

à l'Université Pierre et Marie Curie, le 28 septembre 2004

M2 Informatique Réseaux

Multimédia et Qualité de Service

Cours 1 : RTP

Timur FRIEDMAN

A propos du module

- Cinq cours

- RTP

- mult icast

- TCP Friendly

- signalisat ion

- I nt Serv, Dif f Serv, MPLS, et RSVP

Evaluation

■ Note

- 60 % écrit
- 40 % contrôle continu

■ Écrit

- examen (documents non autorisés)

■ Contrôle continu

- questions en cours : 10 %
- TDs : 30 %
- papers, normes – discussion : 30 %
- contribution au wiki : 30 %

Pour la semaine prochaine

- préparer les exercices du TD
 - sur le site www-rp.lip6.fr/~friedman à partir de demain
- lire le papier
 - Timer Reconsideration for Enhanced RTP Scalability
 - par Jonathan Rosenberg Henning Schulzrinne
 - Proc. Infocom 1998
- lire le RFC 3550
- visiter le Wiki
 - disponible à partir de demain
- préparer le prochain cours sur le multicast

Survol du module

- Basé sur des connaissances réseau
- en particulier : internet

- Revisiter les couches OSI suivantes :
- Application
- Transport
- Réseau

- Les voir sous l'optique du multimédia

Motivation

- Internet : pas conçu pour multimédia
- un réseau pour texte, données

- Depuis ...
- Web : images
- lecture en transit (*streaming*)
audio et vidéo
- jeux interactifs
- voix sur IP (*VoIP*) : voix en temps réelle
- visioconférence

Problématique

- Internet : un réseau dit de « moindre effort » (*best effort*)
 - délais
 - pertes
 - déséquencement
 - duplicatas
- Applications multimédia : besoin de garanties
 - e.g. VoIP avec trop de délai ne fonctionne pas
- Est-ce qu'un seul réseau peut tout fournir ?

Couche application

- Le signalisation

- RTSP, SDP, H.323, SIP

Couche transport

- Confronter le congestion dans le réseau
 - l'approche TCP-Amical (*TCP-Friendly*)
 - DCCP/ TFRC
 - l'approche Qualité de service (*QoS*)
 - Int Serv, Dif Serv, RSVP, MPLS
 - (sur plusieurs couches, mais on en parle ici)
-
- Fournir les fonctionnalités temps réelle
 - RTP/ RTCP

Couche réseau

- Diffusion à grande échelle : le multicast
- IGMP (protocole de bordure)
- DVMRP et PIM (protocoles de routage)
- RMT (couche transport)
-

Plan du cours

- Introduction
- Communication en temps réel
- RTP
- Limitation de débit RTCP
- RTP et le temps réel

Introduction

- RTP est un protocole de transport dans l'Internet
 - Dans la couche 4, comme TCP, mais implémenté sur UDP
 - RFCs 3550 et 3551 (juillet 2003 – RFCs originaux de 1996)
- RTP est pour les applications « temps réel »
 - Par exemple la téléphonie, le visioconférence
 - TCP n'est pas adapté pour ces applications
- RTP est conçu pour la communication multipoint
 - RTP marche sur le multicast
- RTP fournit un cadre aux applications
 - Il laisse beaucoup de fonctionnalité aux applications
 - Il fournit les outils nécessaires (e.g. estampilles temporelles)

Plan

- Introduction
- Communication en temps réel
 - Applications
 - Caractéristiques
 - Besoins
- RTP
- Limitation de débit RTCP
- RTP et le temps réel

Communications en temps réel

- Avertissement : une certaine idée du temps réel
 - Orientée audio et vidéo interactive
 - Pas le temps réel dans le sens technique
 - Pas « systèmes durs temps réel »
- Mieux compris en fonction d'exemples...

Applications typiques

- Voix sur IP (« VoIP »)
 - Téléphonie
- Visioconférence
 - Voix
 - Vidéo
 - Transparents
- Jeux interactives
 - Mises à jour de mouvement
 - Communication entre participants

Applications moins typiques

- Diffusion d'actualités
 - Données (par exemple à propos de la bourse)
- Moniteur à distance
 - Collection de données
- Control télémétrique
 - Données
 - Commandes
- RTP à été conçu plutôt pour audio et vidéo
 - (Mais pas exclusivement)

Caractéristiques

■ Interactivité

- Exemple : téléphonie

- Communication dans deux sens

- Exemple moins typique : vidéo sur demande

- Seulement marche/arrêt, reculer, avancer, recherche

■ Intolérance pour les délais

- Exemple : vidéo

- Une trame arrive > 500 ms en retard

- Mieux jeter que d'utiliser

Caractéristiques bis

- Tolérance pour les pertes
 - Exemple : voix en paquets G.711 (sans redondance)
 - Perte de 1 % de trames négligeable en termes de qualité
 - Exemple : vidéo codé en MPEG
 - Perte de trames B est permis
 - Au moins que les trames I et P arrivent
 - Exemple moins typique : données de la bourse

