



Université Mohamed Kheider Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie
Département d'informatique

Cours de
Master1
Option: RTIC

QUALITÉ DE SERVICE (QS)

Par: Mme.Boukhrouf

2019/2020

Plan du cours

- **Systemes communicants multimédia**
 - Principes et architectures
 - Systemes de streaming et ToIP
 - Protocoles RTP/RTCP, SIP, RTSP
- **Qualité de service**
 - Principes et mecanismes
 - Classification, ordonnancement, gestion de files d'attente, controle de congestion, controle d'admission, routage avec QoS
 - Protocoles IntServ, DiffServ

1. Systèmes communicants multimédia

QS par Mme Boukhlof

3

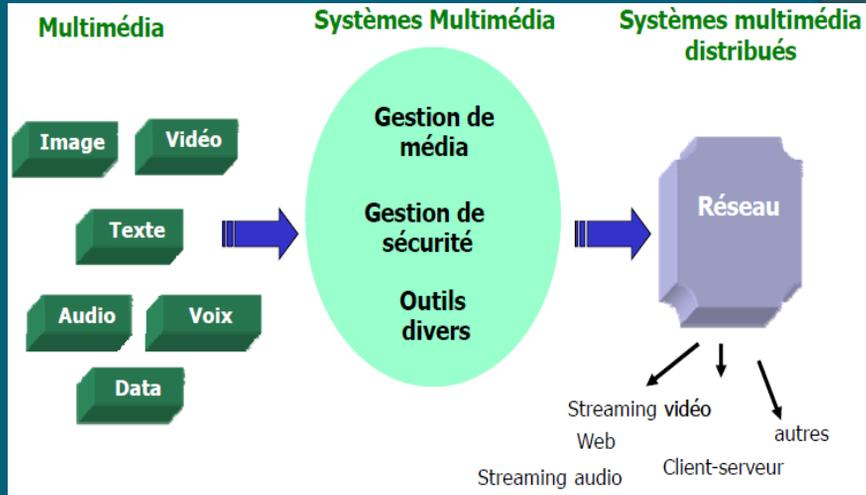
Définitions

- **Multi** : indique plusieurs
- **Multimédia (informatique)** : présentation d'une application (généralement interactive) qui intègre des éléments tels que texte, graphiques, vidéo, son.
- **Média** : moyen/support de diffusion, de distribution ou de transmission de signaux porteurs de messages écrits, sonore, visuels (presse, cinéma, radio, TV...)
- **Système multimédia** : ordinateur et logiciels associés utilisés pour faire fonctionner une application multimédia.
- **Système multimédia distribué** : un SMD qui fonctionne sur un ensemble d'équipements interconnectés par un réseau de communication.

QS par Mme Boukhlof

4

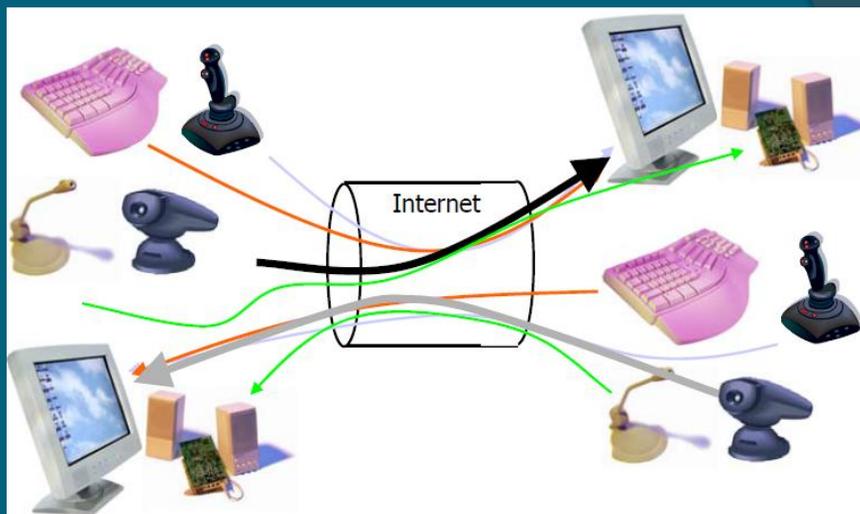
Concepts liés au *Multimédia*



QS par Mme Boukhlouf

5

Equipements filaires pour le *Multimédia*



QS par Mme Boukhlouf

6

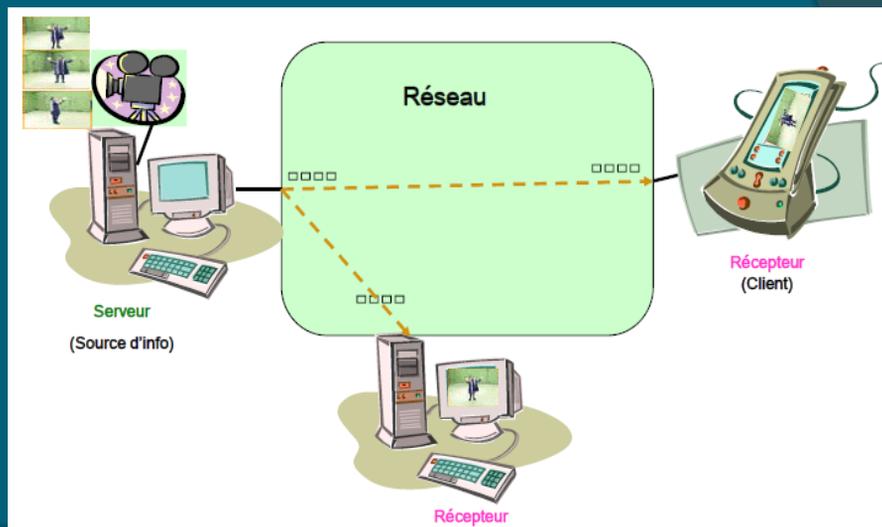
Equipements sans fil et mobiles pour le Multimédia



QS par Mme Boukhlof

7

Principe général des applications multimédia distribuées



QS par Mme Boukhlof

8

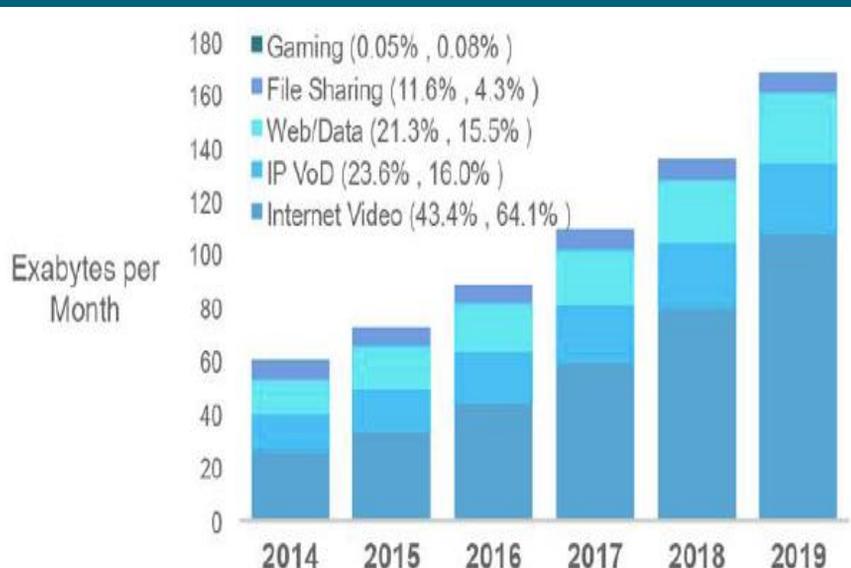
Classification des applications multimédia

- **Selon l'interactivité**
 - Non interactives : radio et TV, vidéo à la demande, e-learning...
 - Interactives : vidéo surveillance, téléguidage, vidéo conférence téléphonique, télé-médecine, téléachat, jeux...
- **Selon la criticité**
 - (Très) critiques : guidage et supervision, télé opération chirurgicale...
 - (Moyennement) critiques : vidéo conférence, bourse, téléachat
 - Non critiques : TV, radio, jeux...
- **Selon les timings (temps réel)**
 - *Streaming de données audio/vidéo préalablement stockées*
 - *Streaming 1-à-m temps réel de données audio-vidéo*
 - Applications interactives d'audio/vidéo

QS par Mme Boukhlouf

9

Evolution du trafic Internet



1 Exabytes = 10¹⁸ bytes

Source: Cisco VNI Global IP Traffic

QS par Mme Boukhlouf

10

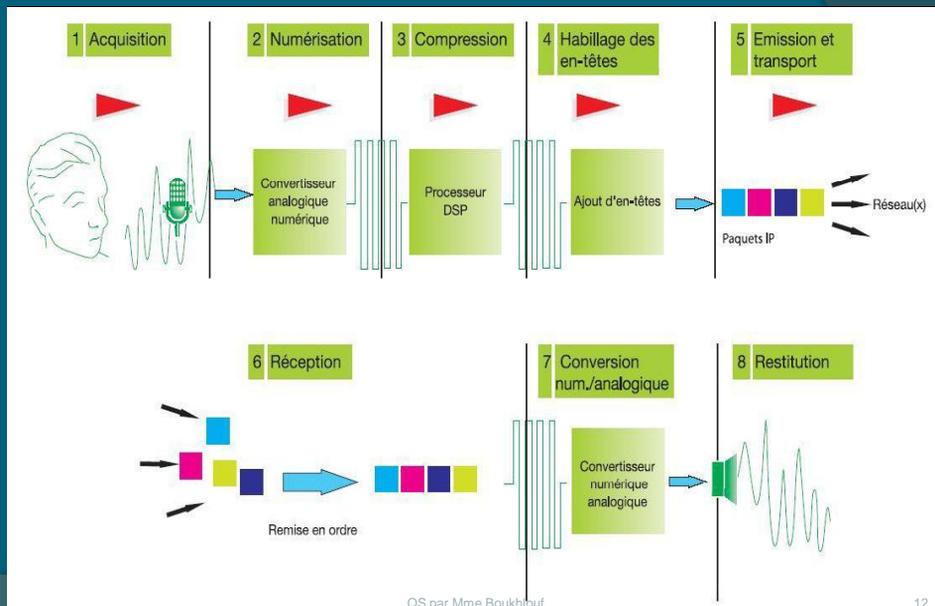
Numérisation et compression

- Support audio/vidéo pas nécessairement numérique
 - Numériser le contenu
- Données numérisées peuvent être de grande taille
 - Compresser
 - Codec
- Compression/DECompression
- Choix du codec souvent imposé par la bande passante du réseau
 - Compression sans perte
 - Compression avec perte

QS par Mme Boukhlof

11

Principes



QS par Mme Boukhlof

12

Numérisation audio

- Pulse Code Modulation – PCM
- Techniques de compression
 - Voix
 - GSM (13 kb/s), G.729 (8 kb/s), G.723 (6,4 et 5,3 kb/s)
 - techniques propriétaires
 - Musique qualité CD
 - MP3
 - 96, 128 et 160 kb/s
 - découpage en fichiers indépendants
 - Streaming
- Autres : AAC, Vorbis, ...

Numérisation vidéo

- Vidéo
 - Suite d'images visualisées à un certain débit
- Image
 - Suite de pixels
- Pixel
 - Luminance et couleur
 - Encodé en un nombre de bits

Compression vidéo

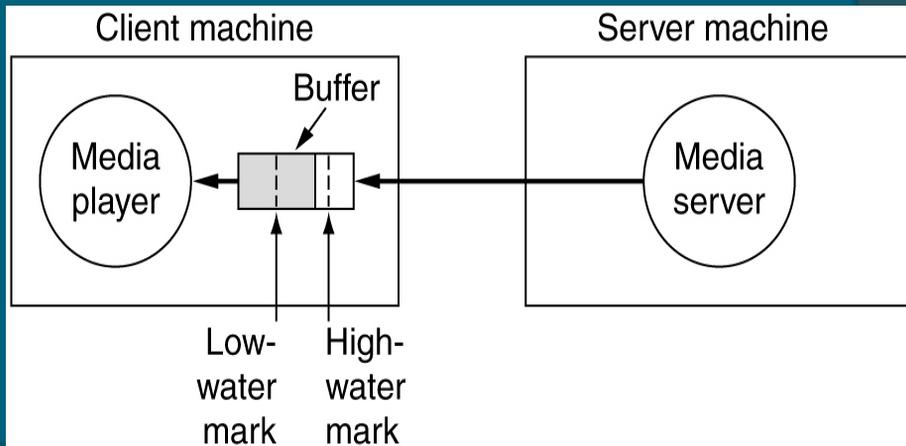
- Redondances
 - Redondance spatiale
 - Redondance temporelle
- Standards de compression MPEG
 - MPEG 1 qualité vidéo CD-ROM – 1,5 Mb/s
 - MPEG 2 vidéo DVD haute qualité – TV numérique – 3-6 Mb/s
 - MPEG 4 tt type d'applications multimédia
 - Inspirés du standard JPEG
- Autres standards
 - H.261, 262, 263, 264
 - Propriétaires

Streaming audio/vidéo

- Définitions
- Lecture d'un flux audio/vidéo à mesure qu'il est diffusé
 - Pas besoin d'avoir téléchargé tout le fichier
 - Le téléchargement se poursuit en arrière plan
 - Stockage des données provisoire
 - Alternative au téléchargement
- Stocké
 - Le fichier demandé est préalablement stocké sur un serveur
 - e.g. vidéo à la demande
- Temps réel / live
 - Similitude avec la radio/télévision diffusé
 - Traitement et diffusion du contenu en temps réel

Streaming audio/vidéo

- Le logiciel client « média player » met les données dans un buffer, et les joue ensuite



QS par Mme Boukhlouf

17

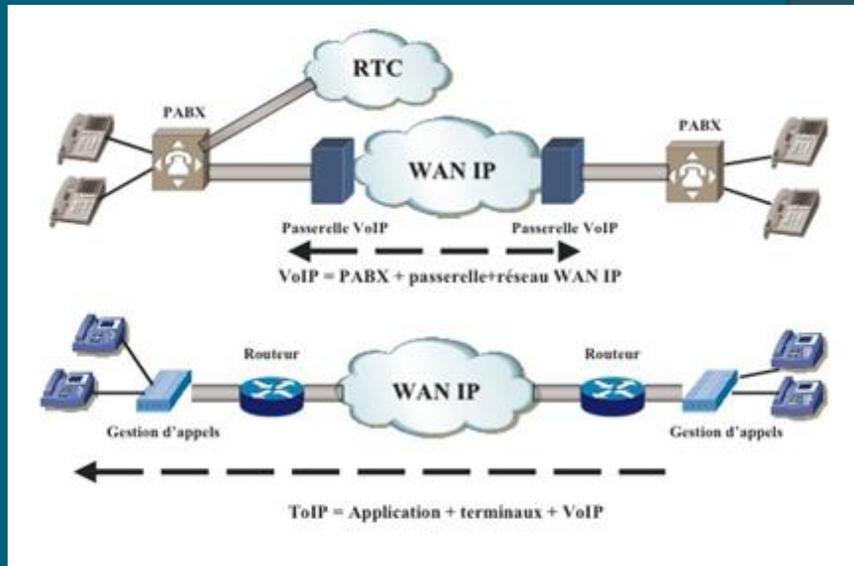
Téléphonie sur IP ToIP

- Différences entre la VoIP et la ToIP
- Voix sur IP
 - Faire passer un signal audio dans le monde IP
- Téléphonie sur IP
 - Application de la VoIP
 - Fonctions et services téléphoniques autour de la VoIP
- qui permettent la téléphonie
 - Architecture de téléphonie sur IP

