

AlgoTel 2003 (dept-info.labri.fr/algotel03)
Banyuls-sur-mer, 12-14 mai 2003
Exposé invité, mardi 13 mai, 9h-10h

Évaluation de performance et optimisation de réseaux IP/MPLS/DiffServ

par

Fabrice CHAUVET



Jean-Marie GARCIA



Prise en compte de la QoS en optimisation

○ Évolution constante

- | Croissance des communications mobiles et des trafics de données
- | Nouvelles technologies
- | Concurrence exacerbée

=> optimisation périodiques des réseaux

○ Nouvelles applications multimédia

- | Nouveaux services
- | Différenciation de service
- | Garantie de QoS

=> intégrée la QoS dans l'optimisation des réseaux

Alors que les 2 mondes sont séparés

- | évaluation de performance, files d'attente
- | optimisation de réseaux

Sommaire

- Contexte
 - | Projet RNRT OPIUM
- QoS : Qualité de service
 - | Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?
 - | La solution DiffServ
 - | Évaluation de performance
 - | Évaluation par simulation
 - | Évaluation analytique
- Opt. : OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Comment offrir la meilleure QoS au moindre coût ?
 - | La solution MPLS
 - | Routage
 - | Dimensionnement, conception et extension
- Conclusion

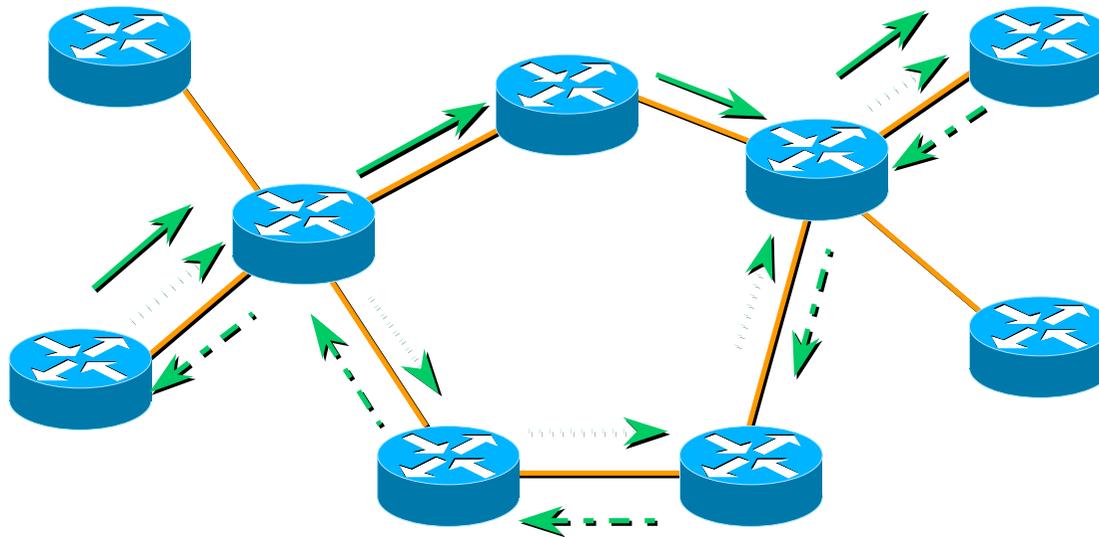
Sommaire

- Contexte
 - | Projet RNRT OPIUM
- QoS : Qualité de service
 - | Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?
 - | La solution DiffServ
 - | Évaluation de performance
 - | Évaluation par simulation
 - | Évaluation analytique
- Opt. : OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Comment offrir la meilleure QoS au moindre coût ?
 - | La solution MPLS
 - | Routage
 - | Dimensionnement, conception et extension
- Conclusion

Contexte : Projet RNRT OPIUM



- Optimisation de la Planification des Infrastructures des réseaux Mobiles
- Objectif
 - | Développer un outil de planification et d'optimisation des réseaux IP avec prise en compte de la Qualité de Service



Contexte : Projet RNRT OPIUM



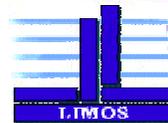
- Optimisation de la Planification des Infrastructures des réseaux Mobiles
- Partenaires

LAAS-CNRS
Toulouse

Bouygues Telecom
Vélizy



Delta-Partners
Toulouse



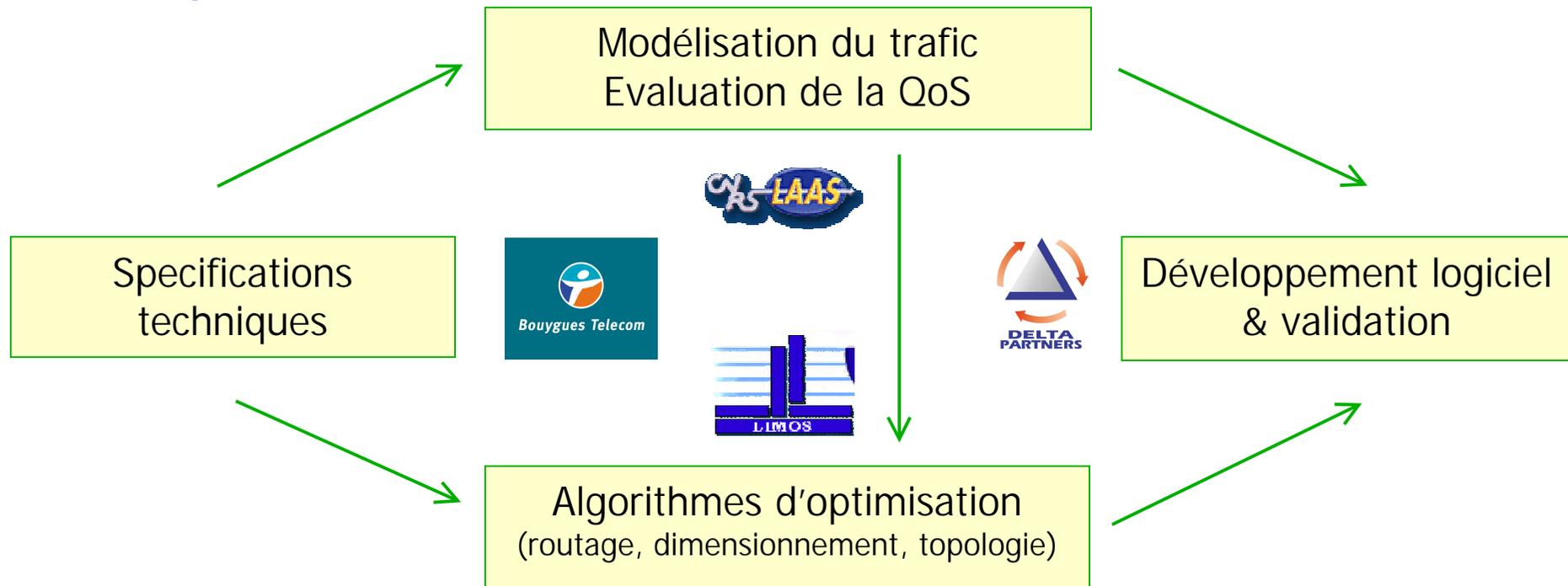
LIMOS
Clermont-Ferrand

- Subventionné par le RNRT (Mars 2001-Juin 2003)

Contexte : Projet RNRT OPIUM



- Optimisation de la Planification des Infrastructures des réseaux Mobiles
- Organisation

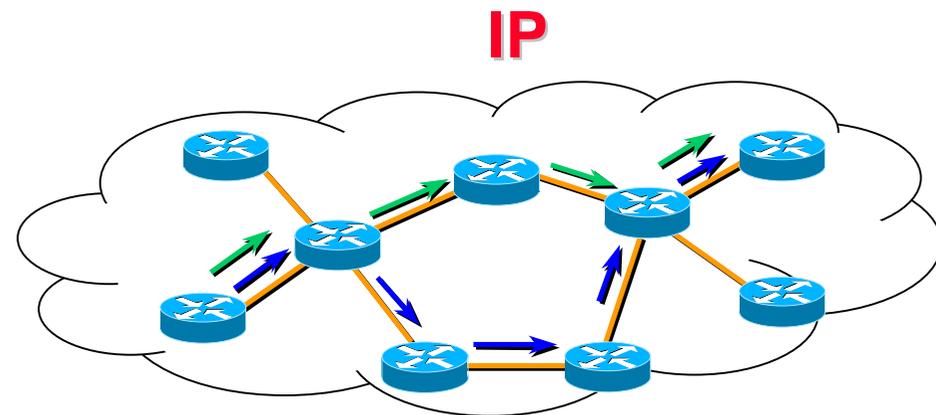


Sommaire

- Contexte
 - | Projet RNRT OPIUM
- QoS : Qualité de service
 - | Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?
 - | La solution DiffServ
 - | Évaluation de performance
 - | Évaluation par simulation
 - | Évaluation analytique
- Opt. : OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Comment offrir la meilleure QoS au moindre coût ?
 - | La solution MPLS
 - | Routage
 - | Dimensionnement, conception et extension
- Conclusion