- Communications multipoint
 - Exemple : visioconférence
 - Communications bidirectionnels sont un cas particulier

Besoins

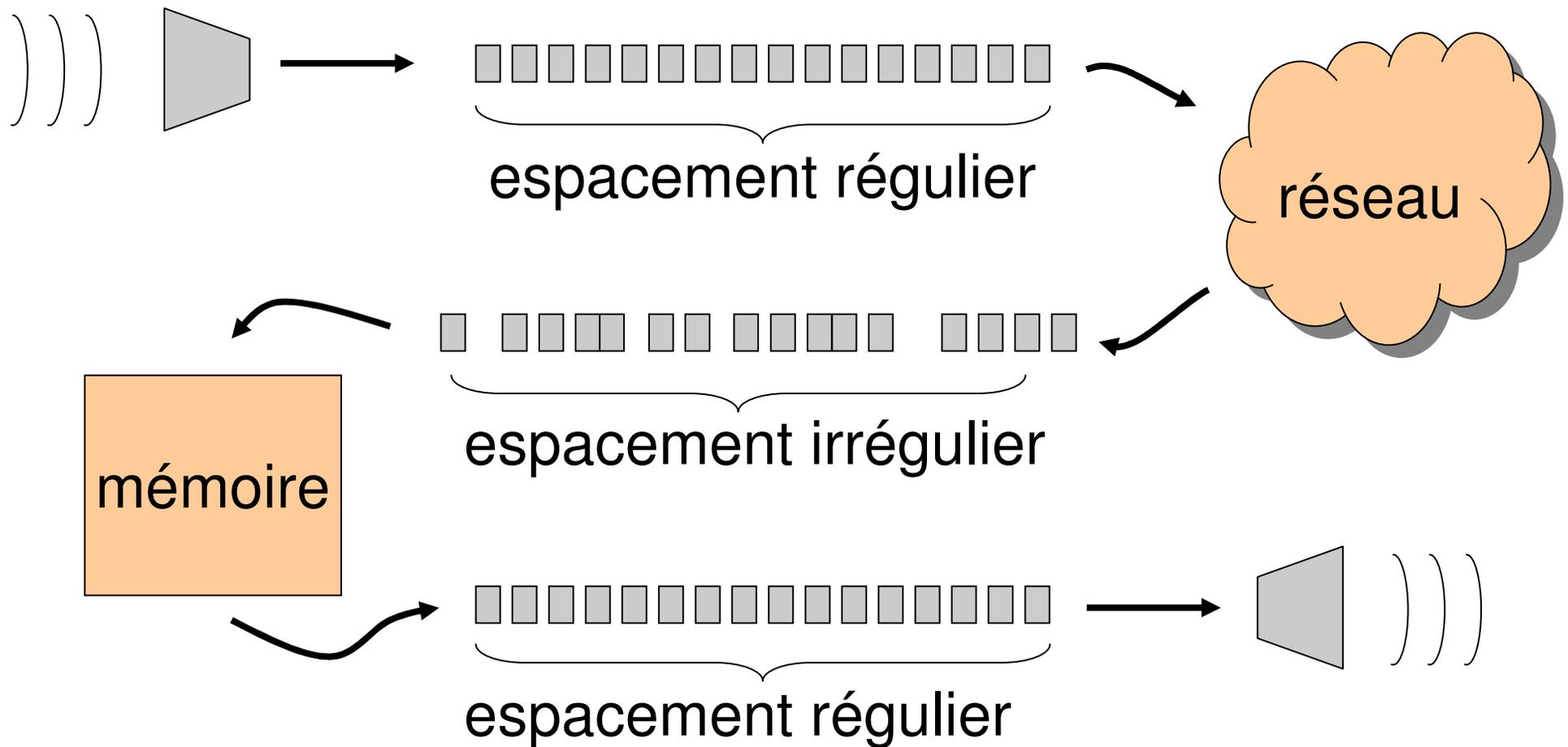
- Horodatage des données
- Synchronisation des flux
- Résistance contre les pertes, duplicatas, mauvais ordre
- Identification de participants
- Surveillance de l'état de la connexion
- Contrôle de flux
- Contrôle de congestion
- Besoins avancés :
 - Support pour le transcodage de données
 - Sécurité de données

Horodatage des données

- l'Internet est un réseau « moindre effort »
 - Pas de garanties de délai
 - A la différence avec X.25, par exemple
 - X.25 garde les intervalles d'origine
- Contraintes temporelles pour la lecture
 - Chaque trame audio ou vidéo doit être lu à un moment précis
 - On jette les trames qui arrivent en retard
- Technique : mise en mémoire
 - Avec l'horodatage on récupère les intervalles d'origine

Horodatage exemple

la norme G.729 : trames de voix à 62,5 Hz



Synchronisation des flux

- Une applications peut avoir plusieurs flux
 - Audio
 - Vidéo
 - Transparents
- La lecture des flux doit être synchronisée
 - Si, par exemple, la voix n'est pas codée dans le vidéo
- Besoin d'établir l'équivalence entre :
 - L'horodatage de chaque flux
 - (Il peut être artificiellement régulier)
 - Le « temps de l'horloge murale »

Synchronisation exemple

d'après H. Schulzrinne

estampilles temporelles audio :



460

estampilles temporelles vidéo :



1900

temps de l'horloge murale :

8:45:17.23

Résistance contre les pertes, etc.

