhoeven
- ▶ Contributions de l'équipe Mascotte

Une nouvelle bibliothèque

Bibliothèque de modèles et d'algorithmes

- ▶ Graphes
- ▶ Réseaux

- ▶ Sur l'initiative de Michel Syska
- ▶ Deux ingénieurs experts:
 - ▶ Bruno Bongiovanni
 - ▶ Yann Verhoeven
- ▶ Contributions de l'équipe Mascotte

Une nouvelle bibliothèque

Origines

- ▶ Validations de nos expérimentations
- ▶ Projet RNRT Porto
 - ▶ Réutilisabilité
 - ▶ Accessibilité
- ▶ Mascopt: boîte à outils réutilisable

Caractéristiques

- ▶ 40 000 lignes de code
 - ▶ Accessible au plus grand nombre
 - ▶ Extensible et Interfaçable

Conception

Modèle de haut niveau

- ▶ Manipulation de structures complexes
- ▶ Facilité d'écriture d'algorithmes
- ▶ Modèle objet

Héritage

- ▶ Algorithmes pour les graphes dans les réseaux
- ▶ Efficacité d'implémentation

// Lecture des graphes

```
GraphChooser gc = new GraphChooser();  
HashMap my_graphs = gc.getGraphHashMapMGL(args[0]);  
DiGraph G = (DiGraph)my_graphs.get(new String("Cable"));  
DiGraph R = (DiGraph)my_graphs.get(new String("Request"));
```

// Routage

```
Routing routing = new Routing(G, R);  
routing.route();
```

// Chemins solutions

```
HashMap pathsForEachRequest = baroni.getPaths();
```


Contributions

Modèles

- ▶ Définition des modèles
- ▶ Expérimentations d'algorithmes

Services

- ▶ Cohérence des données
- ▶ Entrées/Sorties

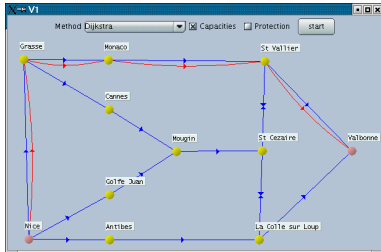
Algorithmes

- ▶ Graphes: flot, chemins, arbres couvrants, ...
- ▶ Réseau: routage, groupage, protection, ...

Interface graphique

Interface graphique

- ▶ Module autonome
- ▶ Affichage des résultats
- ▶ Trace graphique des algorithmes



Interface graphique

Interface graphique

- ▶ Module autonome
- ▶ Affichage des résultats
- ▶ Trace graphique des algorithmes

Technique

- ▶ Java
- ▶ Ilog Cplex (Concert)
- ▶ Licence LGPL
- ▶ Dépôt à l'APP

Bilan

Collaboratif

- ▶ Implémenter nos expérimentations
- ▶ Collaborer avec la communauté

Perspectives

- ▶ Validation de l'existant
- ▶ Construire des interfaces: capitaliser
- ▶ Etoffer les modèles de réseaux

Conclusion

Réseaux WDM

- ▶ Routage, groupage
- ▶ Protection
 - ▶ Modèle plus efficace
 - ▶ Programme linéaire et arrondi aléatoire

Réseaux satellitaires

- ▶ Génération de colonnes
- ▶ Architecture maître/esclave
- ▶ Conception des antennes

Mascopt

- ▶ Caractéristiques et objectifs de la bibliothèque
- ▶ Services et algorithmes

Perspectives

- ▶ Protection dans les réseaux WDM
 - ▶ Conversion de longueurs d'onde
 - ▶ Optimisation des reconfigurations des brasseurs
 - ▶ Vers une politique de protection multicouche ?
- ▶ Mascopt:
 - ▶ collaboration
 - ▶ simulation