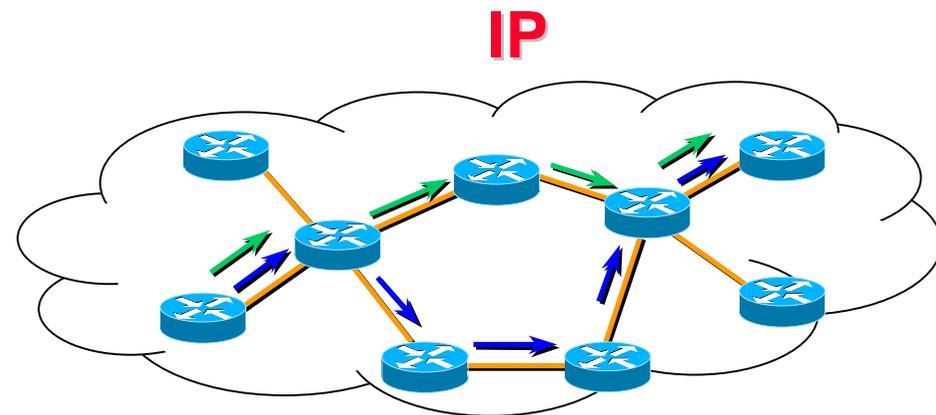
QoS : Pourquoi offrir la QoS sur *Internet* ?

- Principaux indicateurs de Qualité de Service (QoS)
 - | Délai du trafic entre la source et la destination
 - | Pertes de trafic durant le transport sur le réseau
 - | Gigue = écart-type du délai
- Offrir de la Qualité de Service (QoS)
 - = Introduire des mécanismes tenant compte des spécificités des services afin d'atteindre un certain niveau de performances



QoS : Pourquoi offrir la QoS sur *Internet* ?

- Pas de QoS sur les réseaux IP (Internet Protocol)
 - | Paquets IP acheminés de « nœud-en-nœud »
 - | Pas de considération de la nature du contenu, ni de l'état du réseau
 - | Pas de réservation de ressources
 - | Pas de contrôle d'admission
 - | Best Effort, sans garantie de QoS



QoS : Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?

- Arrivée de services de natures différentes
 - | Téléphonie : « temps réel » interactif
 - | Flux vidéo : « temps réel » unidirectionnel
 - | Transferts de données, Email : « Non temps réel »
- Classement des services par rapport à leur sensibilité aux délais et aux pertes

Tolérance aux pertes	Conversation Audio et Vidéo	Messagerie Vocale	Streaming Audio et Vidéo	Fax
Sensible aux pertes	Telnet Jeux interactifs	E-commerce WWW-Browsing	FTP – Images – Paging	Notification d'arrivée d'E-mail – SMS
	Conversationsnel (délai << 1 sec.)	Interactif (délai ~ 1 sec.)	Streaming (délai < 10 sec.)	Background (délai > 10 sec.)

QoS : Pourquoi offrir la QoS sur *Internet* ?

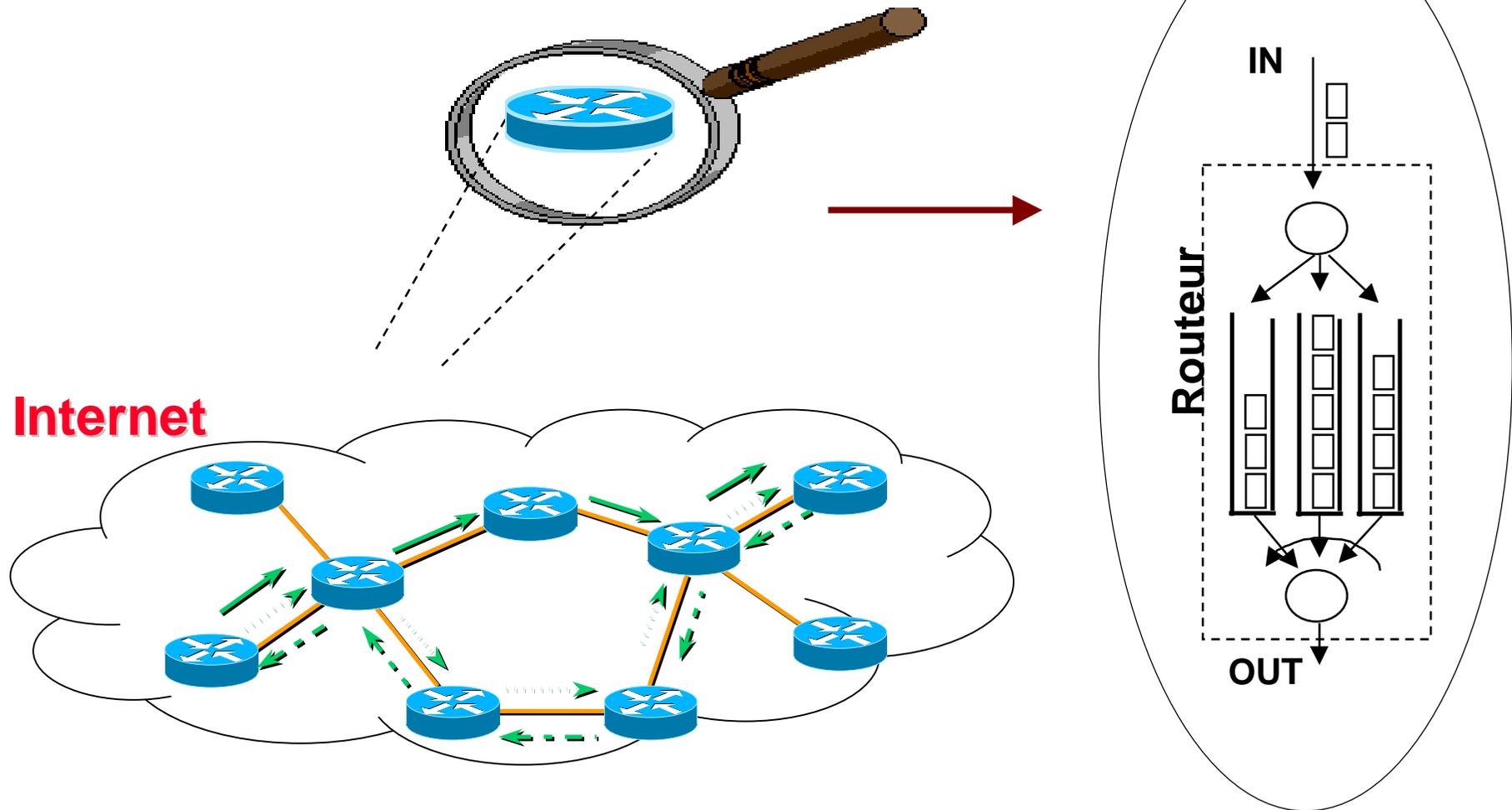
- Intérêts d'introduire de la QoS sur IP
 - | Mutualiser les réseaux IP pour tous types
 - de services et
 - de clients
 - | Offrir une plate-forme multiservice

- Nécessité d'ajout de mécanismes
 - | pour garantir la qualité attendue de bout-en-bout
 - | pour offrir une qualité adaptée à chaque classe de services