QS par Mme Boukhlouf

18

Différences entre la VoIP et la ToIP



QS par Mme Boukhlouf

19

Avantages de la ToIP

- Utilisateurs
 - Coût
- Longues distances
 - Flexibilité
- Mobilité du téléphone IP
- Mobilité physique et matérielle
- Opérateurs
 - Pas de régulation forte
 - Gestion d'un seul réseau
- Voix – données
- Coût
- 60% de la bp allouée à un circuit voix (RTC) non utilisée

QS par Mme Boukhlouf

20

Protocoles VOIP

- Les principaux protocoles utilisés pour l'établissement des connexions en voix sur IP sont :



QS par Mme Boukhlof

21

Equipements pour la ToIP

- Téléphones
 - Softphones
- Logiciels à installer sur un système informatique
 - Hardphones
- Téléphones classiques disposant d'une prise Ethernet
- Fichiers de configuration

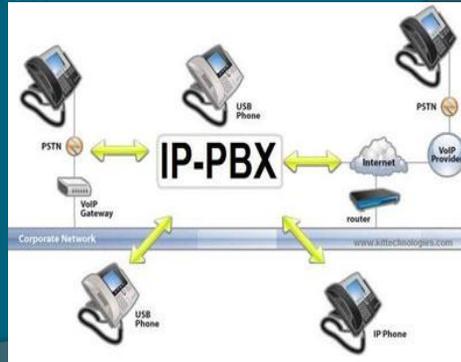


QS par Mme Boukhlof

22

Equipements pour la ToIP

- Autocommutateurs privés
 - IP-PBX (PABX – Private Automatic Branch eXchange)
 - Gestion et interconnexion locales des postes
 - Fourniture de services téléphoniques
 - Matériel / logiciel



QS par Mme Boukhlouf

23

Principe de la téléphonie sous IP

- Communication téléphonique : parole, silence, parole...
 - Normalement : il faut 64 kb/s pendant la phase de parole
- Les paquets sont générés uniquement pendant les phases de parole
 - Message = un morceau de parole (de 160 octets de données) + entête
- Chaque message est encapsulé dans un segment UDP.
- L'application envoie des segments UDP via la socket-UDP toutes les 20 ms durant les phases de parole. Le débit d'envoi est de 8 kb/s.
- Jusqu'à 10% (voire 20%) de perte de paquets est tolérable.
- Les paquets qui affichent un retard supérieur à 400 ms sont rejetés à la réception.
- La gigue est gérée par l'utilisation d'estampilles de paquets, des numéros de séquence et en retardant certains paquets avant d'être écoutés par le récepteur.

QS par Mme Boukhlouf

24

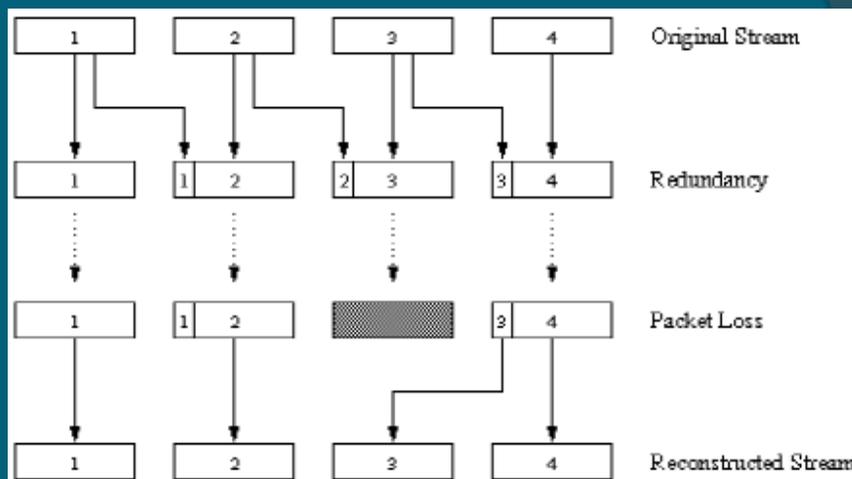
Recouvrement en cas de perte de paquets

- Comme les retransmissions sont inappropriées dans un contexte temps réel, une stratégie de recouvrement doit être mise en place. Dans le cas de téléphonie sous IP, deux techniques sont utilisées pour réduire l'impact des pertes : FEC (*Forward error correction*) et *Entrelacement*.
- **Recouvrement par FEC** : Ajouter de l'information de redondance en mixant les valeurs de plusieurs morceaux dans un paquet.

QS par Mme Boukhlof

25

Recouvrement par FEC



QS par Mme Boukhlof

26

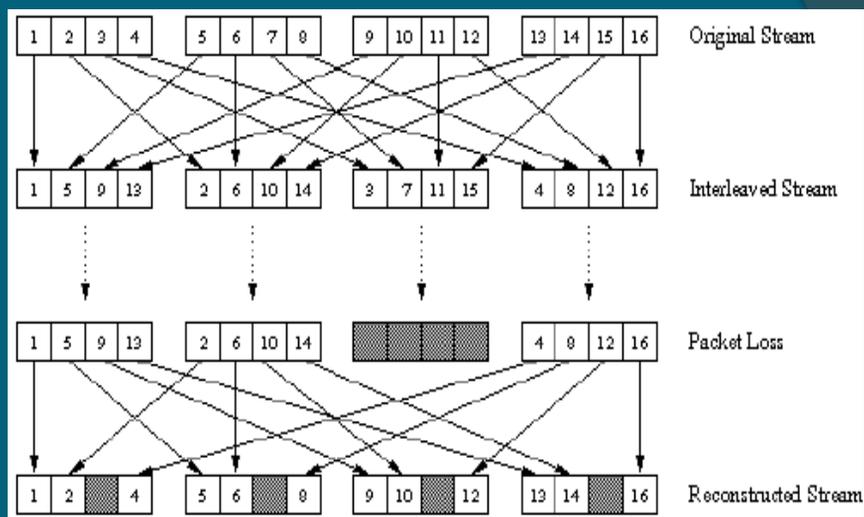
Recouvrement par entrelacement

- Pas de redondance, mais il peut engendrer des retards dans le playout.
- Diviser les périodes de 20 msec de parole en périodes plus petites de 5 ms et entrelacer les petits morceaux
- En cas de perte, utiliser des morceaux incomplets (plutôt que de perdre des gros morceaux entiers).

QS par Mme Boukhlof

27

Recouvrement par entrelacement



QS par Mme Boukhlof

28

Caractéristiques des applications multimédia

- Manipulation de grandes quantités de données 'continues'
- Des débits minimum sont nécessaires
- Livraison des informations en respectant des timings
- Les applications interactives nécessitent des temps d'aller retour faibles
- Coexistence (et partage de ressources) avec des applications non multimédia
- Ressources requises :
 - Processeurs (à haute performance)
 - Serveurs puissants
 - Mémoire principale dédiée (pour la bufferisation par le client)
 - Mémoire disque à grande capacité
 - Bande passante de réseau avec un minimum de latence

Exigences des applications multimédia

- Exigences : délai, gigue, débit
- Les valeurs exigées changent avec l'évolution de l'offre technologique:
 - On ne demande pas les mêmes choses pour une connexion Internet à 56 kb/s qu'à une connexion à 10 Mb/s.
- L'utilisateur (humain) sait à la fois être exigeant et s'adapter à ce qu'on lui offre.
- Tendance actuelle de la demande : des délais de plus en plus courts, des débits de plus en plus élevés, des taux de perte de plus en plus faibles.

Exigences des applications multimédia

■ Téléphonie et audio conférence

– Faible débit (~ 64 Kb/s), mais les délais doivent être courts (< 250 ms)

■ Vidéo à la demande

– Débit élevé (~ 10 Mb/s), latence non critique

■ Vidéo conférence

– Débit élevé pour chaque participant (~1.5 Mb/s), délai faible (< 100 ms), états synchronisés.

■ Répétition musicale distribuée

– Débit élevé (~1.4 Mb/s), très faible latence (< 100 ms), haute synchronisation de média (dérive entre son et image < 50 ms)

■ Jeux

– Un délai maximum de 70 ms est plus apprécié par les joueurs qu'un délai de 200 ms.

– La gigue devra être de 20 ms maximum, car le joueur adapte sa stratégie à un délai fixe (en tirant sur les cibles par exemple). La gigue élevée conduit à un jeu ennuyeux.

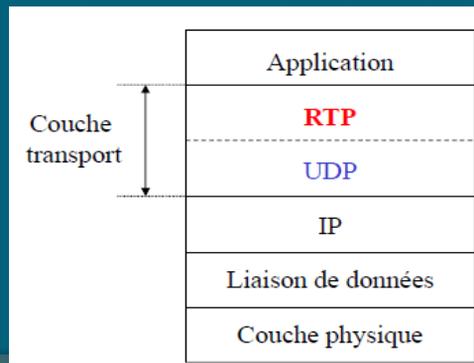
QS par Mme Boukhilouf

31

Protocoles pour le transport des données multimédia

Real-Time Protocol (RTP) (1/3)

- RTP : une solution pour les AMM avec Internet en best effort
- Fonctionne essentiellement au dessus de UDP



QS par Mme Boukhilouf

32

Real-Time Protocol (RTP) (2/3)

Type de flux	Numéro de séquence	Estampille	Identificateur de source de synchronisation	Données
--------------	--------------------	------------	---	---------

Entête de paquet RTP

- Type de flux (7 bits)
- Numéro de séquence (16 bits) : utilisé pour détecter les pertes.
- Estampille (32 bits) : fournit l'instant d'échantillonnage du premier octet du paquet.

Elle est utilisée pour absorber la gigue.

- Identificateur de source de synchronisation (32 bits) : identifie la source du flux.

Chaque flux dans RTP a un identificateur affecté par la source de manière aléatoire (mais distinct de ceux déjà existants) au début du flux.

QS par Mme Boukhlof

33

Real-Time Protocol (RTP)(3/3)

● Champ Type de flux

Quelques types de flux audio supportés par RTP

Type de flux	Format audio	Echantillonnage	Débit
0	PCM	8 KHz	64 Kb/s
1	1016	8 KHz	4.8 Kb/s
3	GSM	8 KHz	13 Kb/s
7	LPC	8 KHz	2.4 Kb/s
9	G.722	8 KHz	48-64 K/ps
14	MPEG Audio	90 KHz	----
15	G.728	8 KHz	16 Kb/s

Quelques types de flux vidéo supportés par RTP

Type de flux	Format vidéo
26	Motion JPEG
31	H.261
32	MPEG1 Vidéo
33	MPEG2 Vidéo

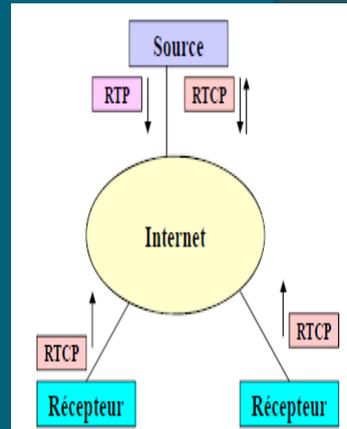
QS par Mme Boukhlof

34

Real-Time Control Protocol (RTCP)(1/2)

- RTCP permet d'acheminer des paquets contenant des rapports concernant un flux multimédia entre une source et un récepteur.

- Les rapports contiennent des statistiques sur : le nombre de paquets transmis, le nombre de paquets perdus, la gigue de transfert...
- Les paquets rapports sont envoyés par les récepteurs, éventuellement à la demande des sources.
- Les paquets rapports sont utilisés par la source pour modifier/adapter son rythme aux conditions du réseau.



QS par Mme Boukhlof

35

Real-Time Control Protocol (RTCP) (2/2)

- Si chaque récepteur envoie ses paquets-rapports à tous les autres sources/récepteurs du flux : surcharge importante du réseau.

- RTCP ajuste les intervalles de temps entre rapports en fonction du nombre de récepteurs participant à un flux
- Typiquement, la bande passante utilisée pour RTCP est limitée à 5% de la bande passante de la session. Cette fraction est partagée entre les demandes de rapports émises par les sources (25%) et les rapports émis par les récepteurs (75%)

– T_s : période de transmission de paquet RTCP par la source :

$$T_s = \frac{\text{Nombre de sources}}{5\% * 25\% * \text{Bande_passante_session}} * \text{Taille_paquet_moyen_RTCP}$$

– T_r : période d'émission de paquet RTCP par un récepteur :

$$T_r = \frac{\text{Number de récepteurs}}{5\% * 75\% * \text{Bande_passante_session}} * \text{Taille_paquet_moyen_RTCP}$$

QS par Mme Boukhlof

36

Protocoles de signalisation: RTSP, SIP.

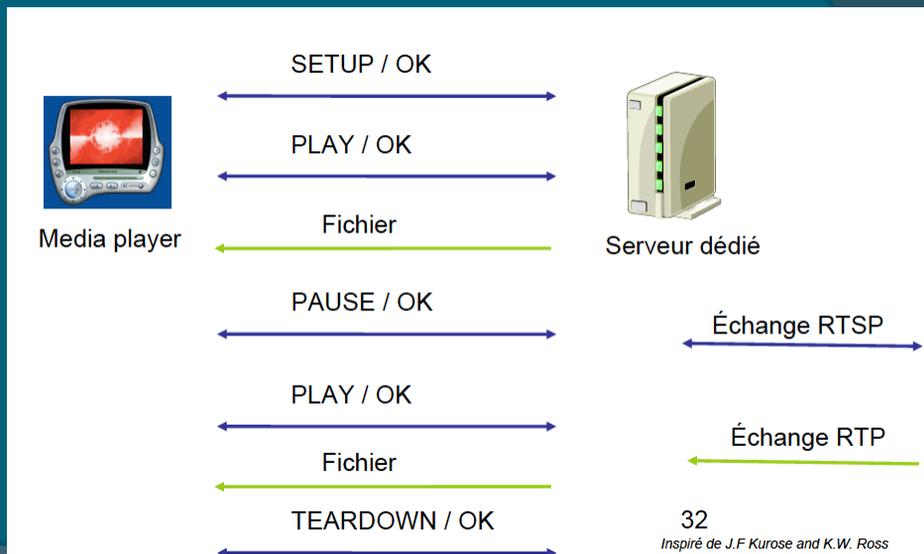
RTSP : Real-time streaming protocol

- Protocole niveau applicatif de type client/serveur
- Ce qu'il ne fait pas
 - Choix des techniques de compression
 - Choix de l'encapsulation
 - Choix du protocole de transport
 - Choix de la technique pour la mise en buffer
- Ce qu'il fait
 - Aider le media player à contrôler la transmission d'un flux audio/vidéo

QS par Mme Boukhlof

37

Contrôle de l'envoi du flux



QS par Mme Boukhlof

38

Session RTSP

Identifiant de session choisi par le serveur

- Utilisé dans chaque message
- Historique de l'état du client chez le serveur
- Protocole à état
- RTSP au-dessus d'UDP ou de TCP

SIP Session Initiation Protocol

- Protocole de signalisation léger
- Modèle Client/Serveur
- Mécanismes pour l'établissement/fin d'appel sur un réseau IP
 - Prévenir l'appelé de la communication
 - Se mettre d'accord sur l'encodage
 - Terminer un appel
- Mécanismes pour déterminer l'adresse IP de l'appelé à utiliser
 - Adresse IP non nécessairement fixe
 - Mobilité
 - Multi-terminaux
- Gestion des appels
 - Changement d'encodage en cours d'appel
 - Inviter d'autres participants
 - Transfert d'appel, etc.