- L'Internet est un réseau « moindre effort », donc :
 - Pertes des paquets
 - Duplicatas des paquets
 - Paquets qui arrivent dans le mauvais ordre
- Pour faire face aux pertes : la redondance
 - L'émetteur doit connaître le taux de pertes
 - Plus il y a de pertes, plus on ajoute de la redondance
- Pour faire face aux duplicatas, mauvais ordre :
 - Numéros de séquence
- Retransmissions ?
 - Pas systématiquement (problème de délais)

Identification des participants

- Communications multipoint : plusieurs participants
 - Identification aux autres participants
 - Démultiplexage des flux
 - Destinés vers le même adresse, même numéro de port
- Moyens d'identification
 - Nom : M Dupont
 - Adresse courriel : m.dupont@online.fr
 - Nom logique de machine : dhcp-51.online.fr
 - Adresse IP / numéro de port : 135.227.61.57/24882
 - Autres ?

Surveillance de l'état de la connexion

- Paramètres génériques :
 - Le taux de pertes
 - La gigue (variance des délais)
- La connaissance de ces paramètres aide :
 - Les applications adaptatives
 - Ajouter de la redondance en fonction des pertes
 - Augmenter la mise en mémoire en fonction de la gigue
 - L'administrateur du réseau
 - Reconnaissance des failles

Contrôle de flux

- Chaque récepteur peut avoir plusieurs mémoires :
 - Pour l'audio
 - Pour le vidéo
- Dans les communications multipoints :
 - Le nombre peut être multiplié par le nombre d'émetteurs
- Comment signaler la mémoire disponible ?
 - Dans le TCP : fenêtre avertie
 - Dans le multi flux, multipoint c'est plus compliqué