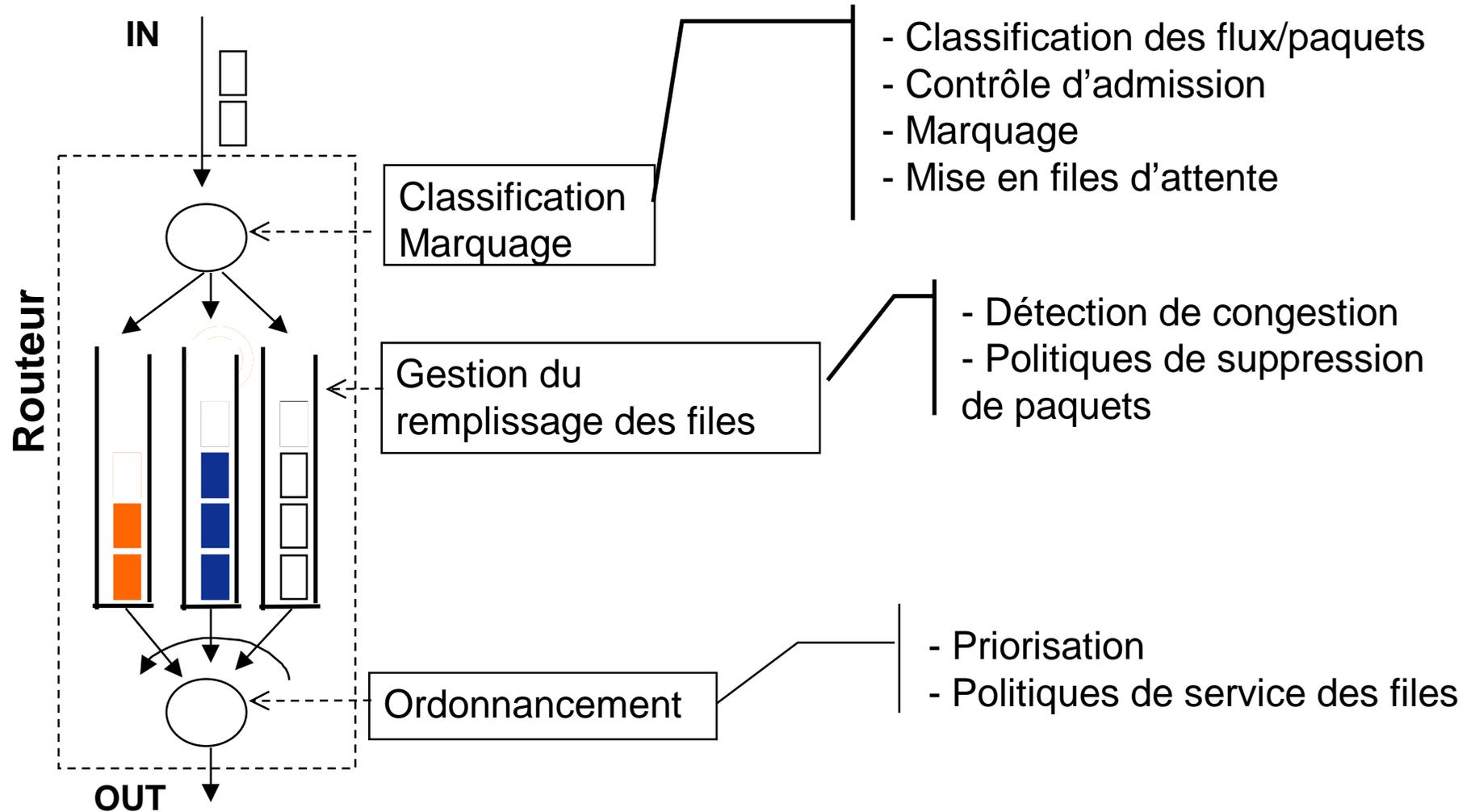
- Cependant, les mécanismes de QoS ne pourront être déployés et garantis que sur la portion de réseau de l'opérateur

- ê Une solution : la technologie DiffServ
 - | distribuée dans les équipements du réseau pour faciliter sa mise en œuvre

- Différenciation de Services (DiffServ)



o Différenciation de Services (DiffServ)

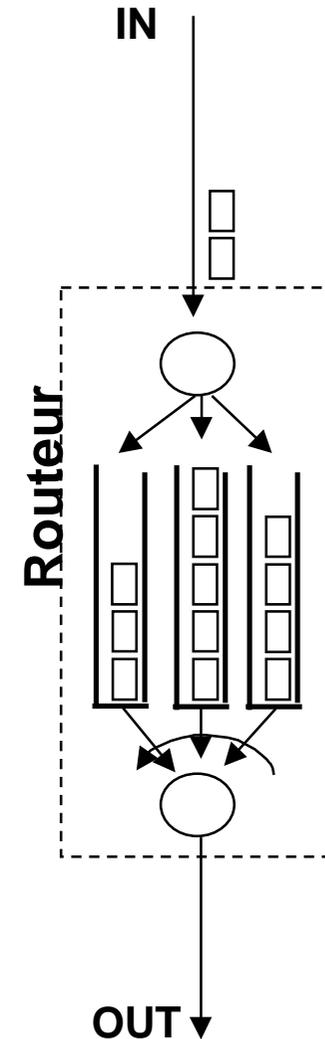


QoS : Évaluation de performance

- IN : Modéliser le trafic
 - | les caractéristiques (arrivée, auto-similarité...)
 - | de chaque classe de services (voix, i-mode™, transfert de fichiers, vidéo streaming...)
 - | les effets des couches protocolaires (TCP/IP)

- Modéliser les mécanismes de différenciation de services
 - | le contrôle d'admission
 - | les politiques de suppression des paquets
 - | les politiques de service...

- OUT : Modéliser QoS
 - | délai, perte, gigue...
 - | de bout-en-bout
 - | par classe de services



QoS : Évaluation de performance

○ POURQUOI ?

- | Connaître la qualité de service offerte
- | Configurer le paramétrage DiffServ
- | Optimiser le réseau en prenant en compte la QoS

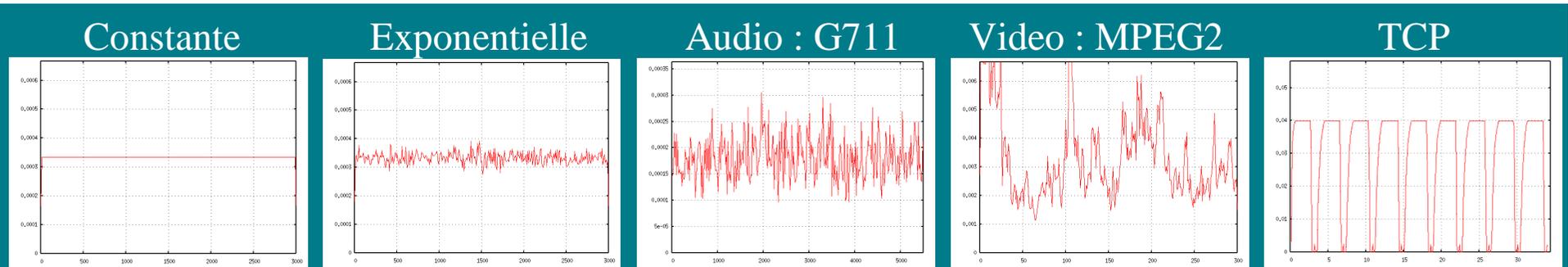
○ COMMENT ?