Méthode SIP

- Spécifiée dans les premiers octets des requêtes SIP
- Indique le but du message
- INVITE
 - Pour initier une session
- ACK
 - Pour confirmer l'établissement de la session
 - S'utilise avec INVITE
- CANCEL
 - Pour annuler une requête INVITE en attente
- BYE
 - Pour terminer une session
- REGISTER
 - Pour s'enregistrer

QS par Mme Boukhlouf

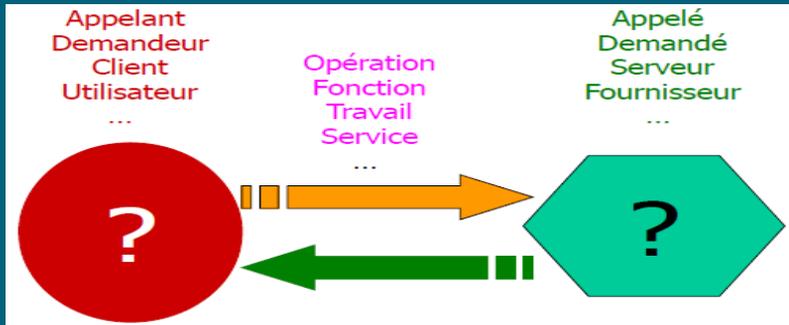
41

2. Concepts et mécanismes de base de la qualité de service

QS par Mme Boukhlouf

42

Etendue de la QoS



Qualité

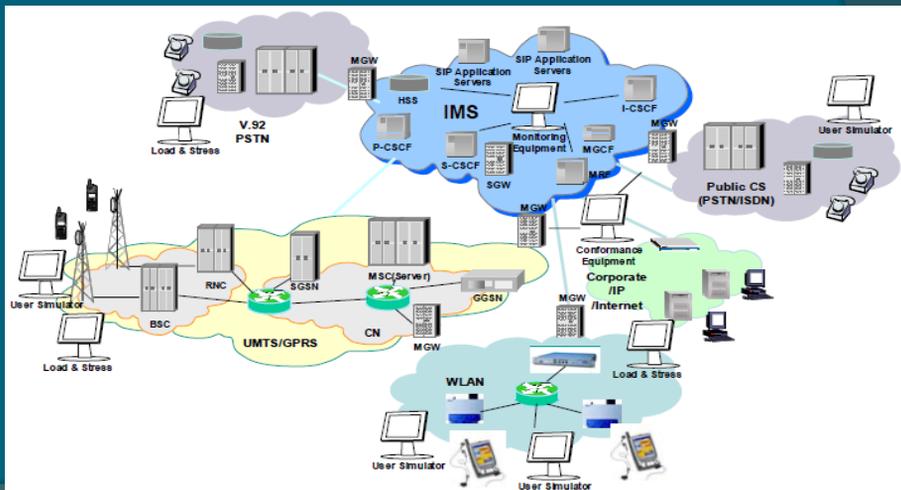
- Exigée, souhaitée, implicite/explicite, convenue à l'avance, Faire confiance...
- Mesurable (Qualitative/Quantitative) ou non
- Mesurable en ligne / hors ligne

QS par Mme Boukhloof

43

Etendue de la QoS

● Diversité des Réseaux

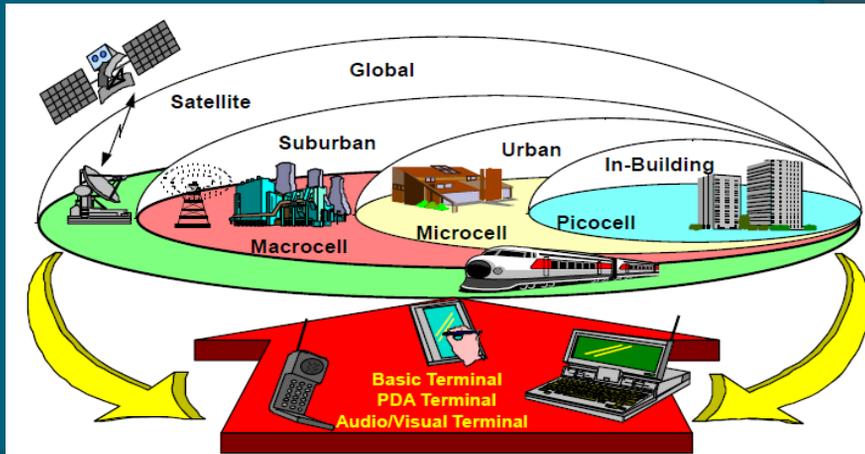


QS par Mme Boukhloof

44

Etendue de la QoS

○ Diversité des Réseaux



QS par Mme Boukhlouf

45

Etendue de la QoS

Diversité des Réseaux

- Réseaux publiques, privés, dédiés...
- Filaires - Sans fil (ondes radio, IR, Satellite)
- PAN, LAN, MAN, WAN
- Industriels, embarqués, bureautiques...
- Site : salle de TP, gare, train, avion, voiture...
- Administration : centralisée, répartie, autonomie
- Environnement : montagne, tunnel, chaleur, humidité, rayonnement...
- Réseaux : invisibles, intelligents, self-organizing, accessibles partout...
- ...

QS par Mme Boukhlouf

46

Etendue de la QoS

Diversité du public concerné

□ Genres d'intervenants (utilisateurs)

- Personne, robot, capteur, objet logiciel...
- Informaticien, automaticien, opérateur de télécom, fournisseur d'accès, militaire, industriel ... grand public
- Très exigeant ('le réseau est sensé tout faire'), on prend ce qu'offre le réseau ('compréhensif')
- Accepte de négocier, veut tout préconfiguré...
- Accepte un coût : très élevé, ..., modeste, gratuit
- ...

□ Vues des intervenants

- Développement de réseaux et de services
- Contenu et sa diffusion
- Contenu et son utilisation
- Transport de bout en bout
- Transport sur un domaine, un routeur ou une antenne

QS par Mme Boukhlouf

47

Etendue de la QoS

Diversité des Applications

□ Secteurs/domines d'activité

- Commande/supervision de centrales nucléaires
- Organisation de commandement militaire
- Santé
- Transport
- Vidéo surveillance, identification de personnel
- Contrôle-commande
- Commerce électronique
- Loisirs, Musique, Jeux
- ...

□ Nature des échanges

- Critiques ou non
- Applications : Transactionnelles, Réactives, Interactives...
- 1 vers 1, 1 vers m, m vers 1, n vers m

QS par Mme Boukhlouf

48

Etendue de la QoS

● Diversité des Equipements



QS par Mme Boukhlof

49

Etendue de la QoS

Diversité des Equipements

- Grand public, privé, spécialisé
- Fixe, mobile (mobilité lente ou rapide)
- Cher/pas cher
- Disparaît après utilisation ('sensor') ou non
- Ecoute : toujours à l'écoute, dormant, émetteur, récepteur...
- Avec contraintes de batterie (rechargeable ou non)
- Localisable : à la demande, toujours, de manière intelligente
- Equipement intelligent ou non
- ...

QS par Mme Boukhlof

50

Etendue de la QoS

Difficultés de parler de QoS

- ❑ **Multiforme (temps, sécurité, coût...)**
- ❑ **Différentes vues (grand public,..., Informaticien)**
- ❑ **Différents niveaux (application, réseau, physique...)**
- ❑ **Différents mécanismes et moyens**
- ❑ **Cours limité au Réseau (transport de données)**

QS par Mme Boukhlouf

51

Concepts et définitions

Définition de l'ISO (International Organization for Standardization) et **ITU-T [ISO/CEI 13236 - X.641 ; Décembre 1997]** « C'est un ensemble d'exigences de qualité sur le comportement collectif d'un ou de plusieurs objets »

■ Définition de l'IETF (Internet Engineering Task Force)

« La qualité de service désigne la manière dont le service de livraison de paquets est fourni et qui est décrite par des paramètres tels que la bande passante, le délai de paquet et les taux de perte de paquets »

■ Définition de QoS Forum

« Mesure collective du niveau de service fourni au client. La QoS **peut être** caractérisée par différents critères de performance de base qui incluent la disponibilité, le taux d'erreurs, le temps de réponse, le temps d'établissement de connexion, le débit de données, la perte de connexion ou de données à cause de congestions du réseau et la rapidité de détection et de correction de fautes »

QS par Mme Boukhlouf

52

Aspects liés à la QoS

- Exprime des exigences sur le comportement d'un fournisseur de service
- S'exprime par différents types de paramètres (délai, disponibilité de service,...)
- Implique différents niveaux de service (déterministe ou autres)
- Nécessite la mise en place de divers mécanismes (réservation, contrôle,...)
- Concerne aussi bien le réseau que les applications
- Concerne à la fois différents types d'équipements et différentes couches

QS par Mme Boukhlof

53

Classes (niveaux) de service

- Garantie absolue (déterministe)
- Probabiliste/stochastique/statistique
 - Prédicative, à charge contrôlée
 - Meilleure que le meilleur effort
 - 'Molle'
 - coercitive
- Meilleur effort
- Indifférent

Quel niveau choisir ?

C'est la nature de l'application qui permet de décider



Coût

QS par Mme Boukhlof

54

Catégories de service

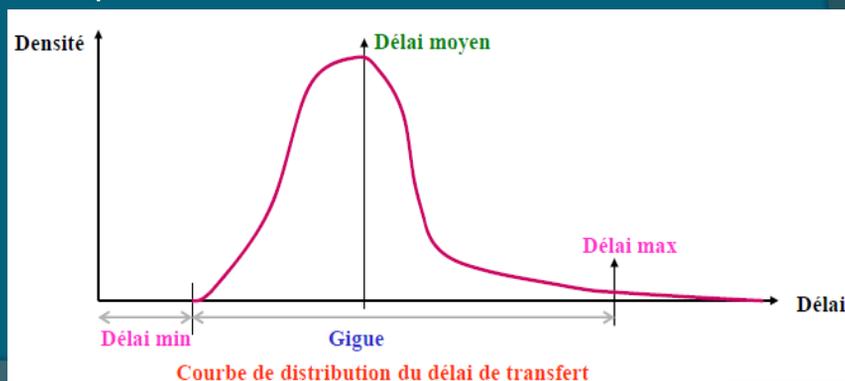
- **Catégories d'applications**
 - Téléconférence
 - Commerce électronique
 - Systèmes embarqués
 - ...
- Sécuritaire
- Robuste
- **Catégories de QoS**
 - Flexible
 - Facile d'utilisation
 - Faible coût
 - ...

QS par Mme Boukhlouf

55

Paramètres de QoS (1/4)

- **Aspects temporels**
 - Temps de transfert, latence, délai
 - Gigue
 - Temps de réponse (aller-retour)
 - Temps d'établissement/fermeture de connexion



QS par Mme Boukhlouf

56

Paramètres de QoS (2/4)

■ Sensibilité au délai

- L'être humain n'aime pas attendre en général (les applications qu'il utilise doivent donc en tenir compte). Téléphone sous IP actuel, visioconférence : son et images saccadés...
- Les systèmes commandés sont sensibles au délai (réaction tardive, un robot en fin de course...).

■ Sensibilité à gigue

- L'être humain est sensible à la gigue du son et image
- Certains systèmes de commande sont sensibles à la gigue.

Paramètres de QoS (3/4)

■ Volume

- Bits/s, Paquets/s
- Pourcentage de bande passante
- ...

■ Fiabilité/disponibilité/robustesse

- Taux de disponibilité
- MTBF(Mean Time between Failure), MTTR(Mean Time To Repair)
- ...

■ Paramètres d'erreurs

- Taux d'erreur, taux de perte
- Taux de désordre de paquets
- Erreur d'établissement/fermeture de connexion

Paramètres de QoS (4/4)

■ Coût

- Coûts (€, autres)
- Pénalité, bonus, ...

■ Sécurité

- Capacité du contrôle d'accès
- Capacité du chiffrement
- Autres (facilité d'utilisation, maintenabilité, simplicité, visibilité, efficacité, extensibilité, passage à l'échelle, interopérabilité...)
- Types d'attaque pris en compte et capacité de résistance
- Surcoût des mécanismes de sécurité
- ...

Formes d'expression de la QoS

■ Déterministe

- Une valeur (délai < 10 ms)
- Un intervalle de valeurs (délai dans [80 .. 100])

■ Probabiliste

- Avec une probabilité P (délai < 100 ms à 90%)
- Plus souple
- Difficulté de choisir les bonnes probabilités

■ Statistique

- Expression sur la moyenne, variance, écart type
- Expression sur la fréquence
- Loi de distribution
- Expression en logique floue (ex. "débit élevé ", " délai acceptable ", " gigue raisonnable ")

Types de métriques de QoS (1/2)

■ Additive

- $QoS(C_1; C_2) = QoS(C_1) + QoS(C_2)$
- ex. Délai

■ Multiplicative

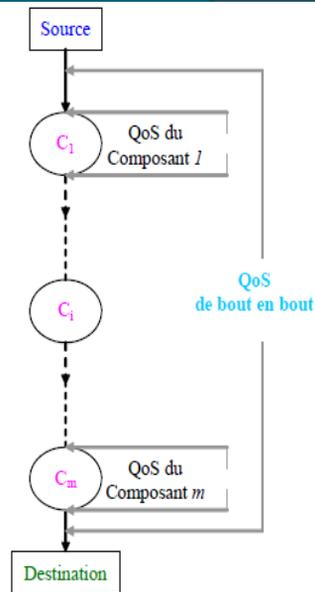
- $QoS(C_1; C_2) = QoS(C_1) * QoS(C_2)$
- ex. Disponibilité

■ Concave

- $QoS(C_1; C_2) = \min\{QoS(C_1), QoS(C_2)\}$
- ex. Débit

■ Autres

- Cas des spécifications non homogènes



QS par Mme Boukhlouf

61

Types de métriques de QoS (2/2)

■ Croissante (increasing)

- si $Val(QoS1) > Val(QoS2)$ alors QoS1 est meilleure que QoS2
- ex. débit

■ Décroissante (decreasing)

- si $Val(QoS1) < Val(QoS2)$ alors QoS1 est meilleure que QoS2
- ex. délai

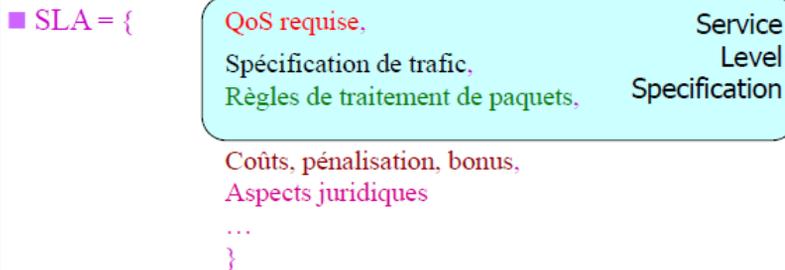
QS par Mme Boukhlouf

62

Notion de Contrat

SLA (Service Level Agreement)