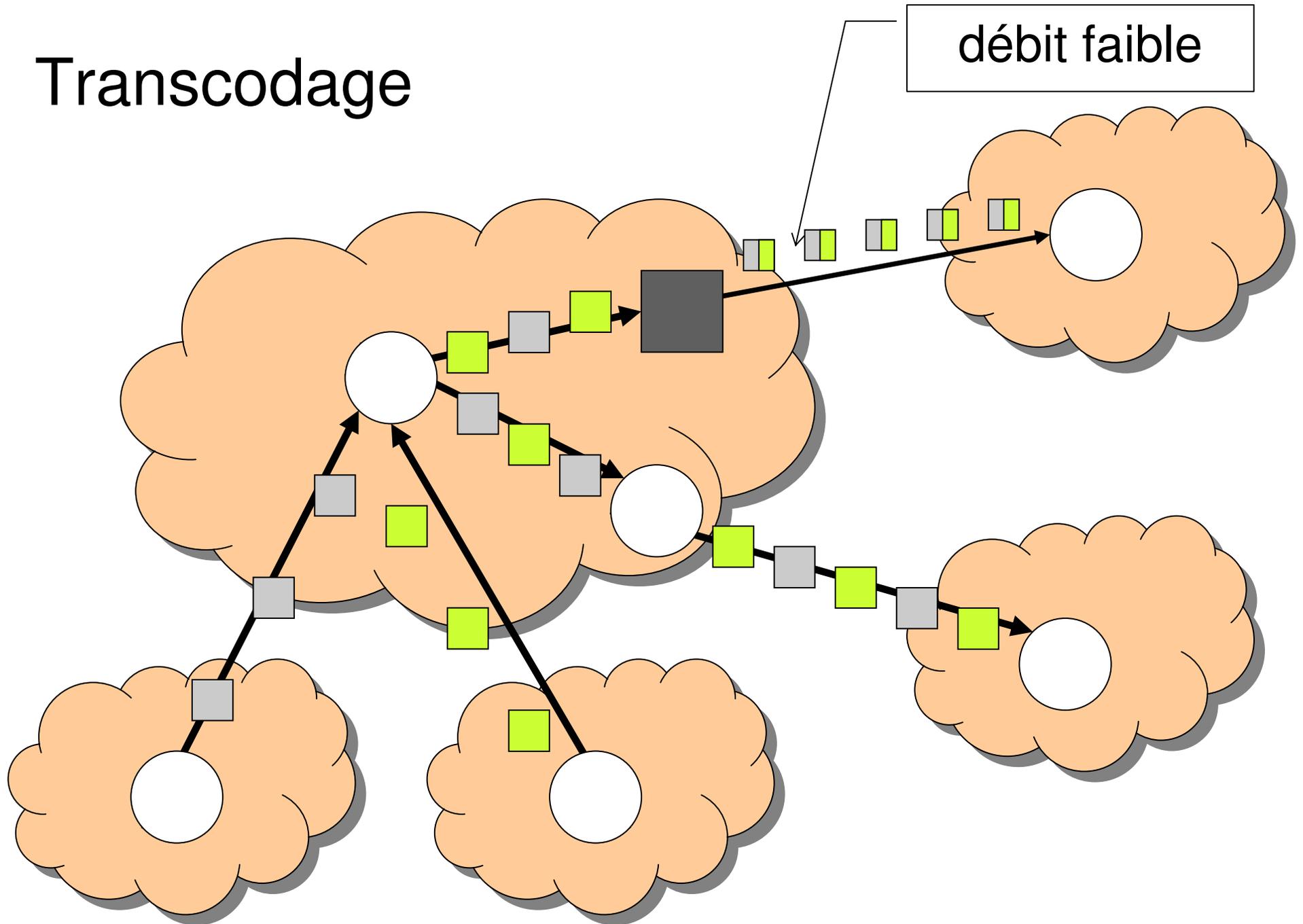
Contrôle de congestion

- Le contrôle de congestion dans l'Internet :
 - TCP
 - Un contrôle de bout en bout
- Problèmes avec le TCP pour le temps réel :
 - TCP est monolithique :
 - Contrôle de congestion
 - Fiabilité par retransmissions
 - TCP existe exclusivement en version unicast
- Si on veut se dispenser de TCP
 - Il est conseillé d'être amicale avec TCP (« TCP-friendly »)
 - On doit connaître les délais et les taux de pertes

Transcodage

- Des situations difficiles :
 - Un récepteur derrière un lien à débit faible
 - Un récepteur qui ne peut pas décoder un format donné
 - Un récepteur derrière un pare-feux
- On peut transcoder l'audio, le vidéo :
 - Éliminer le stéréo, diminuer la qualité
 - Rendre les images plus petites
 - Changer de formats
- On peut combiner les flux
- On peut changer les numéros de port

Transcodage



Sécurité

- Authentification des participants
- Autorisation des participants
- Intégrité de données
- Confidentialité de données

Plan

- Introduction
- Communication en temps réel
- RTP
 - Pourquoi un autre protocole de transport ?
 - Séparation données/contrôle
 - Profiles différentes pour applications différentes
 - Les paquets RTP
 - Les paquets RTCP
- Limitation de débit RTCP
- RTP et le temps réel

Pourquoi un autre protocole de transport ?

■ Pourquoi pas TCP ?

- TCP exige la fiabilité à 100%
- TCP favorise la fiabilité au dépens des délais
- TCP existe seulement en version unicast

■ Pourquoi pas UDP ?

- UDP fournit peu d'outils :
 - Les numéros de port pour le démultiplexage
 - Un checksum

■ RTP est adapté aux besoins du temps réel

■ RTP est léger et flexible

Séparation données/contrôle

- RTP consiste en deux protocoles :
 - RTP pour l'acheminement de données
 - RTCP pour échanger les messages de contrôle
- Les différences avec TCP :
 - Chaque paquet TCP contient des champs de contrôle :
 - Acquittements, taille de la fenêtre, etc.
 - Solution adapté pour une boucle de contrôle étroite
 - RTP fonctionne en multipoint
 - RTP n'exige pas la fiabilité à 100%
- Deux numéros de ports voisins
 - Par exemple : données port 12040, contrôle port 12041

Différentes profiles

- Une solution n'est pas adaptée à toutes les applications
 - Par exemple il existe plusieurs codecs audio
 - Chaque codec à son propre horodatage
 - Les codecs vidéo ont encore d'autres horodatages
- RTP (RFC 3550) fournit un cadre
- Les « profiles » (RFC 3551) fournissent les détails
 - Quelques profiles audio :
 - GSM, PCMA, G.722
 - Quelques profiles vidéo :
 - JPEG, H.261, MPEG 1 et MPEG 2

A propos des paquets RTP

- Un format simple, principalement :
 - Identificateur de source (SSRC)
 - Type de paquet (PT)
 - Numéro de séquence
 - Estampille temporelle
 - Données
- Longueur et numéro de port dans l'en-tête UDP
- Peu de surcharge
 - Douze octets d'en-tête (par rapport à 20 pour TCP)
 - Possibilité d'ajouter des extensions

SSRC : synchronization source identifier

- Identifiant d'un flux de paquets
 - A chaque SSRC correspond :
 - Une espace de numéros de séquence
 - Une espace temporelle
 - Une application peut avoir plusieurs SSRCs
 - Par exemple : un pour l'audio, un pour le vidéo
- Globalement unique
 - $2^{32} = 4,3 \times 10^9$ valeurs possibles
 - Choisi à l'aléatoire
 - Algorithme de détection de collisions

Indépendance de la couche inférieure

- Le SSRC est indépendant de l'adresse machine
 - RTP fonctionne sur IPv4, IPv6, ou d'autres protocoles
- On sépare les couches réseau et transport

PT : packet type

PT	encoding name	media type	clock rate (Hz)	channels
0	PCMU	A	8000	1
2	G726-32	A	8000	1
3	GSM	A	8000	1
5	DVI4	A	8000	1
6	DVI4	A	16000	1
7	LPC	A	8000	1
8	PCMA	A	8000	1
9	G722	A	8000	1
10	L16	A	44100	2
11	L16	A	44100	1
12	QCELP	A	8000	1
14	MPA	A	90000	?
15	G728	A	8000	1
16	DVI4	A	11025	1
17	DVI4	A	22050	1
18	G729	A	8000	1
25	CelB	V	90000	
26	JPEG	V	90000	
28	nv	V	90000	
31	H261	V	90000	
32	MPV	V	90000	
96-127	dynamic	?		