- | Simulation événementielle
- | Simulation hybride
- | Évaluation analytique

QoS : Évaluation par simulation

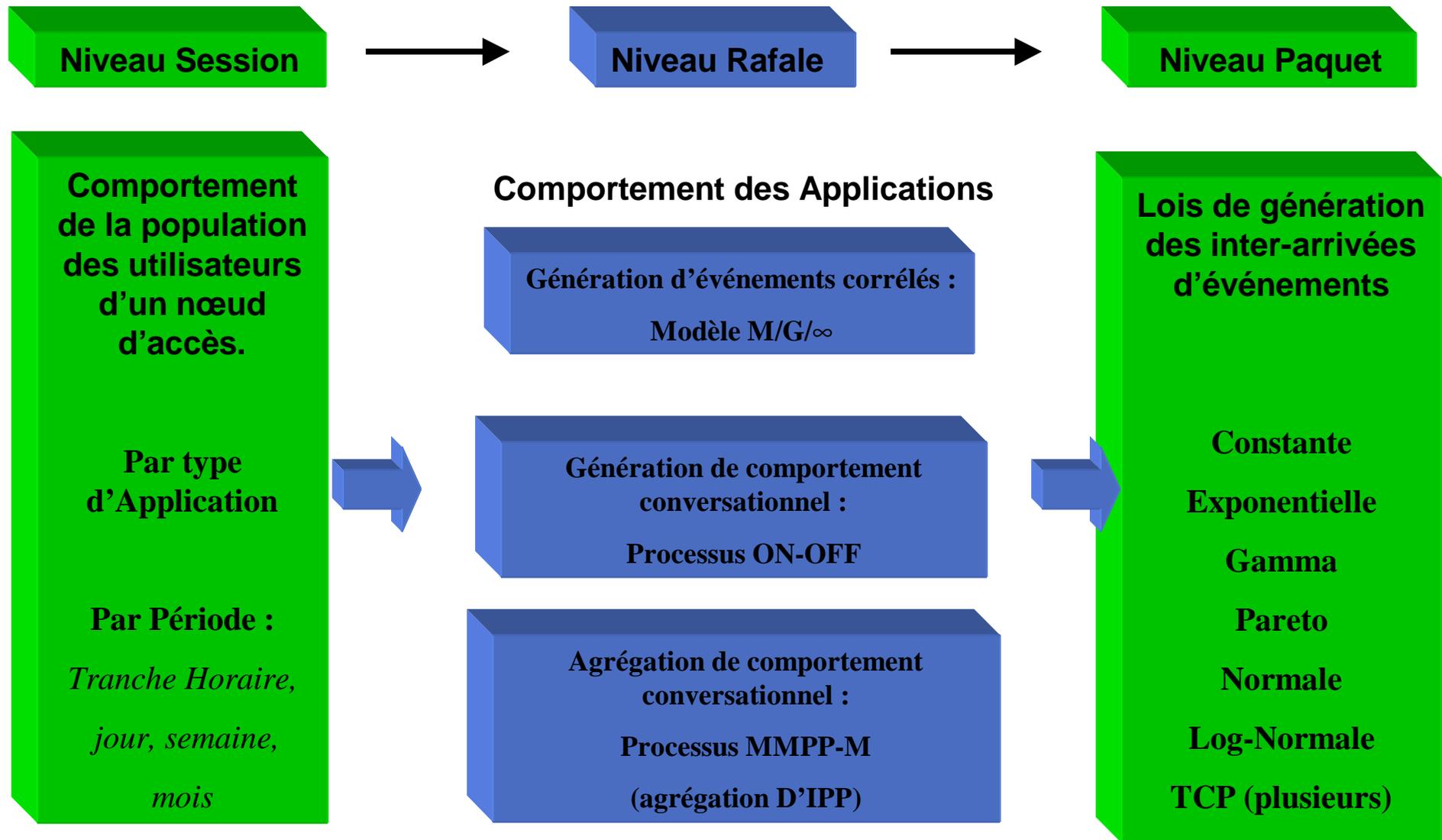
○ Simulation événementielle

- | = reproduction fidèle de la suite des événements
- | Générateurs de trafic
 - Audio (modèles On-Off codecs G711, G726 et G729)
 - Video (MMPP-M Codec H261, MPEG1, MPEG2, MJPEG)
 - Data (Telnet, FTP, SMTP, NNTP)
 - protocole TCP
 - HTTP (Modèle On-Off, HTTP 1.0 et HTTP 1.1),
 - lois générales (Poisson, déterministe, Gamma, Lognormal, Pareto...)
- | Profils très différents (pour une même quantité de données transmises)



Débit instantané de sources multimédia

QoS : Évaluation par simulation



QoS : Évaluation par simulation

○ Simulation événementielle

- | Agrégation des sources de trafic
 - Vidéo, Codec Mpeg1, M/G/oo



- | Reproduction des mécanismes DiffServ
 - Classification des flux/paquets, contrôle d'admission, marquage : CAR...
 - Détection de congestion, suppression de paquets : Tail drop, WRED...
 - Priorisation, politiques de service des files : Priority, WFQ, CBWFQ, LLQ...
- | Validation par expérimentation sur des routeurs CISCO

QoS : Évaluation par simulation

○ Simulation hybride

- | Basée sur la théorie du trafic différentiel
 - une équation différentielle pour chaque flot sur chaque ressource
 - une équation différentielle pour chaque ressource partagée
- | Hybride = événementielle + analytique
 - chaque équation est soit évaluée analytiquement (approximation)
 - soit par la moyenne des événements simulés (mesures des événements discrets)
- | Parallélisation
 - Partition (calcul synchronisé de chaque pas de temps Δt)
 - De simulations indépendantes
- | Intérêts majeurs
 - Compromis adaptable entre temps d'exécution et précision
 - Intégration de trafics événementiels dans un outil de simulation rapide
 - Précision accrue sur des éléments choisis (ressources ou flux)
- | 2 agrégations hybrides
 - Interconnexion de sous-réseaux événementiels et analytiques
 - Superposition de flux événementiels et différentiels (analytiques)

QoS : Évaluation par simulation

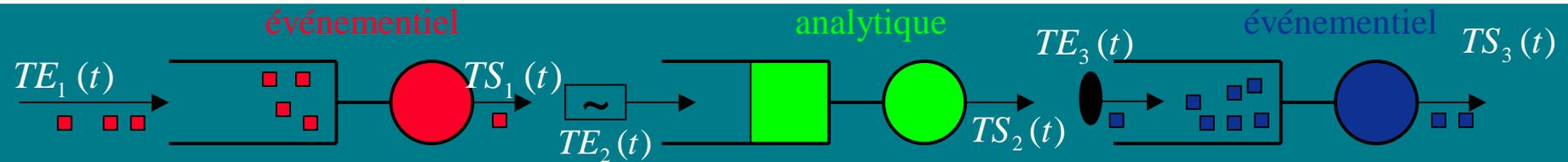
Simulation hybride : exemple explicatif d'interconnexion

Files d'attente M/M/1/∞

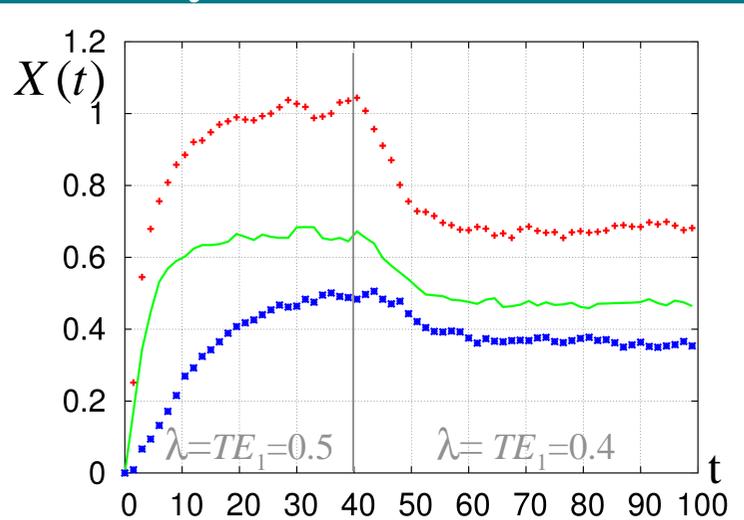
$$\mu_1 = 1$$

$$\mu_2 = 1,25$$

$$\mu_3 = 1,5$$



Hybride (5000 trajectoires)