- Gestion orientée connexion vs Gestion orientée SLA
- SLA = Contrat User-Provider
- SLA Statique ou Dynamique

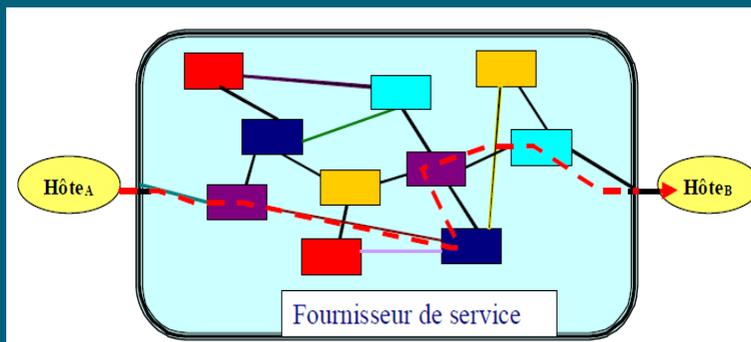


QS par Mme Boukhlof

63

QoS de bout en bout

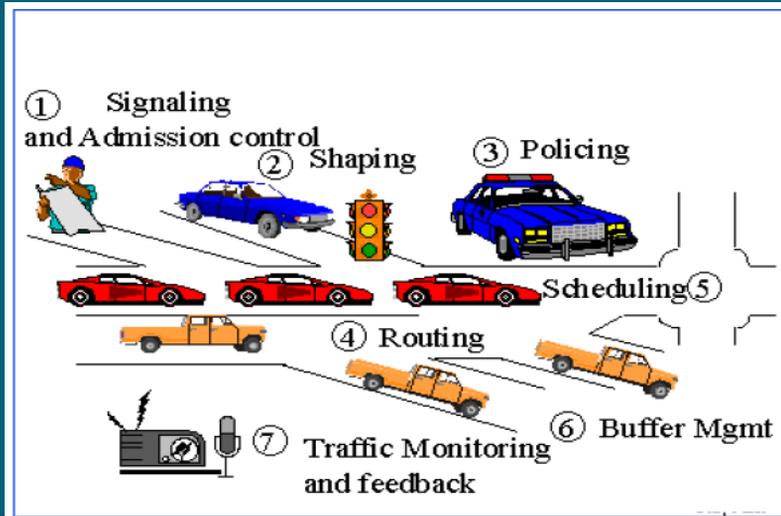
- QoS de bout en bout - QoS locale
 - Utilisateur final → QoS de bout en bout
 - Fournisseur de service → Décomposition de la QoS de bout en bout : QoS local



QS par Mme Boukhlof

64

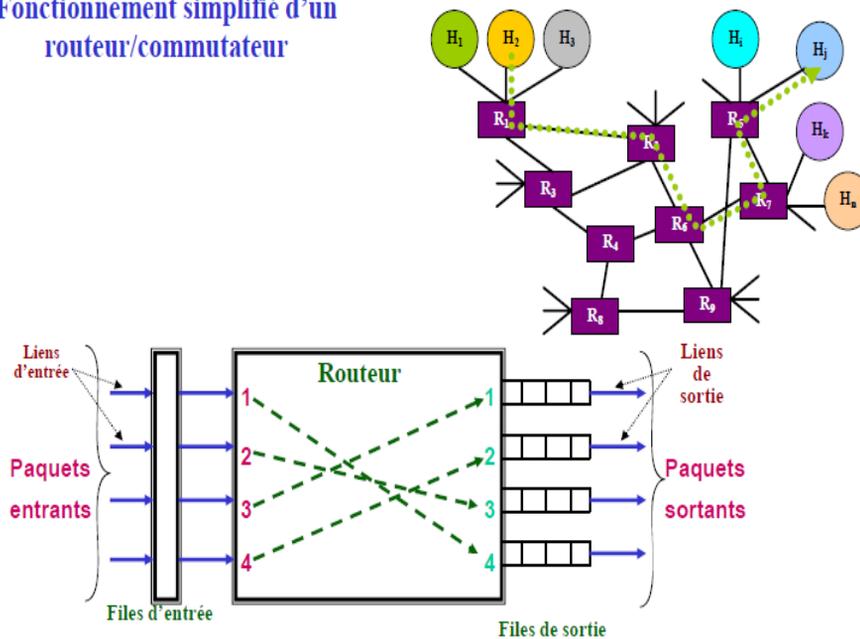
Panorama des fonctions de gestion de QoS



QS par Mme Boukhlof

65

Fonctionnement simplifié d'un routeur/commutateur



QS par Mme Boukhlof

66

Éléments du délai de bout-en-bout

- Délais d'attente dans les files d'entrée
- Délais de construction de paquets
- Délais de commutation
- Délais d'attente dans les files de sortie
- Délais de transmission
- Délais de propagation

Délais négligeables et/ou constants

Modèles de trafic et Contrôle d'admission

Caractérisation de trafic

- Trafic périodique : aisé
 - Trafic apériodique
 - Distribution des instants d'arrivée selon quelle loi (poisson, ...) ?
 - Taille maximale des avalanches ?
 - Durée minimale d'avalanche ?
 - Distribution de la taille des avalanches ?
 - Distribution des pertes de messages ?
 - Corrélation entre les paquets (pour autoriser les pertes) ?
 - Souvent difficile à modéliser :
- choix de paramètres pour "convenance mathématique"
- Reste beaucoup à faire pour modéliser le trafic aléatoire/sporadique

Modèles de trafics fréquemment utilisés (1/2)

□ Modèle périodique

- Période, Longueur maxi de paquet

□ Modèle-1 avec rafale (Ferrari)

- L_{pmax} : longueur maxi de paquet

X_{min} (intervalle de temps min entre deux messages successifs)

X_{ave} (intervalle de temps moyen entre deux messages successifs)

I (intervalle de temps sur lequel X_{ave} est calculé).

□ Modèle-2 avec rafale (Cruz)

- Débit moyen ρ et taille de rafale σ :

Nombre total de paquets générés n'exède jamais $\sigma + \rho T$ dans tout intervalle T .

□ Modèle 3 avec rafale (Seau percé)

- Débit moyen d'écoulement du seau (ρ) et la taille maximale du seau (σ).

Eviter le débordement du seau.

□ Modèle-4 avec rafale (Seau à jeton)

- Débit moyen de génération de jeton (ρ) et nombre maximal de jetons en attente (σ). La source ne peut transmettre que si elle a des jetons.

69

Modèles de trafics fréquemment utilisés (2/2)

□ Modèle de trafic de l'IETF (RFC 2215)

- Spécification à l'aide d'un **TSpec** :

- Taille σ et débit ρ de seau percé

- Débit maximum ρ

- Taille maximum de paquet M

- Borne sup, $A(T)$, de trafic par intervalle de temps T :

$$A(T) \leq \min(M + \rho T, \sigma + \rho T)$$

- **Autres modèles : probabiliste, stochastique,...**

- **Coût et performance du CA dépendent des caractéristiques de trafic**

Contrôle d'admission

Objectif

- Est-ce que le nouveau flux peut affecter la QoS des flux déjà acceptés ?
- Est-ce que le nœud peut offrir la QoS requise par le nouveau flux ?
- Est-ce que le nouveau flux a le droit d'utiliser les ressources du nœud ?
- Est-ce que tous les nœuds à traverser acceptent le nouveau flux ?

□ Informations utilisées

- Caractéristiques du nouveau trafic et de la QoS demandée
- Etat et historique du réseau
- Le CA peut se faire sur la base de connexion ou de SLA
- Dates de fin des trafics acceptés
- Perturbations éventuelles de la QoS des trafics déjà acceptés
- Politique d'utilisation des ressources

Propriétés

(à prendre en compte durant la conception d'un CA)

- Décisions incrémentales (ne pas toujours considérer tous les flux)
- Exactitude (compliquée à cause des phénomènes aléatoires)
- Complexité
 - Problème de la diversité des modèles de flux
 - Utilisation en ligne sans surcoût important
- Flexibilité
 - Problème de la diversité des modèles de flux
- Passage à l'échelle

Contrôle d'admission statistique

Pourquoi on en a besoin?

- La plupart des flux sont plutôt à caractère aléatoire
- Eviter le surdimensionnement en rejetant des flux qui pourraient être acceptés si on fait un peu plus attention à l'allocation des ressources
- **Risques d'utilisation de CA statistique**
 - Apparition de situations de congestion
 - Dégradation de la QoS
 - Conséquence : CA statistique non adapté aux applications critiques
- **Difficultés d'utilisation : maîtrise des probabilités/statistiques**

Types de CA statistique

- **CA basés sur les débits moyen et maximal**
- **CA basés sur la bande passante effective cumulée**
- **CA basés sur l'ingénierie de la courbe de perte**
- **CA basés sur la variance maximale**
- **CA basés sur la théorie des larges déviations**
- **Autres types**

Contrôle d'admission basé sur les mesures

- **Si les caractéristiques de flux sont peu variables**
 - Utilisation de la demande maximale et moyenne pour accepter le flux
 - Décision et réservation définitives
- **Si les caractéristiques de flux sont peu ou pas connues (imprécision de trafic)**
 - Utiliser une estimation initiale du trafic et réserver les ressources
 - Effectuer des mesures sur le trafic et ajuster les réservations en re-estimant le trafic
 - Accepter un plus grand nombre de flux
 - Coût des mesures et efficacité réelle des ajustements
 - Problèmes
 - Que faut-il mesurer ? Quand ? Où ?
 - Comment définir progressivement des modèles de trafic ?
 - Comment évaluer l'apport par rapport au CA sans mesure ?

Routage de paquets

Définition du routage à QoS (QoS-based routing)

- “Un mécanisme de routage dans lequel les chemins que doivent emprunter les flux sont déterminés en tenant compte à la fois des connaissances sur la disponibilité des ressources du réseau et des exigences de QoS des flux.” [RFC 2386]
- “Un protocole dynamique de routage qui étend sa sélection de chemin à des critères pour inclure des paramètres de QoS tels que la bande passante disponible, l'utilisation des liens, les ressources de calcul des noeuds, le délai et la gigue.” [QoS Forum]

Fonctions

- Collecter des informations sur l'état du réseau (fonction vitale et complexe)
- Trouver le meilleur chemin pour un nouveau flux en fonction de la QoS requise
- Changement de chemin avec dégradation progressive de la QoS
- Optimiser l'utilisation des ressources et d'autres critères

Sélection de chemin

- A la demande (pour chaque paquet, pour chaque flux, ...)
- Périodiquement et stockage dans une table
- Pre-calcul basé sur les algorithmes de Bellman-Ford et Dijkstra (efficace pour les réseaux de grande taille notamment)

QS par Mme Boukhlof

77

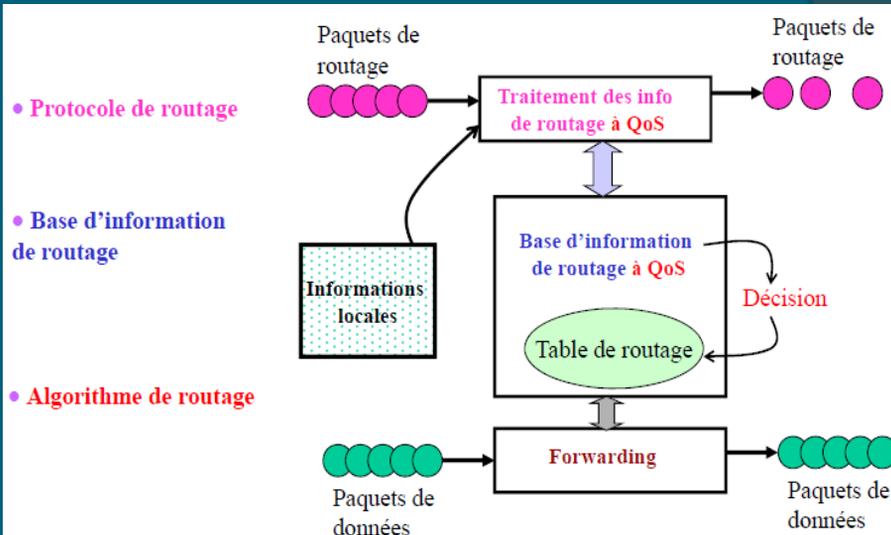
Collecte et dissémination d'informations

- A la demande ou périodique (très simples mais pouvant être coûteux)
- A chaque fois que quelque chose change ('idéal', très précis, mais très coûteux)
- Politiques à base de seuil
 - Déclencher la mise à jour si : | NouvelleValeur – AncienneValeur | > seuil.
 - + Evite les M.à.j inutiles
 - Réaction lente pour les changements d'état en de nombreux points
- Politiques à base de classe
 - Les capacités des liens sont subdivisées en classes
 - M à j déclenchées quand les limites des classes sont atteintes
 - + Les tailles des classes permettent d'ajuster/régler le rapport Précision/charge
 - Les tailles des classes affectent la sélection des chemins
- Difficulté majeure : optimiser le rapport "Précision des infos d'état/coût"

QS par Mme Boukhlof

78

Composants du routage



QS par Mme Boukhlouf

79

Classes d'algorithmes de routage (1/4)

- **Selon le nombre de participants**
 - Unicast
 - Multicast
 - Anycast
- **Selon la manière dont le chemin est calculé**
 - Routage par la source
 - Routage distribué (hop-by-hop)
 - Routage hiérarchique

QS par Mme Boukhlouf

80

Classes d'algorithmes de routage (2/4)

□ Routage par la source

- Chaque routeur a une vue locale du réseau (mise à jour périodique ou non)
- Sélection du chemin par la source et notification de ce chemin aux autres noeuds
- + Simple
- + plus efficace pour la gestion de QoS temporelle
- Connaissance approximative
- Peu efficace pour les réseaux de grande taille

QS par Mme Boukhlouf

81

Classes d'algorithmes de routage (3/4)

□ Routage distribué (hop by hop)

- Sélection du prochain noeud seulement
- Informations d'état échangées avec les voisins
- + **Plus flexible**
- Difficulté de partage et d'échange d'informations