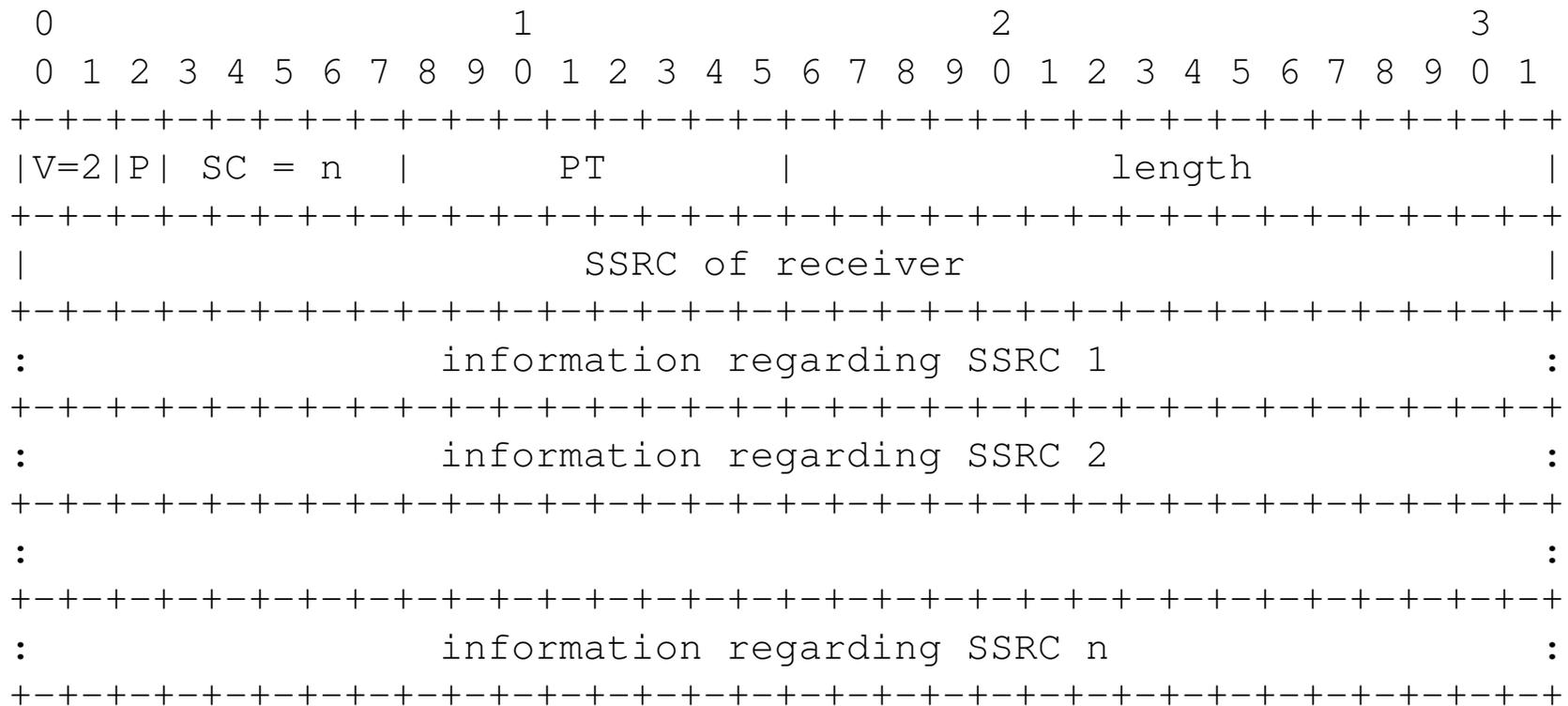
Numéro de séquence

- Permet de reconstruire l'ordre de paquets
 - Mais aucun mécanisme de retransmission
 - Simplement un support pour l'application
- Deux octets : $2^{16} = 65\ 536$ numéros possibles
 - Une espace de numéros par SSRC
 - Numéro initial choisi à l'aléatoire
 - Facilite la confidentialité par l'encryption
 - Augmente par 1 même si l'horloge n'avance pas

Estampille temporelle

- Essentielle pour la lecture des paquets
 - Sert aussi à calculer la gigue
- Les unités sont dépendants de l'application
- Quatre octets : $2^{32} = 4,3 \times 10^9$ valeurs possibles
 - Une espace de valeurs par SSRC
 - Valeur initiale choisie à l'aléatoire
 - Facilite la confidentialité par l'encryption
 - Augmente dans une manière régulière
 - N'augmente pas s'il s'agit d'une même trame