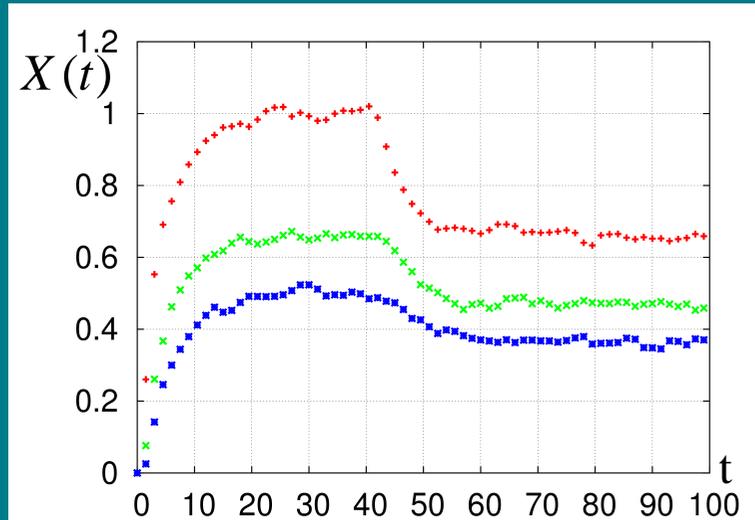


Nœud 1

Nœud 2

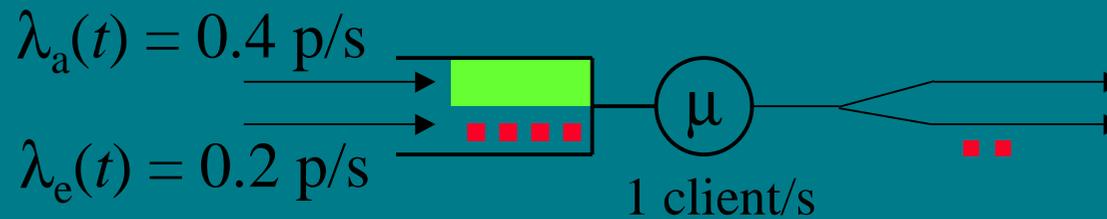
Nœud 3

Événementiel (5000 trajectoires)



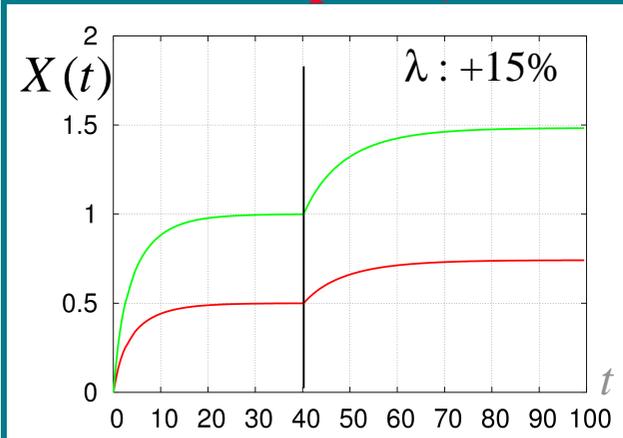
QoS : Évaluation par simulation

- Simulation hybride : exemple explicatif de superposition
 - ┆ Files d'attente $M^k/M/1$



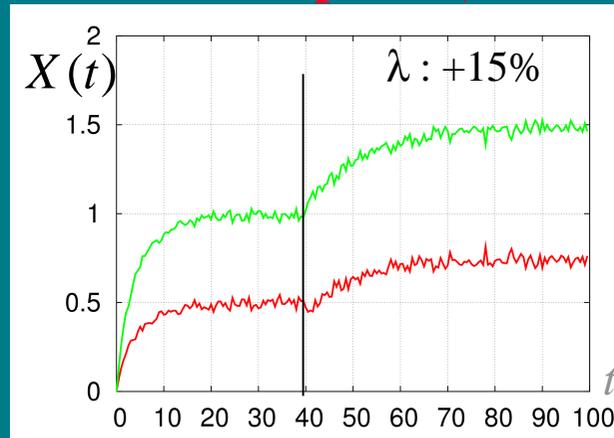
15000 trajectoires

Temps : 0,37s



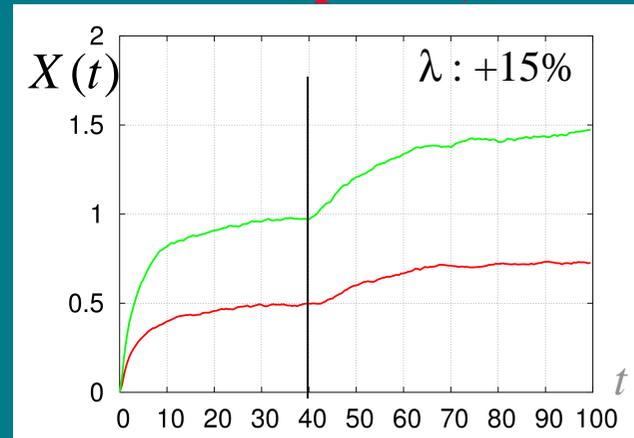
Source 1 analytique
Source 2 analytique

Temps : 10,4s



Source 1 événementielle
Source 2 analytique

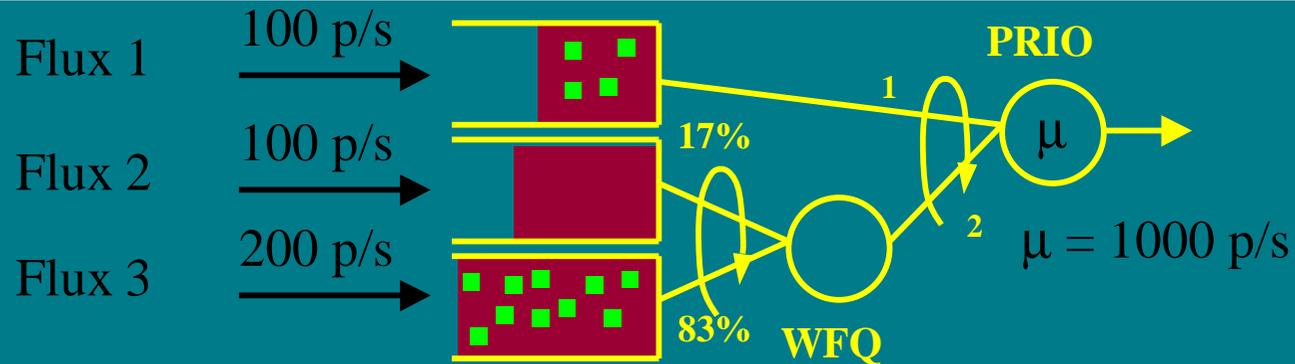
Temps : 38,5s



Source 1 événementielle
Source 2 événementielle

QoS : Évaluation par simulation

- Simulation hybride : exemple de superposition
 - ┆ 3 sources poissonniennes, combinaison de priorité et WFQ

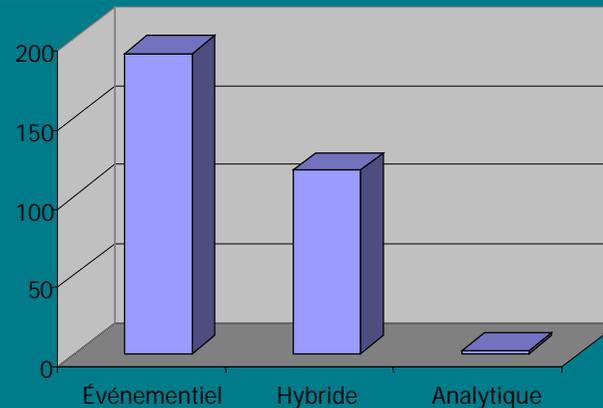


	Tout événementiel	Tout Analytique	Erreur relative	Hybride (flux 1)	Erreur relative	Hybride (flux 3)	Erreur relative
Charge File 1	0.144377	0.144444	0.05%	0.144319	0.04%	0.144434	0.04%
Charge File 2	0.181013	0.188624	4.0%	0.188572	4.0%	0.188579	4.0%
Charge File 3	0.342502	0.333598	2.6%	0.333525	2.6%	0.337970	1.3%