□ Routage hiérarchique

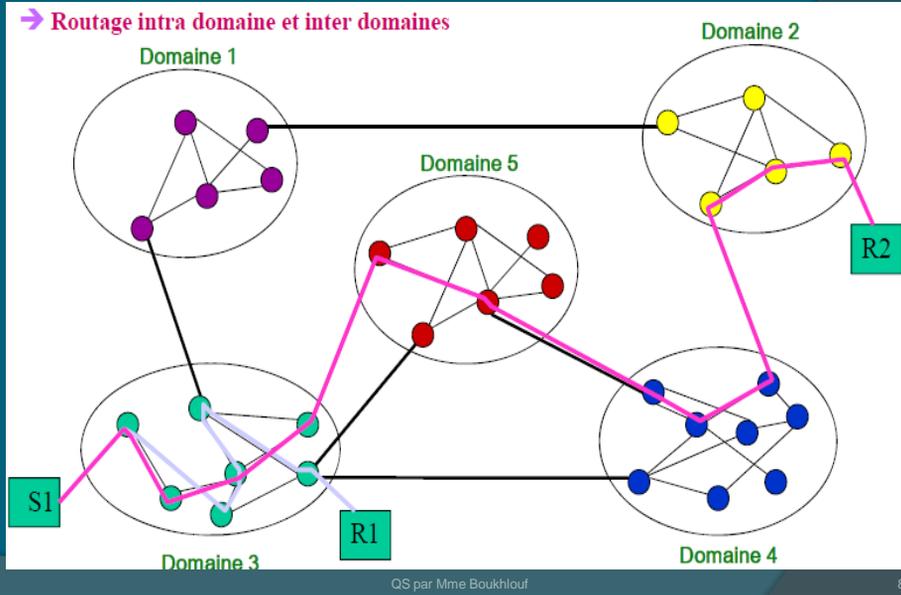
- Hiérarchisation des noeuds (agrégation)
- + **Réduction de la complexité de gestion des états**
- Partitionnement du réseau peut conduire à des cliques dans le réseau

QS par Mme Boukhlouf

82

Classes d'algorithmes de routage (4/4)

→ Routage intra domaine et inter domaines



QS par Mme Boukhlof

83

Algorithmes de routage à QoS

- Des dizaines d'algorithmes de routage sont proposés

Critères de classement

- Contraintes prises en compte (délai, gigue, bande passante, ...)
- Stratégie du routage (par la source, distribué, hiérarchique)
- Complexité de l'algorithme
- Complexité de la communication pour maintenir les informations d'état

Propriétés

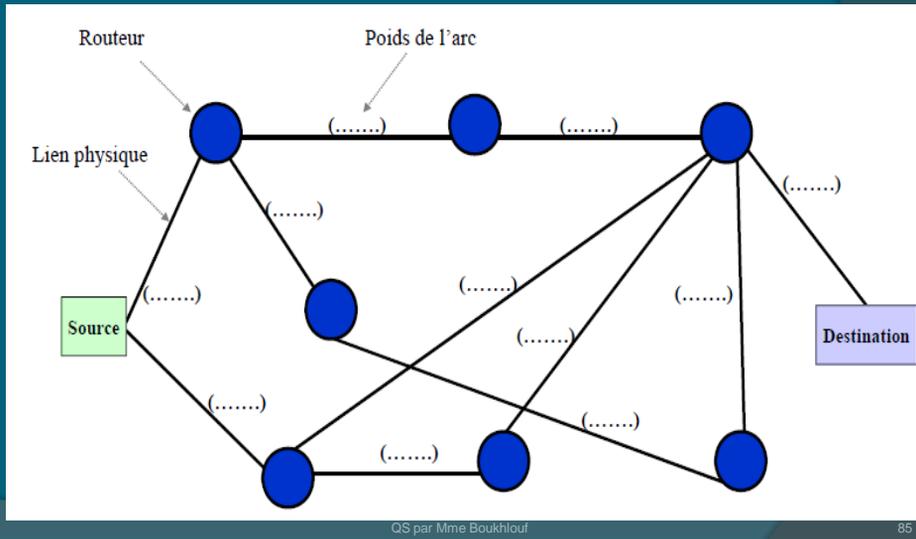
- Complexité (traitement et messages) faible
- Passage à l'échelle
- Coexistence de routage à QoS avec routage best effort

QS par Mme Boukhlof

84

Formalisation des problèmes de routage à QoS

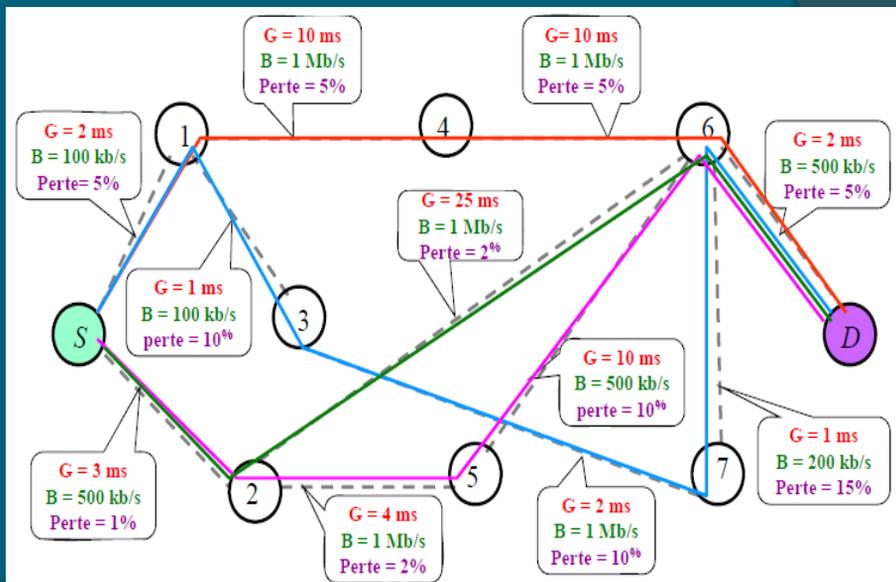
- Réseau représenté par un graphe $G = (V, E)$



QS par Mme Boukhlouf

85

Exemple de chemins à QoS (1/2)



QS par Mme Boukhlouf

86

Exemple de chemins à QoS (2/2)

Chemin	Nbre de sauts	Gigue e2e	BP e2e	Taux de perte e2e
S → 1 → 4 → 6 → D	4	24 ms	100 kb/s	18,5%
S → 1 → 3 → 7 → 6 → D	5	8 ms	100 kb/s	38%
S → 2 → 5 → 6 → D	4	19 ms	500 kb/s	17%
S → 2 → 6 → D	3	30 ms	500 kb/s	7,8%

QS par Mme Boukhloof

87

Éléments sur les coûts du routage à QoS

Coûts du routage

- Traitement/calcul
 - Calcul des chemins (souvent NP-complet)
 - Calcul lié aux échanges d'état
- Stockage
 - Informations de topologie du réseau
 - Informations d'état (sur différentes métriques)
 - Table de routage courante, tables de routage pré-calculées
- Bande passante (paquets liés au routage)

Facteurs de coût du routage

- Fréquence de sélection des chemins
- Métriques
- Facteurs de complexité (nombre de noeuds/liens, entrées de la table de routage,...)
- Compromis précision/surcoût

QS par Mme Boukhloof

88

Exemples d'algorithmes de routage à QoS: Rappels sur les protocoles de routage classique (1/2)

□ Routage à vecteur de distance (*Distance vector routing*)

- Porte aussi le nom de Algorithme de Bellman-Ford.
- Chaque routeur transmet (périodiquement) les infos qu'il connaît uniquement à ses voisins immédiats. L'info transmise par chaque routeur est un vecteur qui contient, pour chaque destination, la distance entre ce noeud et cette destination.
- Chaque routeur utilise les vecteurs-infos qu'il reçoit pour construire sa table de routage.
- Comme chaque noeud n'a qu'une partie de la vue de la topologie, le risque d'avoir des boucles (lors de la recherche de chemin) est élevé.
- Pour éviter les boucles, différentes techniques sont possibles, par exemple Limiter le nombre de sauts à 16.

QS par Mme Boukhilouf

89

Rappels sur les protocoles de routage classique (2/2)

□ Routage à état de lien (*Link state routing*)

- Chaque noeud doit avoir une connaissance globale de la topologie du réseau.
- Les noeuds s'échangent entre eux les différentes métriques de chaque lien de la topologie.
- Chaque noeud doit :
 - Découvrir ses voisins (en envoyant des messages Hello)
 - Mesurer le temps d'acheminement vers chacun de ces voisins (en envoyant des messages Echo)
 - Construire un paquet spécial disant tout ce qu'il vient d'apprendre
 - Diffuser (de manière périodique ou en cas de changement de la topologie) ce paquet spécial à tous les autres routeurs du réseau.
- Chaque routeur utilise l'algorithme de Dijkstra (ou un autre) pour construire sa table de routage contenant le meilleur chemin pour chaque destination.

QS par Mme Boukhilouf

90

Exemple 1 : Extension de Dijkstra's Shortest path algorithm (Cas Unicast)

→ Définitions

G : ensemble des nœuds du réseau

E : ensemble des arcs du réseau

$w(x,y)$: poids associé au lien du nœud x vers le nœud y

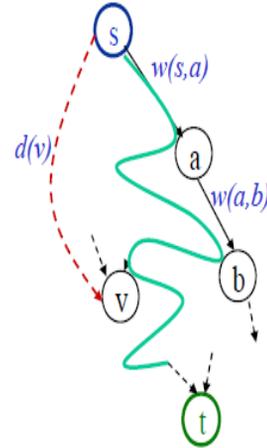
$d(v)$: poids du chemin depuis la source s jusqu'au nœud v

s : nœud source

t : nœud destination

$Pred(u)$: prédécesseur du nœud u sur le chemin

$Adj(u)$: ensemble des nœuds adjacents du nœud u .



QS par Mme Boukhlof

91

Exemples d'algorithmes de routage à QoS

→ Algorithme One-QoS_Dijkstra(V, E, w, s, t)

Step 1 : /* Initialisation */

```
For each node  $v \in V$  do  $d[v] \leftarrow \infty$ ;  $Pred[v] \leftarrow NIL$  od
 $d[s] \leftarrow 0$ 
 $Q \leftarrow V$ 
```

Step 2 : /* Détermination du chemin le plus court */

```
while  $Q \neq \emptyset$ 
{ do  $u \leftarrow \text{Extract-min}(Q)$  /*  $u \text{ tq} : d[u] = \min\{d[y], \forall y \in Q\}$  */
  if  $u = t$  then exit
  for each  $v \in Adj[u]$ 
  { if  $w(v, u) \oplus d[u] < d[v]$ 
    then  $Pred[v] \leftarrow u$ 
       $d[v] \leftarrow w(v, u) \oplus d[u]$ 
    }
  }
}
```

Fonction Poids

QoS = délai $\Rightarrow (\oplus, <) = (+, <)$
 QoS = Perte $\Rightarrow (\oplus, <) = (*, <)$
 QoS = Disponibilité $\Rightarrow (\oplus, <) = (*, >)$

QS par Mme Boukhlof

92

Exemples d'algorithmes de routage à QoS

Exemple 2 : EBSP

(Enhanced Bandwidth Shortest Path) J. Wang et K. Nahrstedt 2002

→ Objectif

- Sélection du chemin ayant la bande passante la plus élevée en minimisant le nombre de sauts
- C'est un algorithme saut par saut.
- Il est utilisable dans des contextes où on cherche à fournir la bande passante la plus élevée possible à certains flux (par exemple, flux premium de DiffServ).

→ Fonction Poids de EBSP

$$d(P) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{2^{i-1}}{BP(i, i+1)}$$

Facteur qui pénalise les chemins avec plus de nœuds
Facteur qui pénalise les liens avec une faible BP

n : nombre de nœuds du chemin P

$BP(i, i+1)$: bande passante du lien $(i, i+1)$

QS par Mme Boukhlof

93

Exemples d'algorithmes de routage à QoS

Exemple 2 : EBSP (suite)

→ Algorithme EBSP(V,E, BP, s, t)

Step 1 : /* Initialisation */

For each node $v \in V$ **do** $d[v] \leftarrow \infty$; $Pred[v] \leftarrow NIL$ **od**

$d[s] \leftarrow 0$

$Q \leftarrow V$

Step 2 : /* Détermination du chemin le plus court */

while $Q \neq \emptyset$

{ **do** $u \leftarrow \text{Extract-min}(Q)$ /* u tq : $d[u] = \min\{d[y], \forall y \in Q\}$ */

if $u = t$ **then** **exit**

for each $v \in Adj[u]$

{ if $2d[u] + 1/BP[v,u] < d[v]$

then $Pred[v] \leftarrow u$

$d[v] \leftarrow 2d[u] + 1/BP[v,u]$

}

}

QS par Mme Boukhlof

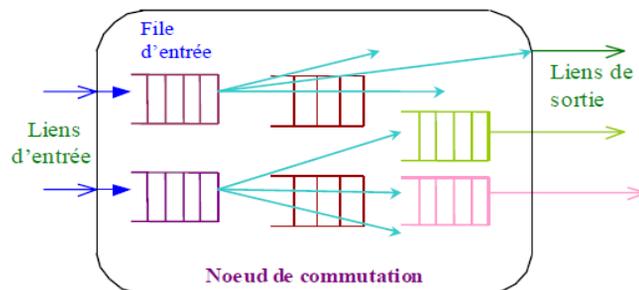
94

Protocoles de routage

- **Objectif** : Définir les formats des messages véhiculant les infos de routage et les règles d'échange de ces messages.
- **Protocoles actuels dans Internet : Best effort**
 - RIP (Routing Information Protocol) – intra-domaine ; distance vector
 - OSFP (Open Shortest Path First) – intra-domaine ; link-state
 - IGP (Interior Gateway Protocol) – intra-domaine ; link-state
 - IS-IS (Intermediate System - IS – intra-domaine ; link-state
 - EGP (Exterior Gateway Protocol) – inter-domaine
 - BGP-Border Gateway Protocol v.4– inter-domaine ; distance vector
- **Protocoles pour la QoS**
 - QOSFP : extension de OSPF pour tenir compte de la QoS

Ordonnancement de paquets

Approches de gestion de files d'attente (1/2)



→ Attente dans les files d'entrée

→ Attente dans les files de sortie

→ Autres techniques

Approches de gestion de files d'attente (2/2)

- **Attente dans les files de sortie:** Tout paquet est placé dans sa file de sortie dès son arrivée.

Avantage : c'est la plus performante au niveau débit

- **Attente dans les files d'entrée:** Les paquets arrivant sur un port d'entrée sont placés dans une file d'attente associée à ce port et servis en FIFO.

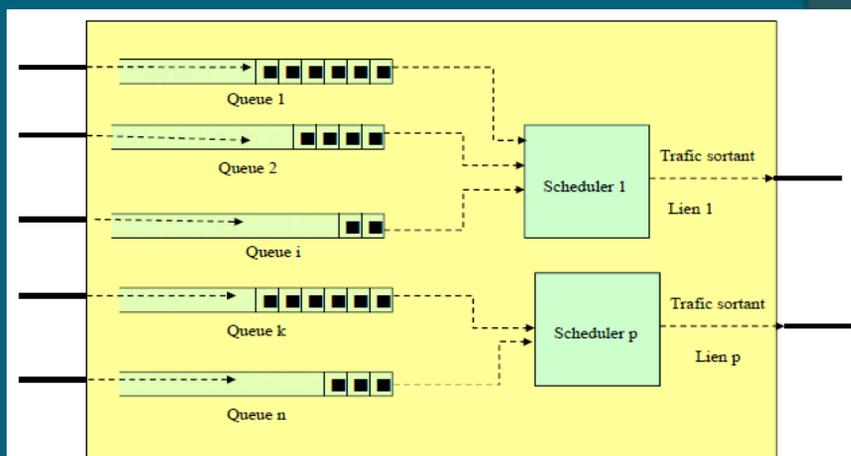
Inconvénient : « Head-of-line blocking » (lorsque le premier paquet de la file est bloqué, car son lien de sortie est occupé, tous les autres paquets sont bloqués, même si leur lien de sortie sont libres).