Les paquets RTCP



- V : version
- P : padding (at end of data)
- SC : source count
- PT : packet type

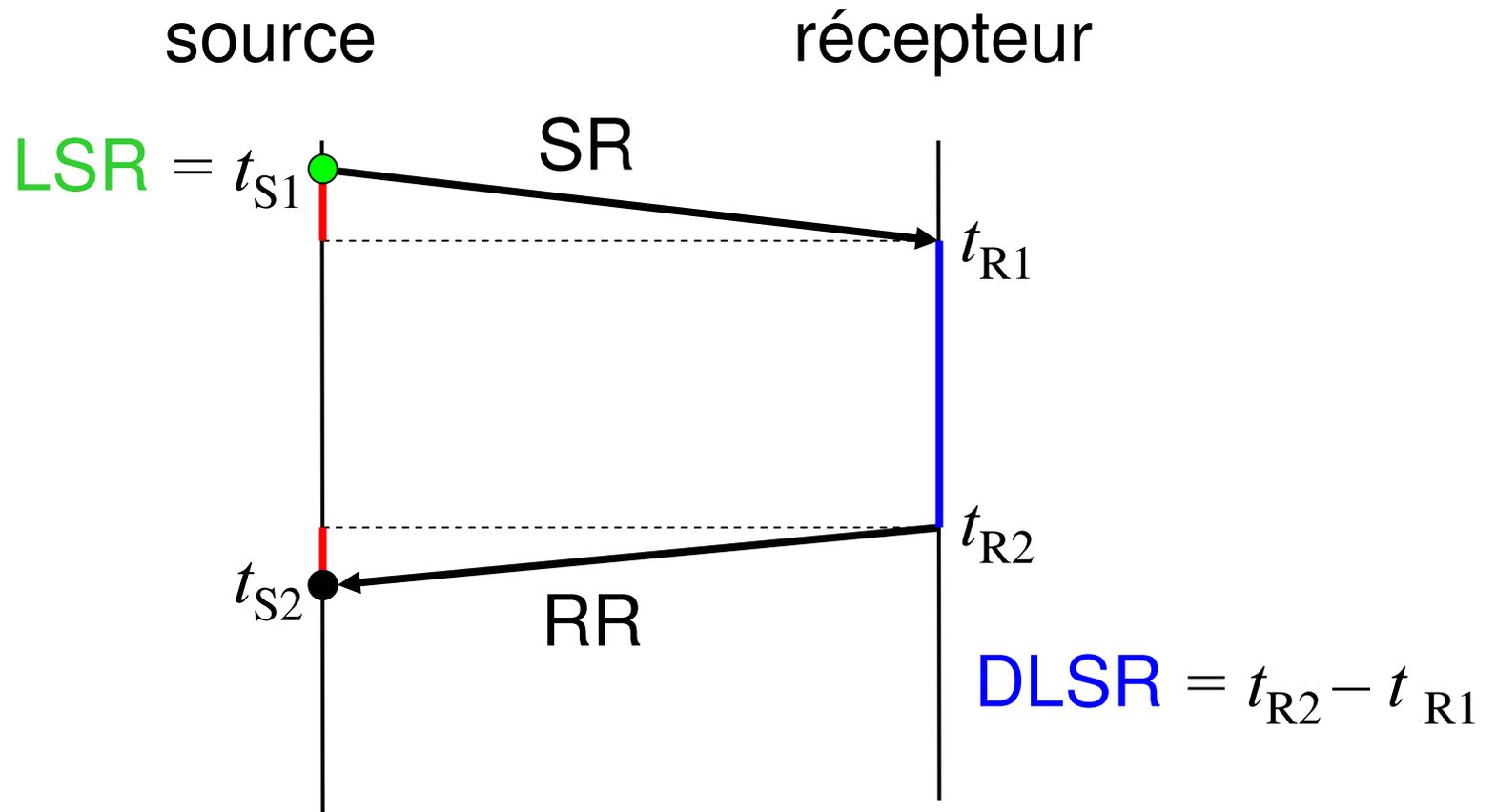
A propos des paquets RTCP

- Un cadre pour des rapports :
 - Identificateur de récepteur (SSRC)
 - Type de paquet (PT)
 - Longueur de paquet
 - Il peut y avoir plusieurs paquets par paquet UDP
 - Nombre de sources
 - Un rapport par source
- Plusieurs genres de rapport possibles
 - Receiver Report (RR), Sender Report (SR), autres

A propos des rapports RR

- Information sur chaque source (SSRC) :
 - Numéro de séquence
 - Pertes
 - Depuis le dernier rapport (en pourcentage)
 - Depuis le début (en nombre brut)
 - Information concernant le RTT
 - RTT = « round trip time »
 - Temps aller-retour depuis la source
 - Ne demande pas de réponse immédiat
 - Gigue