QoS : Évaluation par simulation

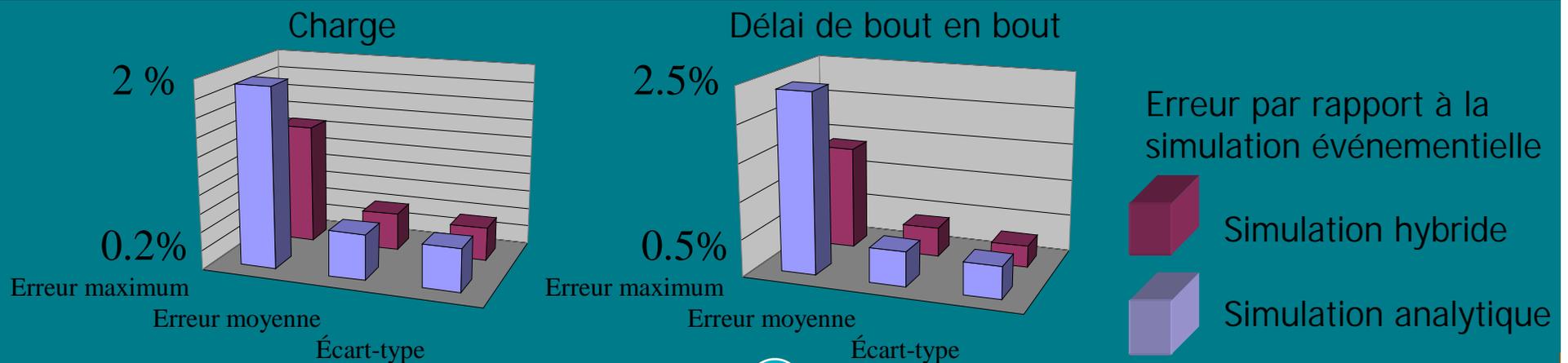
○ De l'événementiel à l'analytique

| Temps d'exécution



Cas extrême hybride avec 31 noeuds événementiels et 8 noeuds analytiques

| Précision



- Modèle IP simple => utilisé dans les algorithmes d'optimisation
 - 1 type de flux, 1 file d'attente
 - | Non borné : $M/M/1$, $M/D/1$, $M/G/1$
 - | bornée : $M/M/1/N$, $M/D/1/N$
- Modèle IP DiffServ
 - 1 type de flux, Multi-classe (plusieurs files)
 - | Priorité $M/G/1$
 - | GPS – WFQ $M/G/1$
- Modèle IP multi-flux
 - Plusieurs types de flux, 1 file d'attente FIFO et dans des files séparées
 - | $M^k/M^k/1$
 - | $M^k/D^k/1$
 - | $M^k/G^k/1$

QoS : Évaluation analytique

- Diversités des flux
 - | Trafic audio
 - Taille de paquets fixe suivant le Codec
 - Taille de paquets faible comparée au reste du trafic
 - | Trafic vidéo
 - Taille de paquets variable dans le temps
 - Distribution de taille de paquet
 - | Trafic internet
 - Grande différence de taille entre telnet et FTP
 - Hypothèse : Temps d'émission d'un paquet dans un routeur est proportionnel à la taille du paquet
- => Temps de service différent
pour des applications différentes
dans un même routeur
- => Intérêts des modèles
- | $M^k/M^k/1$, $M^k/D^k/1$, $M^k/G^k/1$

○ File FIFO $M^k/G^k/1$: en régime stationnaire

┆ Données

- Intensité du flux k (en paquet/s.)
- Taux de service moyen du flux k
- Moment d'ordre 2 du service du flux k

- Facteur d'utilisation du flux k

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}$$

- Facteur d'utilisation global

$$\rho = \sum_{k=1}^K \rho_k$$

- ┆ Charge moyenne totale par flux k

$$X_k = \rho_k + \lambda_k \frac{\sum_{j=1}^K \sigma_j^2 \lambda_j}{2(1-\rho)}$$

Temps de service propre au flux

- ┆ Délai moyen induit pour le flux k

$$T_k = \frac{1}{\mu_k} + \frac{\sum_{j=1}^K \sigma_j^2 \lambda_j}{2(1-\rho)}$$

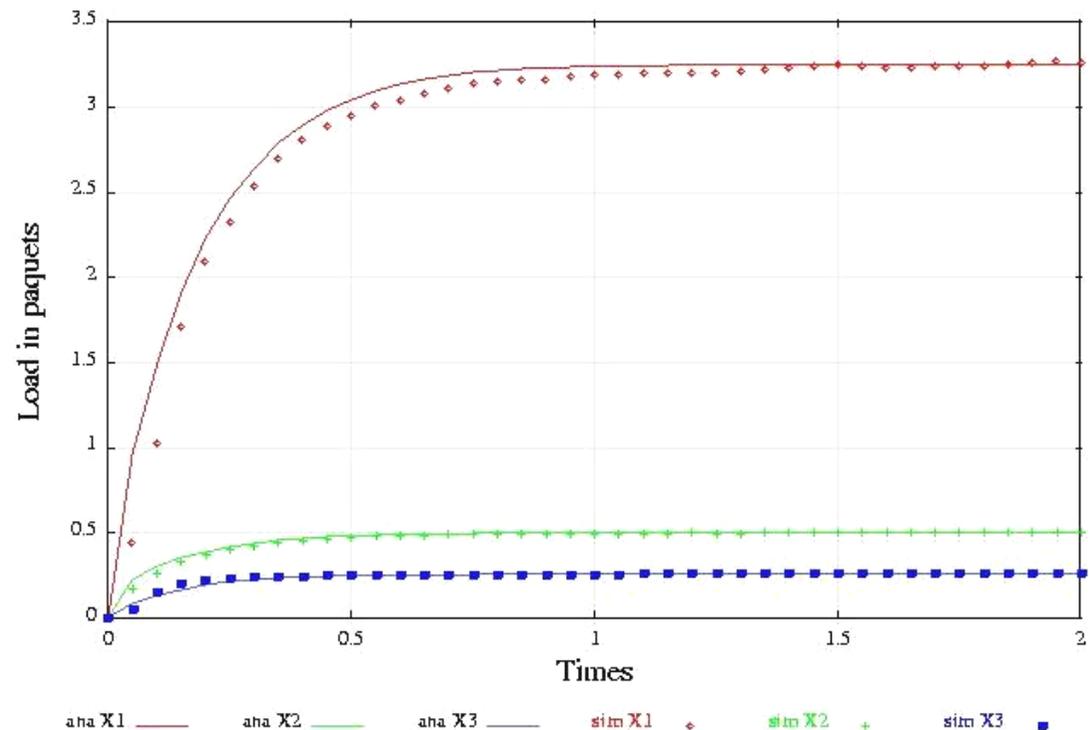
QoS : Évaluation analytique

○ File FIFO $M^k/D^k/1$: en régime stationnaire et transitoire

┆ Données

- Intensité (en paquet/s.) $\lambda_1 = 100$ $\lambda_2 = 10$ $\lambda_3 = 2$
- Taille des paquets (en octet) $\theta_1 = 10$ $\theta_2 = 100$ $\theta_3 = 500$

┆ Charge moyenne totale



Sommaire

- Contexte
 - | Projet RNRT OPIUM
- QoS : Qualité de service
 - | Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?
 - | La solution DiffServ
 - | Évaluation de performance
 - | Évaluation par simulation
 - | Évaluation analytique
- Opt. : OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Comment offrir la meilleure QoS au moindre coût ?
 - | La solution MPLS
 - | Routage
 - | Dimensionnement, conception et extension
- Conclusion

Comment offrir la meilleure QoS à moindre coût ?

○ Principales problématiques d'optimisation

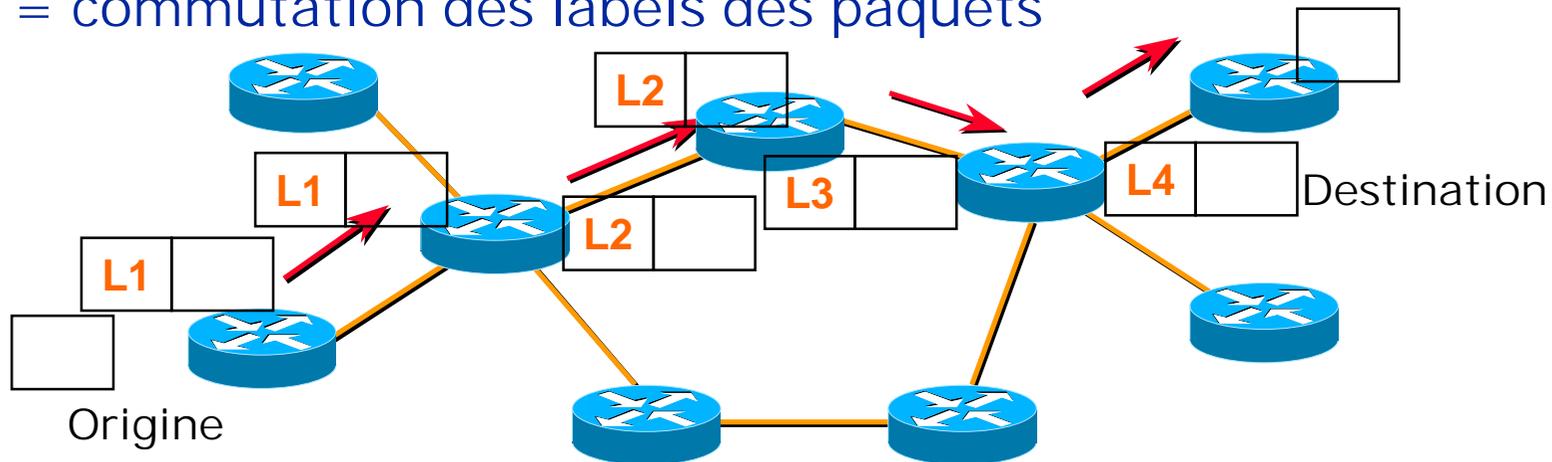
- | Court terme : routage des flux dans le réseau
- | Moyen terme : dimensionnement des ressources du réseau
- | Long terme : conception et extension du réseau

avec prise en compte de la qualité de service

○ Enjeux

- | financier : coûts d'installation et de mise à jour des équipements
- | service : garantie de la QoS de bout-en-bout délivrée aux clients
- | supervision : aide à la décision et à la gestion automatique du réseau