- **Attente dans les files de sortie virtuelles (évite le « Head-of-line blocking »):** A chaque port d'entrée sont associées autant de files d'attente que de liens de sortie utilisés par les paquets arrivant sur ce port. Tout paquet attend dans sa file de sortie virtuelle, avant d'être servi.
- **Attente dans une file unique:** Tous les paquets arrivant au routeur sont placés dans une file d'attente unique avant d'être servis. C'est la plus simple, mais la moins efficace pour la garantie de QoS.
- **Combinaison d'attente dans les files d'entrée et de sortie**

QS par Mme Boukhlouf

97

Restriction : files de sortie



- **Algorithme d'ordonnement de paquets = Discipline de service**
(terminologie des files d'attente)

QS par Mme Boukhlouf

98

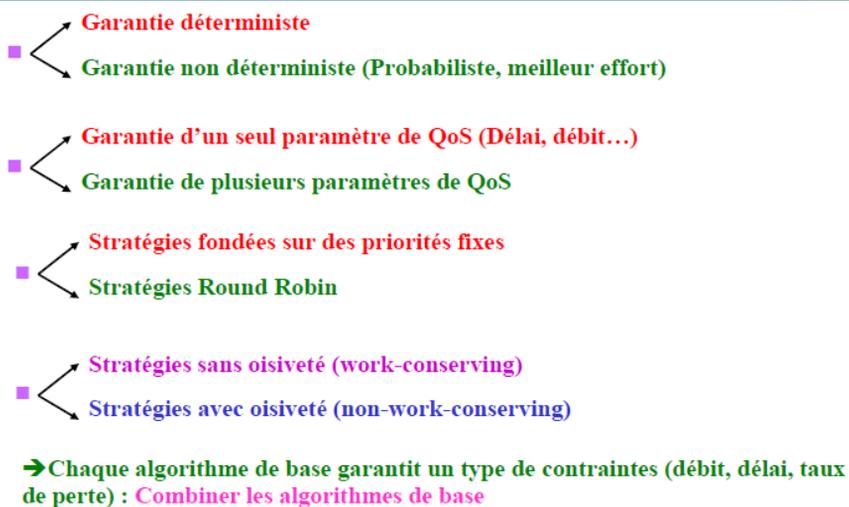
Propriétés

- Facilité d'implantation et surcoût faible
- Traitement pour chaque paquet
- nécessité de traitement très rapide
- Complexité idéale $O(1)$ - Complexité $O(\text{Nombre_paquets})$ à éviter
- Garantie (meilleur effort, statistique, déterministe) vérifiable : délai, perte...
- Isolation des flux
- Un flux qui fonctionne mal ne doit pas perturber les autres.
- Équité
- Répartition équitable des ressources entre les flux
- L'équité conduit au *best effort*, mais pas à la garantie de bornes
- Passage à l'échelle (Scalability)
- Contrôle d'admission
- Simple à implanter
- Efficace (pour une meilleure admission et utilisation des ressources)

QS par Mme Boukhlof

99

Classification des algorithmes



QS par Mme Boukhlof

100

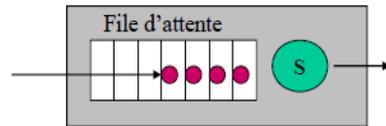
Loi de conservation de Kleinrock (1971) (1/2)

Formule de Little (1956) : $E(t) = E(n) / \lambda$

$E(t)$: moyenne de temps de réponse

$E(N)$: moyenne du nombre de clients dans la file

λ : taux d'arrivée des clients



La loi de conservation de Kleinrock stipule que :

Si l'ordonnanceur est conservatif alors, quelque soit la discipline choisie :

$$\sum_{k=1}^N r_k d_k q_k = \text{constante}$$

$r_k d_k q_k$ peut être considéré comme un délai pondéré pour la connexion k .

N connexions géré par un ordonnanceur.

r_k le débit moyen de la connexion k .

d_k le délai moyen de traitement par paquet de la connexion k .

q_k le délai moyen de séjour en file d'attente par paquet de la connexion k .

Disciplines de service

□ Conservatives

- FP (Fixed Priority)
- FQ (Fair Queueing)
- WFQ (Weighted Fair Queueing)
- WF2Q (Worst-case FairWeighted Fair Queueing)
- SCFQ (Self-Clocked Fair Queueing)
- Virtual CLOCKS
- Delay EDD (Delay Earliest Due Date)
- Autres

□ Non conservatives

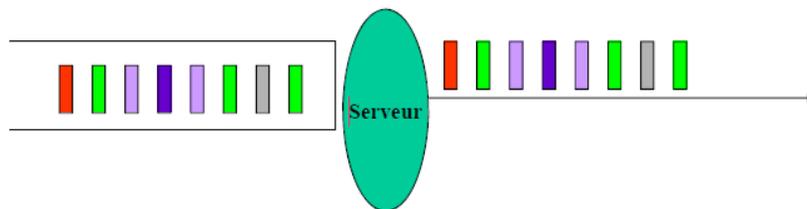
- Jitter EDD
- Stop-and-Go
- HRR (Hierarchical Round Robin)
- RCSP (Rate Controlled Static Priority)
- Autres

Ordonnancement FIFO et FP

FIFO (First in First Out) – FCFS (First Come First Serve)

- Naturelle (la première qui vient à l'esprit)
- Non équitable
- Ne permet pas la garantie de QoS (en général)

Ordre d'arrivée au routeur = Ordre de sortie



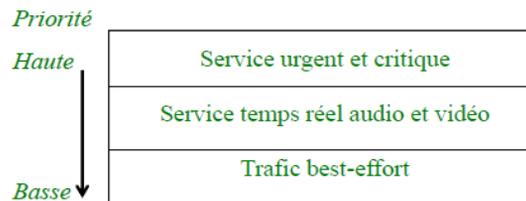
QS par Mme Boukhlof

103

FP (Fixed Priority) (1/2)

FP (Fixed Priority) (1/2)

- FP (Fixed Priority) = PQ (Priority Queueing)
- Une priorité fixe est associée à chaque flux (connexion) ou à chaque paquet



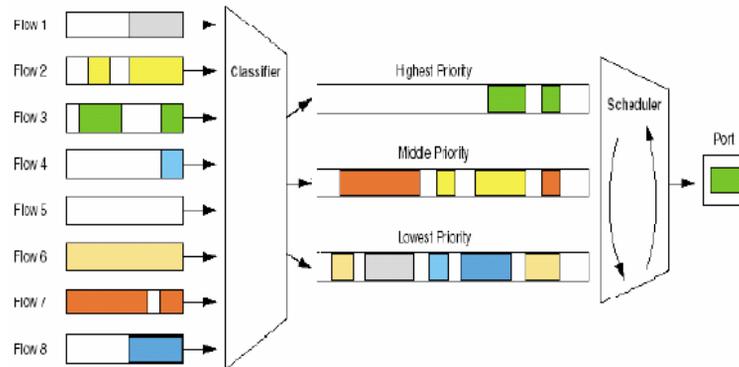
- Il y a un mapping entre les priorités initiales et les priorités de l'ordonnanceur.
- Si le nombre de priorités de l'ordonnanceur est faible, cela peut conduire à un service non-conforme aux priorités initiales.

QS par Mme Boukhlof

104

FP (Fixed Priority) (2/2)

- Les paquets de priorité élevée sont servis d'abord

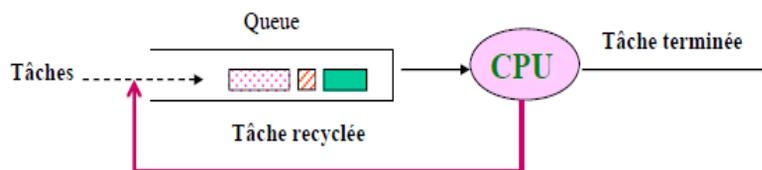


- Risque de famine pour les paquets de priorités faibles

Ordonnancement Round Robin

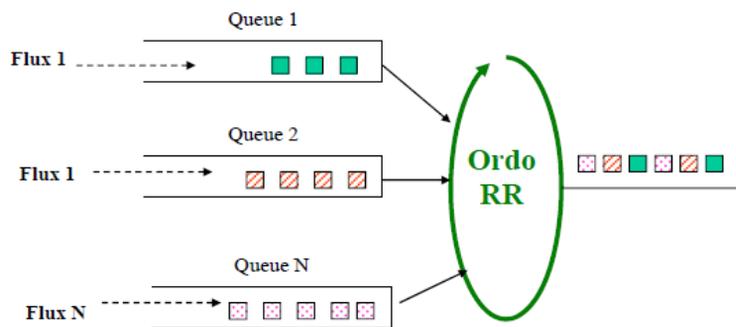
Round Robin (RR) de base pour les tâches

- Une seule queue pour toutes les tâches (processus).
- Servir pendant Δt chaque tâche. Si la tâche n'a pas fini la recycler en queue.
- Ordonnancement largement utilisé dans les systèmes non temps réel.



Round Robin (RR)

- Associer une queue à chaque flux. Servir les queues à tour de rôle.
- **Avantages** : simplicité, possibilité de réalisation câblée, équité.
- **Inconvénients** : ne permet pas la garantie de QoS. Pas d'équité si les paquets sont de tailles différentes.

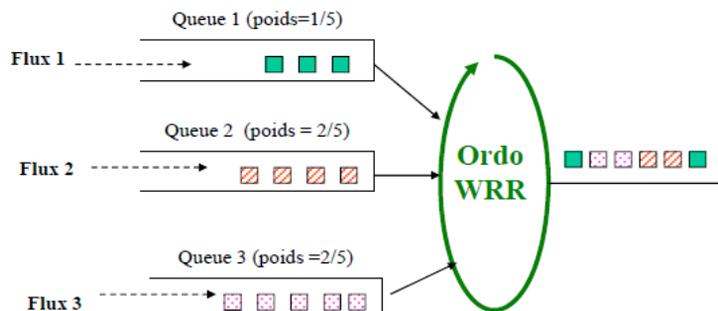


QS par Mme Boukhlouf

107

Weighted Round Robin (WRR) : principe de base

- Associer une queue à chaque flux. Associer à chaque flux un poids normalisé en fonction de la taille moyenne de paquet du flux.
- Servir les queues (non vides) à tour de rôle et en fonction de leurs poids.
- **Avantages** : prise en compte de l'importance (poids) de chaque flux. Protection des flux les uns contre les autres.
- **Inconvénients** : pénalise les flux à faibles poids.



QS par Mme Boukhlouf

108

Deficit Round Robin (DRR) (1/2)

- Idée de base : extension de RR pour des paquets de taille variable.

Economiser des crédits pour transmettre.

- Principe

- Associer un compteur $C[k]$, initialisé à 0, à chaque queue k
- Lorsque la connexion k est visitée par DRR
 - Si la queue k est non vide
 - { $C[k] = C[k] + \text{quantum}$;
 - Si $\text{Taille}(\text{tetequeue}[k]) \leq C[k]$
 - { Le paquet est transmis;
 - $C[k] = C[k] - \text{taille du paquet transmis}$;
 - Si la queue k est vide { $C[k] = 0$; }
 - }
 - Passer à la queue suivante

Le quantum est choisi pour permettre la transmission de paquet de taille minimale

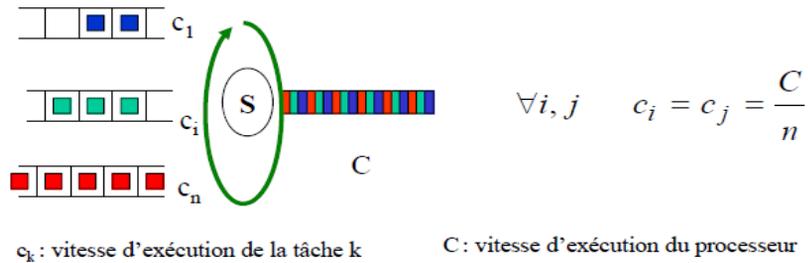
Deficit Round Robin (2/2)

- Avantages : facile à implanter ; plus d'équité que RR
- Inconvénients : ne permet pas la garantie de QoS (en général).
- Il existe d'autres formes de stratégies RR
 - HRR (Hierarchical RR)
 - BWRR (BudgetedWRR)

Ordonnancement PGPS et WFQ

PS « Processor Sharing »

- Temps partagé simple du processeur (pour l'ordonnancement de tâches)



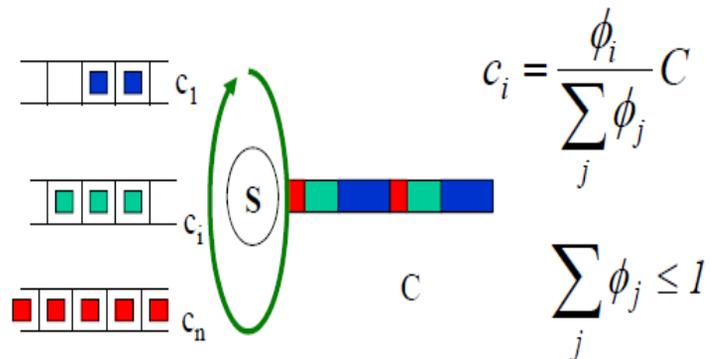
- PS n'est pas implantable pour les paquets (sinon on risque de transmettre des paquets contenant moins d'un bit).