Le calcul du RTT



$$RTT = (t_{S2} - LSR) - DLSR$$

A propos des rapports SR

■ Estampilles temporelles NTP

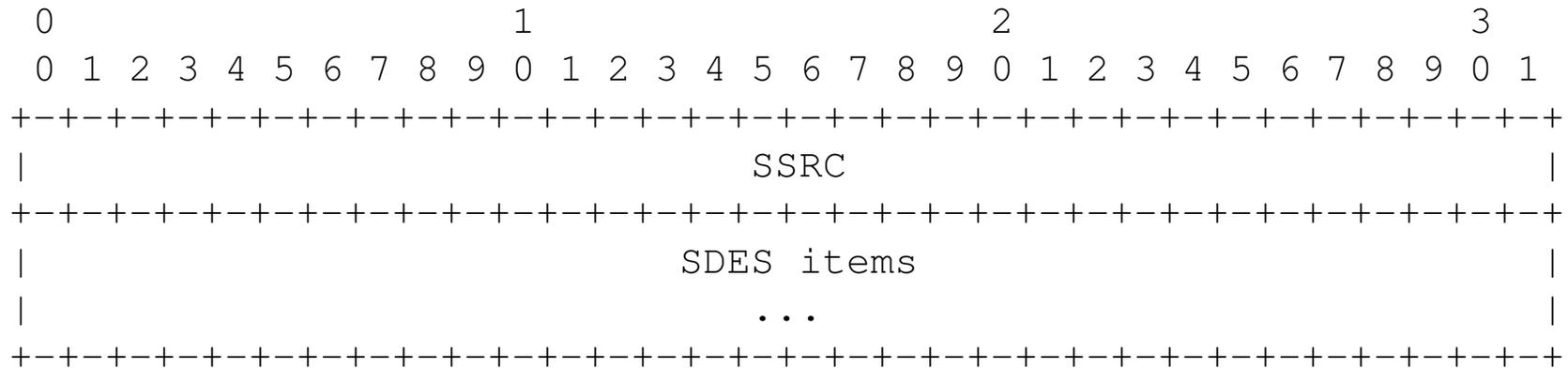
- Temps de l'horloge murale
- NTP = « Network Time Protocol »
- Secondes depuis 0h UTC le 1 janvier 1900
 - 32 premiers bits indiquent le nombre de secondes
 - 32 derniers bits indiquent la portion d'une seconde

■ Estampille temporelle RTP

- Le temps équivalent en unités de l'application

■ Nombre de paquets, d'octets depuis le début

Les rapports SDES : Source Description



PT : 202

Information descriptif à propos de la source

Exemples des rapports SDES

- CNAME : doe@sleepy.megacorp.com
 - Nom constant à travers des SSRCs
- NAME : John Doe, Bit Recycler, Megacorp
- EMAIL : John.Doe@megacorp.com
- PHONE : +1 908 555 1212
- LOC : Murray Hill, New Jersey
- TOOL : videotool 1.2
- NOTE : « ligne occupée »
- PRIV : usage privé

Autres rapports RTCP

■ BYE

- Pour terminer une session RTP

■ APP

- Spécifique à l'application

■ XR (RFC 3611)

- Rapports détaillés de pertes et de délais
- Métriques VoIP

■ Proposé :

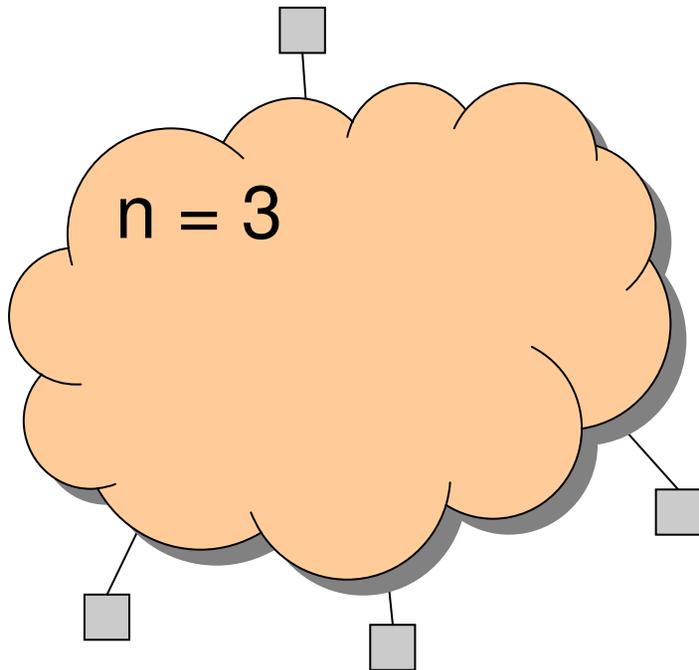
- Acquittements pour RTP en unicast

Plan

- Introduction
- Communication en temps réel
- RTP
- **Limitation de débit RTCP**
- RTP et le temps réel