- Open Shortest Path First (OSPF)
= routage de proche en proche au plus court (métrique OSPF)
- Multi-Protocol Label Switching (MPLS)
= commutation des labels des paquets

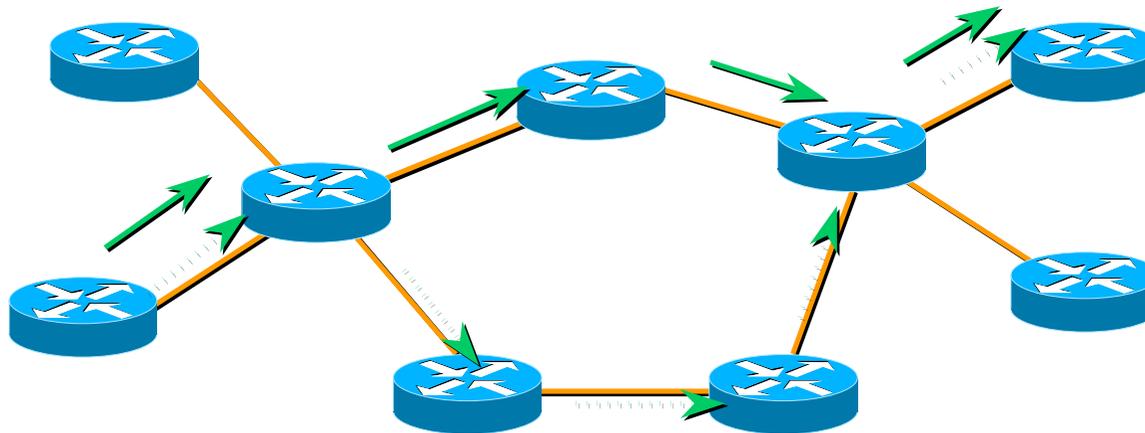


- Intérêts
 - | allègement du routage dans les routeurs internes au réseau
 - | réduction du temps de commutation (grâce aux labels)
 - | encapsulation des paquets IP et compatibilité avec IP
 - | intégration des mécanismes de différenciation de services (DiffServ)
 - | flexibilité de l'ingénierie de trafic

- Les attributs des chemins LSP
 - | Identifiant, origine (nœud Ingress) et destination (nœud Egress)
 - | Identificateur de la classe de routage (FEC) et des classes de service
 - | Bande passante totale du LSP, Nombre de bonds maximum autorisé
 - | Priorité de maintien du LSP (Hold)
 - | Protection (oui ou non) pour l'établissement d'un chemin de secours
 - | Masque d'affinité du LSP avec les ressources utilisées
 - | Routage explicite par certains nœuds éventuels, (Métrique du LSP)
- induisent des contraintes aux problèmes d'optimisation
 - | affectation des flux applicatifs aux classes de service DiffServ
 - | regroupement des flux clients pour la fonction de routage (FEC)
 - | paramétrage des algorithmes de gestion des ressources (DiffServ)
 - | paramétrage des algorithmes de routage (MPLS)
 - | couplage des différents algorithmes de routage (OSPF/MPLS, IS-IS/MPLS)
 - | intégration des différentes couches
 - | routage

○ Objectifs

- | Éviter la congestion
- | Se prémunir contre les pannes
- | Respecter les contraintes de QoS (délai, perte, gigue...)



- Indicateurs considérés

- | Perte $P(N) = \begin{cases} 1 + \frac{(1 - \rho^N)}{(1 - \rho^{N+1})} & \rho \leq 1 \\ \frac{1}{N+1} & \rho = 1 \end{cases}$ (régime permanent d'une file M/M/1/N)

- | Délai $T = \frac{X(\infty)}{\lambda \cdot (1 - P(N))}$ avec $x(\infty) = \begin{cases} \frac{N\rho^{N+2} - (N+1)\rho^{N+1} + \rho}{1 - \rho - \rho^{N+1} + \rho^{N+2}} & \rho \neq 1 \\ \frac{N}{2} & \rho = 1 \end{cases}$

- Calcul de la QoS moyenne

- | Indicateurs évalués pour chaque ressource et pour chaque flux
 - | Agrégés de bout-en-bout
 - produit des (non) pertes sur chaque chemin d'un flux
 - somme des délais sur chaque chemin d'un flux
 - | Additionnés et pondérés par la quantité de paquets sur chaque chemin de chaque flux

- Critère à optimiser

- | Exemple : combinaison linéaire $\Gamma = \alpha \cdot T + \beta \cdot P(N)$

- Contraintes de multiflot
 - | Conservation de flux aux nœuds (aux pertes près)
 - | Quantité de flux à transmettre
 - | Capacité des ressources (liens et routeurs)
 - é Modèles linéaires (classiques) : problème polynomial
- Contraintes de routage
 - | Limitation du nombre de chemins (mono-routage et K-routage)
 - é Modèles linéaires en nombres entiers : problème NP-difficile au sens fort
- Contraintes de QoS
 - | Évaluation explicite de la QoS
 - é Modèles non-linéaires, voire non séparables
- Contraintes de bout-en-bout
 - | Nombre de sauts maximum
 - | QoS de bout-en-bout de chaque flux
 - é problèmes TRES complexes, intractables avec les outils du marché

- LIMOS : Contraintes de multiflot, de K-routage
 - | voir exposé de Philippe MAHEY
- BYTEL : Min Délai moyen de bout-en-bout s.c. de multiflot
 - | Évaluation par un modèle arc-chemin (nombre de chemins TRES grand)
 - | Équivalent à l'évaluation sur un modèle arc-sommet

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{Q} \sum_u q_u \sum_{p \in P(u)} \pi_u^p \sum_{e \in p} \frac{1}{C_e - x_e} &= \frac{1}{Q} \sum_u q_u \sum_{e \in p} \sum_{p \in P(u)} \pi_u^p \cdot \delta_p^e \frac{1}{C_e - x_e} \\
 &= \frac{1}{Q} \sum_{e \in E} \frac{1}{C_e - x_e} \sum_{u \in U} \sum_{p \in P(u)} \pi_u^p \cdot q_u \cdot \delta_p^e \\
 &= \frac{1}{Q} \sum_{e \in E} \frac{1}{C_e - x_e} x_e
 \end{aligned}$$

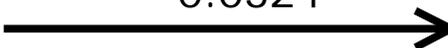
- | Comparé à Min Délai moyen (par arc) s.c. de multiflot

$$\frac{1}{|E|} \sum_{e \in E} \frac{1}{C_e - x_e}$$

- | Comparé à Min Bande passante max s.c. de multiflot (QoS implicite)

$$\min_{e \in E} \left\{ \frac{C_e - x_e}{C_e} \right\} = 1 - \max_{e \in E} \left\{ \frac{x_e}{C_e} \right\}_{C=C_e} = 1 - \frac{\max_{e \in E} \{x_e\}}{C}_{C=C_e} = \frac{\min_{e \in E} \{C_e - x_e\}}{C}$$