QS par Mme Boukhlof

111

GPS « Generalized Processor Sharing »

- PS + équité en tenant compte de l'allocation préalable des tâches (poids ϕ_i)



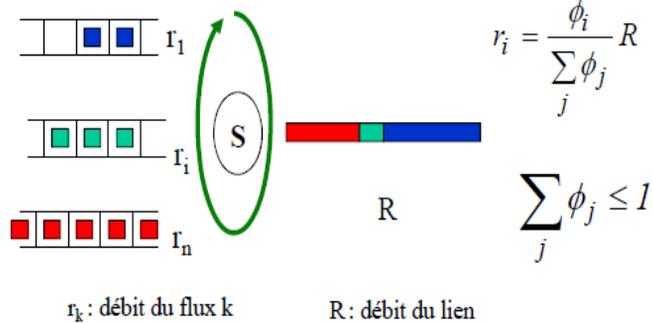
- GPS garantit un temps d'exécution (c_i) selon le poids ϕ_i

QS par Mme Boukhlof

112

Technique « Weighted Fair-Queueing » (Demers, Keshav et Shenker 1989)
PGPS « Packet Generalized Processor Sharing » (Parekh et Gallager 1993)

- GPS signifie que l'interruption de tâche peut se faire à n'importe quel moment
(PGS non applicable directement aux réseaux)
- PGPS = version de GPS appliquée aux réseaux
- PS + équité en tenant compte de l'allocation préalable des connexions (poids ϕ_i)

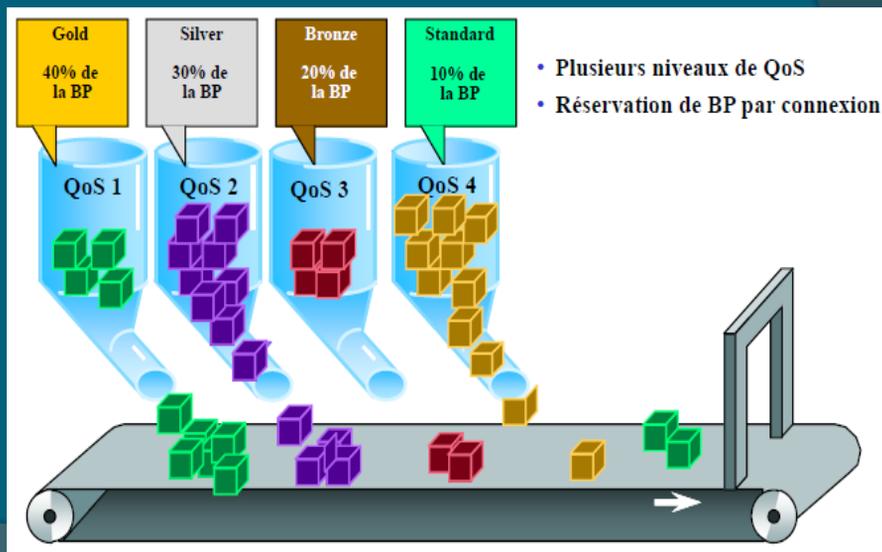


- GPS garantit le débit

QS par Mme Boukhlouf

113

Principe général de WFQ



Ordonnancement DEDD et JEDD

Ordonnancement à priorité DEDD

→ Delay Earliest Due-Date [Ferrari et Verma]

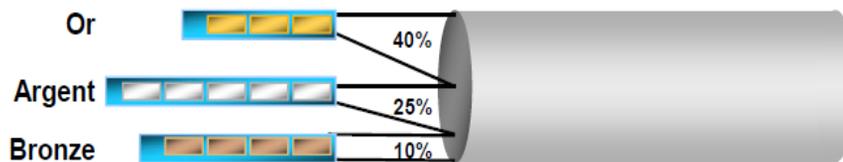
- EDF (Earliest Deadline First) pour les paquets
- Garantie de contraintes de délai (de bout en bout en cas de réseau homogène)
- Modèle orienté connexion
- Flux périodique

QS par Mme Boukhlof

115

Ordonnancement CBQ

Class-based Queuing (1/3) [Floyd, Jacobson 95]



- Chaque classe se voit réserver une part (selon son poids) de bande passante
- Les poids garantissent une bande passante minimum
- Les flux sont regroupés en classes
- La bande passante laissée libre par un flux d'une classe et d'abord utilisée par les flux des classes 'sœurs'.

→ C'est la discipline la plus implantée actuellement par les routeurs dits à QoS.

3

Récapitulatif

FIFO	Pas de distinction entre les paquets – Pas de réservation de ressources
FP	Les queues de haute priorité sont servies d'abord. Garantie de transmission de trafic critique/urgent
RR	Les queues sont servies à tour de rôle et de la même manière
WRR	Les queues sont servies à tour de rôle et en tenant compte de leur poids
DRR	Les queues sont servies à tour de rôle en fonction de la taille de leurs paquets et du crédit accumulé.
WFQ	Garantie d'équité entre les flux – Les queues sont traitées en RR
D-EDD	Paquets servis selon EDF. Garantie de délai
J-EDD	Paquets servis selon EDF + rétention de paquets. Garantie de gigue
CBQ	Classification, réservation et service selon les classes. Garantie de bande passante et éventuellement de délai

Contrôle de congestion et gestion de buffers

Allocation de ressources (1/4)

- Ressources = CPU, **mémoire**, bande passante...
- QoS fournie **dépend** des ressources allouées pour le service.
- Allocation de ressources ⇒ **Politique d'allocation**
(droits d'utiliser des ressources, coûts, ...)
- Allocation de ressources
 - Sans **Négociation** : **rigide** (tout ou rien), **sûre**
 - Avec **Négociation** : à la connexion, **flexible**, **complexe**
 - Avec **Renégociation** : s'adapter au réseau à tout moment,
transmettre à moindre coût, (**très**) **complexe**

Allocation de ressources (2/4)

- □ **Problèmes de la réservation de ressources**
- ■ Des ressources réservée mais non utilisées : Perte
- ■ Ressources minimales/moyennes à réserver : difficiles à déterminer

QS par Mme Boukhlouf

119

Allocation de ressources (3/4)

→ Gestion de buffers (tampons ou queues)

- Gestion de buffers (un flux / une file, une file partagée entre plusieurs flux)
- Mémoire de stockage des paquets limitée ⇒ Contrôler son utilisation
- Deux décisions majeures : Quand rejeter les paquets ?
Quels paquets rejeter ?

→ Contrôle et traitement de trafic

- Contrôle de congestion
- Contrôle de trafic de l'utilisateur
- Façonnage du trafic de l'utilisateur (« traffic shaping »)
- Marquage de paquets

Problème de congestion

- Flux aléatoires + Mémoire limitée + bande passante limitée ⇒ Possibilité de congestion
- Effets négatifs : taux de perte élevé latence élevée Charge élevé,
- Nécessité de contrôle de congestion

QS par Mme Boukhlof

121

Techniques de contrôle de congestion

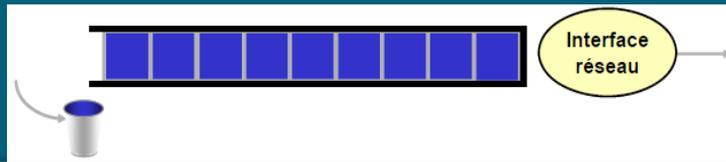
- Méthodes : réactives vs préventives
 - RED (“Random Early Detection”)
 - Variantes de RED (FRED, WRED...)
 - ECN (“Explicit Congestion Notification”)
 - Autres

QS par Mme Boukhlof

122

Technique FIFO pour la gestion de queue

- FIFO : technique la plus simple pour gérer les files d'attente de routeurs.
 - une seule queue par interface de sortie
 - servir le paquet en tête
 - mettre en queue le paquet arrivant si file non pleine
 - rejeter le dernier paquet si queue pleine



QS par Mme Boukhlouf

123

Technique FIFO pour la gestion de queue

- ++ FIFO a le mérite de ne pas poser de problème au fonctionnement d'Internet fondé sur le principe du meilleur effort. Pas de contraintes pour l'implantation de routeurs IP.
- Impossible de différencier les trafics (car on a une seule queue)
- Il n'y a pas d'isolation de flux.
- Des buffers larges impliquent des latences importantes.

QS par Mme Boukhlouf

124

Technique RED (Random Early Detection)

- RED : technique la plus populaire pour l'évitement de congestion
- Proposée par Floyd et Jacobson (1993) pour gérer les flux TCP
- Gestion de queue avec des seuils - technique de gestion active (préventive)

QS par Mme Boukhlof

125

Algorithme de la technique RED

- Rejet/marquage probabiliste en fonction de la taille moyenne de queue:

$$Q_{moy} = (1-w)Q_{moy} + w * Q_{reel} \quad w \ll 1 \quad (\text{ex. } w=0.002)$$

- Si $Q_{moy} < \text{SeuilMin}$: pas de rejet/marquage du paquet arrivant
- Si $Q_{moy} \geq \text{SeuilMax}$: rejet/marquage systématique du paquets arrivant
- Si $\text{SeuilMin} \leq Q_{moy} < \text{SeuilMax}$: rejet/marquage avec une probabilité p_a calculée comme suit :

$$p_b = P_{max} * (Q_{moy} - \text{SeuilMin}) / (\text{SeuilMax} - \text{SeuilMin})$$

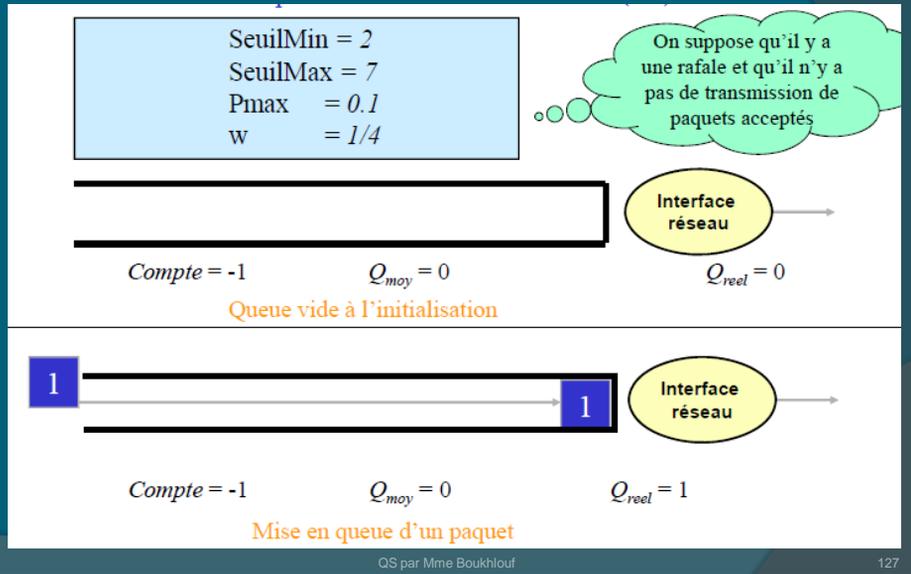
$$p_a = p_b / (1 - p_b * \text{compte})$$

Compte = nombre de paquets reçus depuis le dernier paquet marqué/rejeté pendant que la condition $\text{SeuilMin} \leq Q_{moy} < \text{SeuilMax}$ reste satisfaite.

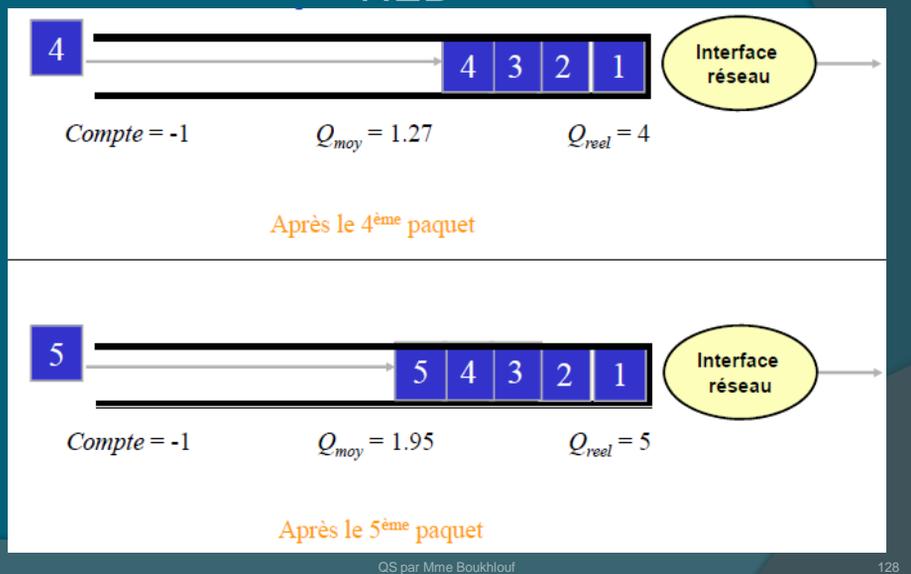
QS par Mme Boukhlof

126

Exemple de fonctionnement de RED



Exemple de fonctionnement de RED

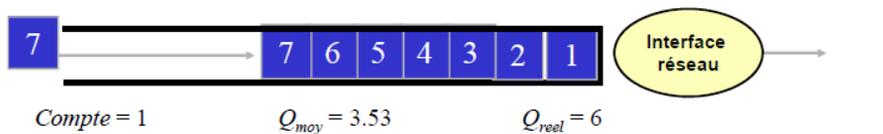


Exemple de fonctionnement de RED



Le *SeuilMin* est dépassé, on calcule $p_a = 0,014$. On tire une valeur aléatoire pour savoir si on rejette ou non le paquet. On suppose ici que l'on ne rejette pas le paquet.

Après le 6^{ème} paquet



Le *SeuilMin* est dépassé, on calcule $p_a = 0,03$. On tire une valeur aléatoire pour savoir si on rejette ou non le paquet. On suppose ici que l'on ne rejette pas le paquet.

Après le 7^{ème} paquet

QS par Mme Boukhlof

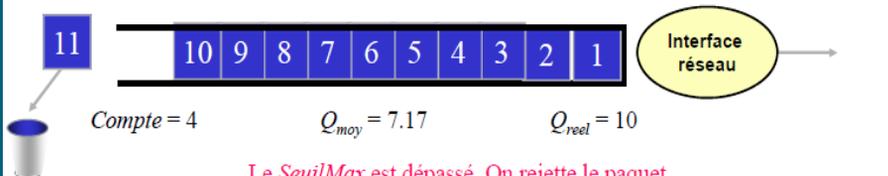
129

Exemple de fonctionnement de RED



Le *SeuilMin* est dépassé, on calcule $p_a = 0,127$. On tire une valeur aléatoire pour savoir si on rejette ou non le paquet. On suppose ici que l'on ne rejette pas le paquet.

Après le 10^{ème} paquet



Le *SeuilMax* est dépassé. On rejette le paquet.

Après le 11^{ème} paquet

QS par Mme Boukhlof

130

Limites (inconvénients de RED)

- Perturbation par les flux qui se comportent mal
- Sensible au nombre de sources
- Difficultés de choisir les paramètres (seuils et Pmax)

Technique Flow RED (FRED)

- FRED : une extension de RED proposée par Lin et Morris (1997)
- Objectif : protéger les flux TCP des flux agressifs
- Principe de base :
 - Maintenir une seule queue FIFO, mais garder la trace du nombre de paquets issus de chaque connexion
 - Rejeter les paquets issus d'une connexion quand celle-ci dépasse sa capacité de partage de la queue
 - Les rejets sont proportionnels à la bande passante utilisée
 - Les flux agressifs sont identifiés et pénalisés
 - Le principe de calcul de la taille moyenne de queue estimée, Q_{moy} , est optimisé par rapport à RED : évaluation de Q_{moy} à chaque arrivée et départ de paquet, Q_{moy} n'est pas mis à jour en cas de rejet de paquet.

Technique Flow RED (FRED)

■ Paramètres de FRED (en plus de ceux de RED) :

Min_Q : nombre minimum de paquets dans la queue par flux. Aucun rejet ne peut être appliqué à un flux qui n'a pas plus de *Min_Q* paquets dans la queue.

Max_Q : nombre maximum de paquets dans la queue par flux.

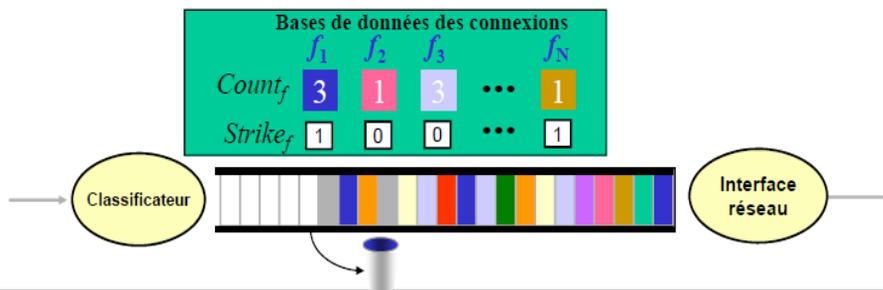
Count_f : nombre de paquets dans la queue pour le flux *f*.

Strikes_f : nombre de fois que le flux *f* a émis un paquet en excès.

Les flux avec une valeur élevée de *Strike* sont pénalisés en premier.