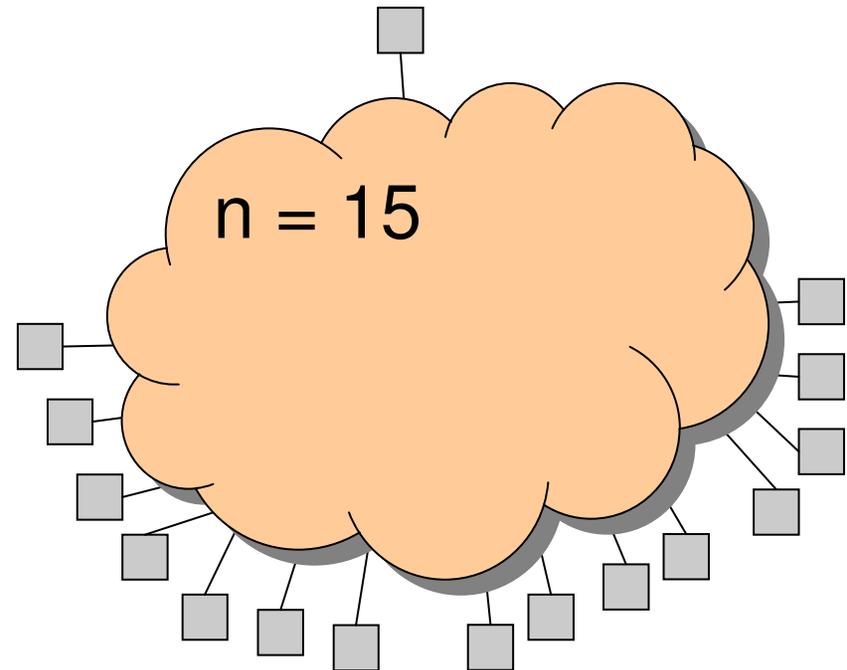
Problème de résistance au facteur d'échelle

Débit RTP = 10 Kbps



Débit RTCP = 0,5 Kbps

Débit RTP = 10 Kbps



Débit RTCP = 2,5 Kbps ? **X**
Débit RTCP = 0,5 Kbps

Un algorithme distribué

■ Soit :

- d = débit RTP (connu par tout le monde)

- d' = débit RTCP = $0,05 d$

- d'' = débit RTCP des récepteurs = $0,75 d'$

- n = nombre de récepteurs (estimé)

- T = taille moyenne des paquets RTCP (estimée)

- f = fréquence cible d'émission = d'' / nT

■ Délai entre émission de paquets RTCP :

- Choisi à l'aléatoire entre $0,5/f$ et $1,5/f$

Estimation du nombre de récepteurs

- Chaque participant compte les participants
 - Arrivé d'un SR : compte une source
 - Arrivé d'un RR : compte un récepteur

- S'il s'agit d'un nouveau participant
 - Il n'a pas encore eu le temps de compter
 - Il attend une intervalle minimale

Plan

- Introduction
- Communication en temps réel
- RTP
- Limitation de débit RTCP
- RTP et le temps réel

Rappel des besoins

- Horodatage des données
- Synchronisation des flux
- Résistance contre les pertes, duplicatas, mauvais ordre
- Identification de participants
- Surveillance de l'état de la connexion
- Contrôle de flux
- Contrôle de congestion
- Besoins avancés :
 - Support pour le transcodage de données
 - Sécurité de données

Horodatage

- Estampille temporelle RTP
 - Spécifique à l'application
 - Pour la lecture des données

Synchronisation des flux

- Estampille temporelle NTP
 - Temps de l'horloge murale
 - Coordination entre les estampilles d'applications

Résistance contre les pertes, etc.

- Récolte d'informations :
 - Numéro de séquence RTP
 - Taux de pertes
 - Nombre de paquets perdus
- Pas de mécanisme intégré
 - A l'application de réagir
 - Chaque application à ses propres besoins
 - Exemple : redondance audio
 - Exemple : protection de trames I en MPEG

Identification de participants

■ CNAME

- Exemple : doe@sleepy.megacorp.com

- Unique et constant à travers les flux

■ SSRC

- Numéro unique par participant par flux

■ Informations SDES

- Informations supplémentaires

Surveillance de l'état de la connexion

■ Les RR

- Pertes depuis le dernier rapport
- Pertes depuis le début
- Information concernant le RTT
- Gigue

■ D'autres rapports

- Les XR : information détaillé sur pertes, délais, métriques VoIP

Contrôle de flux

■ Données RTP

- Pas de mécanismes de contrôle de flux

■ Rapports RTCP

- Mécanisme de limitation du débit des rapports
- Typiquement à 5% du débit des données RTP

Contrôle de congestion

- Pas de mécanisme dans l'RTP
- RTCP fourni des informations
 - Taux de pertes, par exemple
 - Ils peuvent être utilisés par une application

Support pour le transcodage de données

- RTP permet de mélanger les flux
 - Plusieurs SSRCs attachés à un flux mélangé
- Les détails dépendent de l'application

Sécurité de données

- RTP est compatible avec la sécurité
 - Numéro de séquence initialisé à une valeur aléatoire
 - Pareil pour l'estampille temporel
- L'encryption n'est pas encore dans le norme
 - Un sujet de travail actuel