- Min Délai moyen de bout-en-bout s.c. de multiflot

	$\max \min_{e \in E} \left\{ \frac{C_e - x_e}{C_e} \right\}$	$\min \frac{1}{ E } \sum_{e \in E} \frac{1}{C_e - x_e}$	$\min \frac{1}{Q} \sum_{e \in E} \frac{x_e}{C_e - x_e}$
Bande passante résiduelle (Mbps)	44.78	33.21	34.98
Bande passante résiduelle relative (en %)	28.8	21.4	22.56
Occupation relative (en %)	71.1	78.5	77.16
		 BP réduite de 8 %	
Délai moyen par arc (en s.)	0.0222	0.0145	
Délai moyen de bout-en-bout (en s.)	0.0629	0.0324	0.02775
		 Délai réduit de 55 %	

- LAAS : Max QoS s.c. de multiflot, de mono-routage, de QoS, de bout-en-bout
- ILSP (Iterative Loading Shortest Path)
 - | Algorithme de type mille feuilles : ajout successif de quantum de trafic
 - | Quantum routé au plus court au sens du critère mis à jour
 - | Génère des routes (et les chemins de secours) pour chaque flux (pas de contraintes sur le nombre de routes)
- OLS (Optimal Load Sharing)
 - | Gradient projeté sur les routes (primaires) sélectionnés par ILSP (modélisation arc-chemin)
 - | Répartit le trafic sur les chemins de chaque flux
- ACO (Ant Colony Optimisation)
 - | Heuristique de type fourmis
 - | Tirage aléatoire indépendant d'une route pour chaque flux
 - | Tirage pondéré initialement par la répartition du flot de OLS, puis par la QoS induite

○ Comparaison par rapport à Pcalc

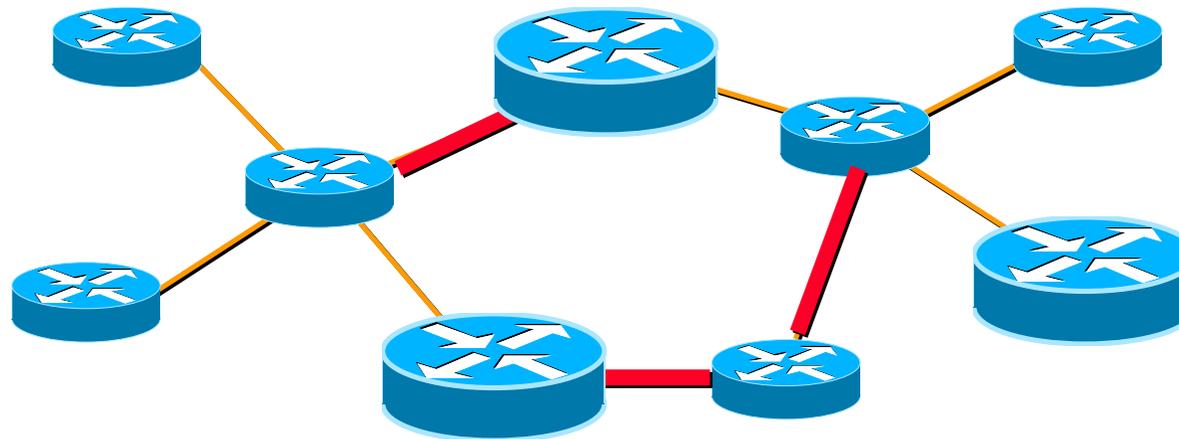
- | Algorithme glouton intégré dans Traffic Engineering par Cisco Networks
- | Sélectionne le plus court chemin de l'IGP (OSPF ou IS-IS) de plus grande bande passante et de nombre minimum de sauts

			Pcalc		ILSP-OLS-ACO	
Nœud	Lien	Flot	Temps d'exécution (en s.)		Temps d'exécution (en s.)	
				Non routé		Non routé
5	6	5	0,01	0	0,01	0
15	21	49	0,03	2	2,08	0
30	75	92	0,06	1	8,63	0
30	75	900	0,49	42	76,74	0

			Pcalc		ILSP-OLS-ACO	
Précision de la QoS	Moyenne de la violation de QoS		Moyenne de la violation de QoS		Moyenne de la violation de QoS	
		Non routé		Non routé		Non routé
1%	25%	15	0%	0	0%	0
0,1%	48,9%	87	0%	0	0%	0
0,01%	50%	104	0,06%	3	0,06%	3

- Objectifs

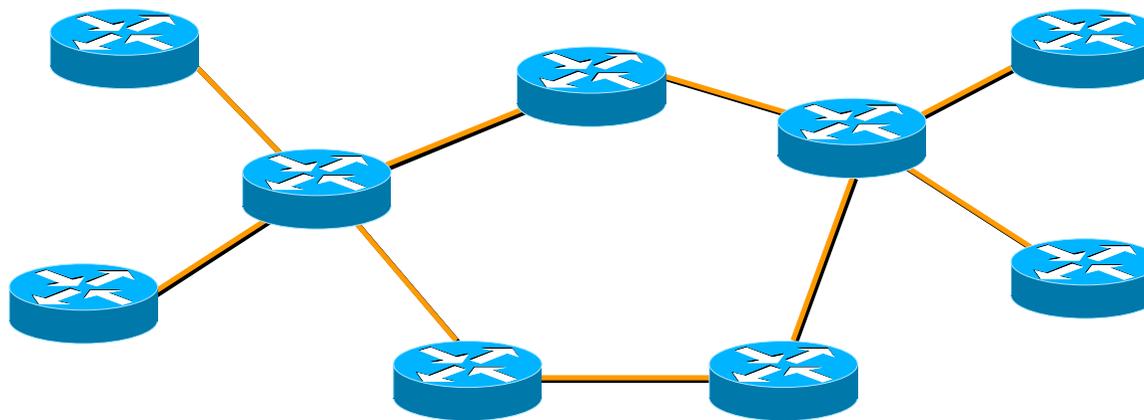
- | Dimensionner les équipements du réseau en vue de l'évolution du trafic
- | Absorber les accroissements de trafic
- | Assurer la fiabilité du réseau
- | Minimiser les coûts d'infrastructures



Opt. : Conception et extension

○ Objectifs

- | Optimiser la planification de l'installation des équipements
- | Répondre aux perspectives d'évolutions de l'opérateur (nouvelles technologies, nouveaux services)
- | Minimiser les coûts d'infrastructure



○ Algorithme tenant compte

- | de la volumétrie prévue des trafics
- | des contraintes financières de l'opérateur
- | des contraintes technologiques (fiabilité, architecture)

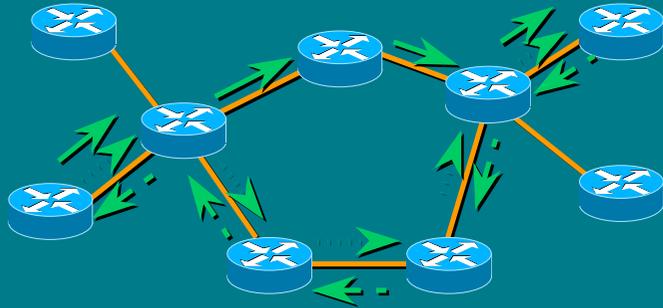
Sommaire

- Contexte
 - | Projet RNRT OPIUM
- QoS : Qualité de service
 - | Pourquoi offrir la QoS sur Internet ?
 - | La solution DiffServ
 - | Évaluation de performance
 - | Évaluation par simulation
 - | Évaluation analytique
- Opt. : OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Comment offrir la meilleure QoS au moindre coût ?
 - | La solution MPLS
 - | Routage
 - | Dimensionnement, conception et extension
- Conclusion

Conclusion

- Cadre d'évaluation de la QoS
 - | Nécessité de prendre en compte la QoS pour IP
 - | Évaluation précise par simulation
 - pour connaître précisément la QoS offerte
 - | Évaluation analytique
 - pour être intégrée dans l'optimisation
 - avec nécessité de simplification à valider a posteriori par simulation
- OPTIMISATION DE RÉSEAUX
 - | Nécessité d'être compétitif
 - | Prise en compte de la QoS difficile

mais FONDAMENTALE



AlgoTel 2003 (dept-info.labri.fr/algotel03)
Banyuls-sur-mer, 12-14 mai 2003
Exposé invité, mardi 13 mai, 9h-10h

Évaluation de performance et optimisation de réseaux IP/MPLS/DiffServ

par

Fabrice CHAUVET



Jean-Marie GARCIA