NbFlux : nombre de flux actifs.

MoyFlux : estimation d'une taille moyenne de queue par flux. Les flux qui ont moins de paquets que *MoyFlux* sont favorisés par rapport à ceux qui en ont plus.



Niveaux de service

- Le terme « **niveau de service** » (en anglais *Service level*) définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :
- Meilleur effort (en anglais *best effort*)**, ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé *lack of QoS*.
- Service différencié (en anglais *differentiated service* ou *soft QoS*)**, permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.
- Service garanti (en anglais *guaranteed service* ou *hard QoS*)**, consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (*Resource reSerVation Protocol*, traduisez *Protocole de réservation de ressources*).

Approches de fourniture de QoS

IETF (Internet Engineering Task Force) a proposé de multiples moyens pour prendre en compte les besoins de QoS

- ❑ **Deux approches de fourniture de QoS**
- ❑ **Integrated Services (IntServ)** [RFC 1633 - Juin 1994]
Orienté connexion
- ❑ **Differentiated Services (DiffServ)** [RFC 2475 - Décembre 1998]
Orienté agrégation de flux et marquage de paquets
- ❑ **Protocoles pour la QoS**
- ❑ **RSVP** (Resource reSerVation Protocol) [RFC 2205 – Septembre 1997]
- ❑ **MPLS** (MultiProtocol Label Switching) [RFC 3031 – Janvier 2001]
- ❑ **Autres**

QS par Mme Boukhlof

135

IntServ (Integrated Service) (1/3)

- ➔ Flux de données = paquets ayant la même source et destination et même port
- ➔ IntServ adopte le modèle orienté connexion
- ➔ IntServ se base sur RSVP pour la réservation de ressources
- ➔ Les routeurs qui n'implémentent pas IntServ ignorent les nouvelles classes de QoS
- ➔ Trois classes de service selon les besoins des applications
 - Service garanti (garantie absolue)
 - Service à charge contrôlée (garantie statistique)
 - Services Best-effort de trois types (pour le Web, FTP, Mail, etc.)

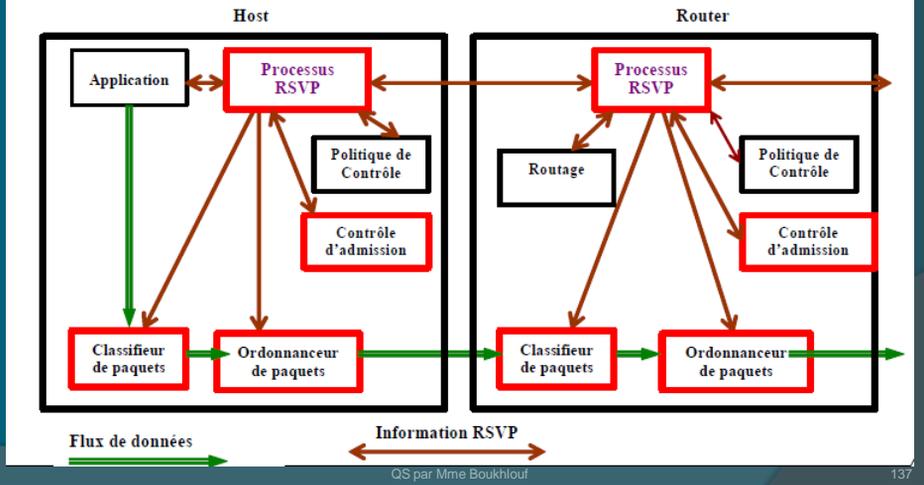
QS par Mme Boukhlof

136

IntServ (Integrated Service) (2/3)

→ Implantation de IntServ : 4 composants

Protocole de signalisation, Contrôle d'admission, Classifieur, Ordonnanceur de paquets



IntServ

→ Paramètres de caractérisation de QoS et trafic [RFC 2215 – 1997]

- NON-IS-HOP : indique si, sur le chemin du flux, il y a des nœuds qui n'implémentent pas IntServ.
- NUMBER_OF_IS_HOPS : compte le nombre de nœuds qui implémentent IntServ sur le chemin du flux.
- AVAILABLE_PATH_BANDWIDTH : fournit l'information sur la bande passante disponible sur le chemin du flux.
- MINIMUM_PATH_LATENCY : fournit la latence minimale (i.e. avec délai de séjour en file d'attente -*queuing delay*- égal 0) pour les nœuds traversés.
- PATH_MTU : fournit la *Minimum Transmission Unit* sur le chemin du flux.
- TOKEN_BUCKET_SPEC : décrit les caractéristiques du trafic par le débit du seau percé (r), la capacité maximum du seau (b), le débit de crête (p), la taille minimum de paquet (m) et la taille maximum de paquet (M).

138

Limites/inconvénients

- Le nombre de flux individuels peut être très important. Par conséquent, le nombre de messages de contrôle peut être élevé et nécessite beaucoup de ressources au niveau de chaque routeur.
- Des politiques doivent être mises en place pour déterminer quand, où et pour qui les ressources peuvent être réservées.
- Des règles de sécurité doivent être mises en place pour garantir que les utilisateurs non autorisés ne peuvent pas effectuer des réservations de ressources.
- Peu d'industriels ont implanté IntServ à grande échelle.
- IntServ : convient seulement aux petits réseaux (problème de passage à l'échelle)

QS par Mme Boukhlof

139

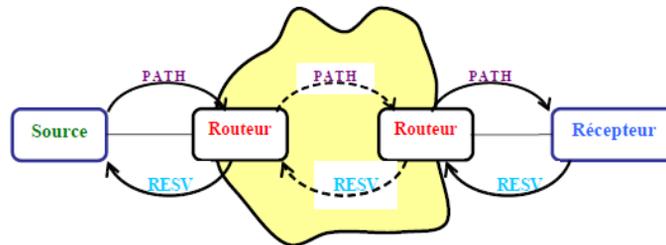
ReSerVation Protocol (RSVP) RFC 2205

→ C'est quoi RSVP?

- RSVP est un protocole de **signalisation** pour demander la réservation de ressources dans un réseau IP.
- Principales caractéristiques de RSVP
 - C'est l'application qui initie le processus de réservation (granularité fine de réservation) au moment du démarrage d'un flux.
 - Modèle de réservation orienté **Récepteur**
 - Les réservations sont faites pour chaque flux individuel
 - Les flux peuvent être *unicast* ou *multicast*
 - Il supporte les réservations hétérogènes et permet la renégociation de réservation
 - Il permet un bon partage des ressources réservées pour de multiple flux.
 - La gestion des réservations s'effectue en mode état *soft*.

RSVP

- Un chemin *unicast* ou *multicast* est déterminé par un algorithme de routage (sans être sûr que ce chemin réponde à la QoS exigée).
- La source du flux transmet un message **PATH** pour indiquer les caractéristiques de son flux. Chaque routeur traversé garde la trace du flux et des ressources demandées.
- Chaque récepteur a ses propres capacités et spécifie dans un message **RESV** ses exigences. Chaque routeur sur le chemin du message RESV confirme les réservations ou les annule. Quand le message RESV atteint la source, les réservations sont acceptées le long du chemin et le flux de données peut commencer.



QS par Mme Boukhlof

141

Inconvénients

- La maintenance des états soft implique que tous les routeurs doivent constamment contrôler et mettre à jour les états pour chaque flux individuel. La conséquence peut être une congestion de réseau.

QS par Mme Boukhlof

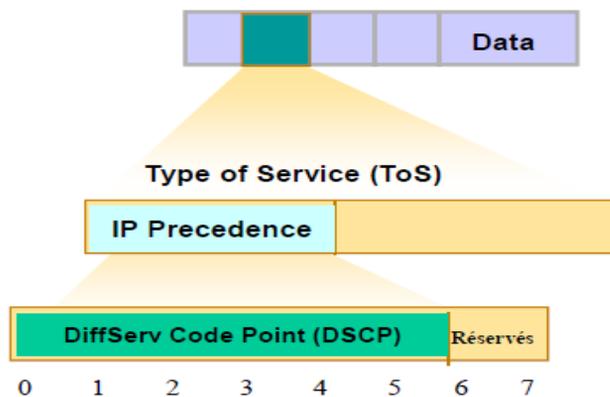
142

Principes de base et caractéristiques de DiffServ

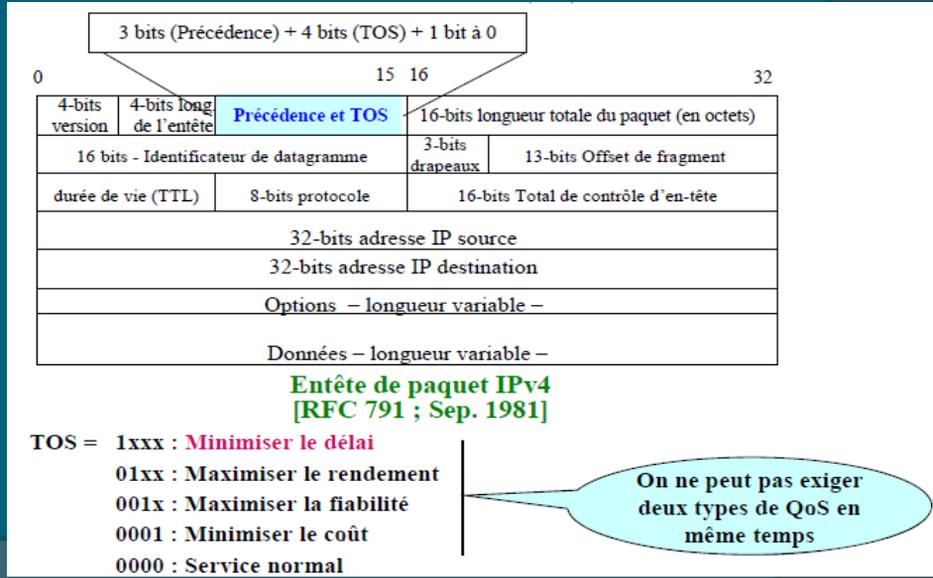
- Pallier les inconvénients de passage à l'échelle de IntServ
- Introduction du concept d'agrégation de flux pour simplifier les traitements de classification et marquage de paquets
- Caractéristiques importantes
 - Pas de gestion d'état par flux
 - Pas (ou peu) de classification de paquets à l'intérieur du réseau
 - Gestion sur la base de SLA et non de connexion
 - Réalisable par des mécanismes simples (câblés)

Code DiffServ

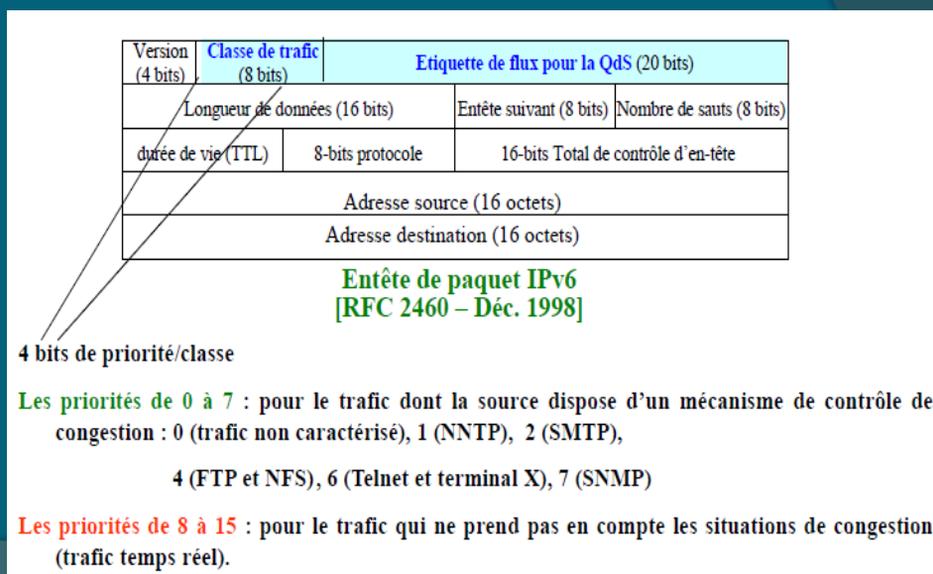
- Champ DiffServ (or DSCP) = 6 bits dans l'entête IPv4 ou IPv6
Il indique le niveau de QoS pour traiter le paquet



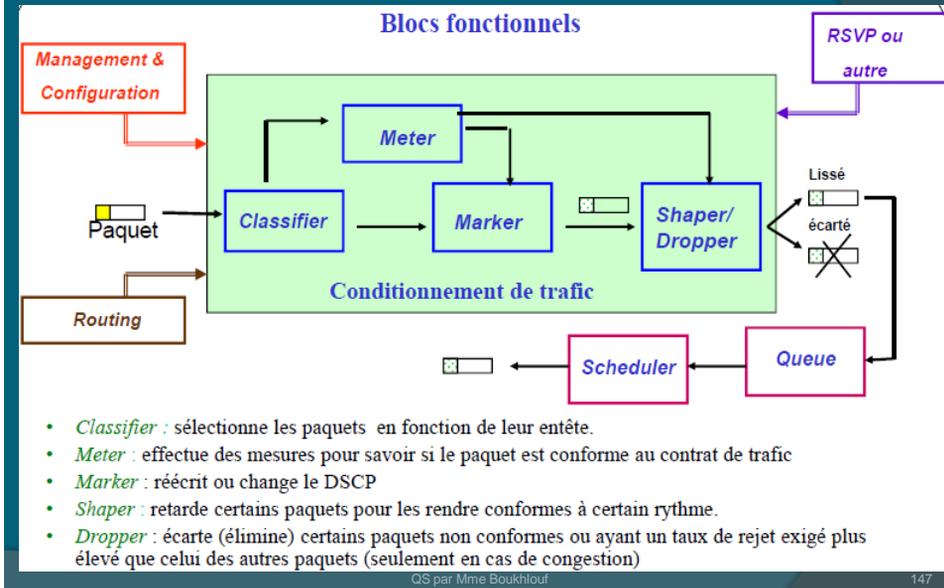
Code DiffServ



Code DiffServ



Architecture DiffServ



Limites de DiffServ

- Fournir de la QoS à des flux agrégés ne permet pas (sauf pour la classe premium) toujours d'offrir la QoS de bout en bout pour chaque flux pris individuellement.
- DiffServ suppose des SLA configurés de manière statique. Or les besoins utilisateur et la topologie du réseau peut évoluer dans le temps.
- DiffServ est orienté Emetteur. Or parfois il faut tenir compte des capacités et besoins du récepteur.
- Le nombre de DSCP n'est pas assez élevé pour différencier réellement les flux. On surdimensionne souvent (eg. Mettre ensemble deux flux qui demandent deux latences de 10 et 50 ms).

IntServ vs. DiffServ

	Intserv	Diffserv
Coordination pour la différenciation de service	End-to-end	Local (PHB)
Etendue de service	Chemins unicast ou Multicast	Partout dans le réseau
Scalabilité	Limité par le nombre de flux	Limité par le nombre de classes de service
Comptabilité	Basée sur les caractéristiques de flux et exigences de QoS	Basée sur l'utilisation de classe
Gestion de réseau	Similaire aux réseaux à commutation de circuits	Similaire aux réseaux IP
Déploiement interdomaine	Accords multilatéraux	Accords bilatéraux