

**Introduction à la
problématique des
Réseaux avec QoS
- Plan et Contexte -**

Ingénierie des Réseaux d'Entreprise (Cycle C),
Compléments Réseaux de Transport et Application (Cycle B)

Janvier 2002

Eric Gressier-Soudan

Plan

1. Contexte

2. Liaisons d'Acheminement et Propriétés de QoS

3. Internet Classique et QoS

4. Introduction à l'Internet Multicast

5. Eléments d'architecture de l'Internet à QoS

6. Eléments de Spécification de Propriétés de QoS : SLS/SLA

Références Bibliographiques (incomplète)

Etudes

Etude et Implantation d'un service de liaisons temps réel dans une plateforme à objets répartis. A. Arazo. Mémoire d'Ingénieur CNAM. Paris. Novembre 1996.

Intégration Voix-Données sur Frame Relay. C. Debiche. Mémoire d'Ingénieur. CNAM Paris Décembre 2000.

Conception d'un Système Distribué temps Réel fondé sur ATM. C. Lizzi. Thèse du CNAM. Décembre 1999.

Livres

Quality of Service in IP Networks. G. Armitage. Macmillan Technical Publishing. 2000.

Open Distributed Processing. G. Blair, J-B. Stefani. Addison Wesley. 1997.

Switched, Fast and Gigabit Ethernet, third Edition. R. Breyer, S. Riley. MacMillan Technical Publishing. 1999.

Ipv6, Théorie et Pratique. G. Cizault. O'Reilly. 1998.

Quality of Service: Delivering QoS in the Internet and in Corporate Networks. P. Ferguson, G. Huston. J Wiley. 1998.

Le Routage dans l'Internet. C. Huitema. Eyrolles. 1995.

Deploying IP Multicast in the Enterprise. T. Maufer. Prentice Hall. 1998.

Les hauts débits en Télécoms. C. Servin, S. Ghernaoui-Hélie. InterEditions. 1998.

Designing Quality of Service, Solutions for the Enterprise. E. Siegel. John Wiley. 1999.

TCP/IP illustrated, Volume 1 : The protocols. W.R. Stevens. Addison Wesley. 1994.

Internet Multimedia et Temps Réel. JF. Susbielle. Eyrolles. 2000.

Supporting Service Level Agreements on IP Networks. D. Verma. Macmillan Technical Publishing. 1999.

Policy Based Networking, Architecture and Algorithms. D. Verma. New Riders Publishing. 2001.

Tutoriaux

Qualité de Service (QoS) et Contrôle de trafic dans les réseaux IP – Tutoriel. O. Bonaventure. Global Networked Solutions. 22 Octobre 1999.

Un état de l'art sur la nouvelle génération Internet. G. Pujolle, D. Quibech. Prentice DNAC'2000. 2000.

La convergence fixe-mobile dans la nouvelle génération Internet, L'Internet ambient. G. Pujolle. DNAC'2001. 2001.

CONTEXTE

QoS (1)

La notion de Qualité de Service (QoS pour Quality of Service) est à la fois très neuve et très ancienne.

Très ancienne : c'est une notion sous-jacente dans les relations client-fournisseur, dans les démarches ISO9000, et dans le domaine des réseaux entre une entreprise et un opérateur ... réglé communément par des échanges de fax dans ce cas ! C'est un paramètre présent dans la primitive de service d'ouverture de connexion du service de Transport ISO par exemple.

Très neuve : c'est une notion qui ré-apparaît dans un contexte réseau autour des technologies de type Internet ... En effet, on ne se soucie plus d'un réseau Internet conforme aux besoins des applications informatiques traditionnelles (messagerie, transfert de fichiers, web...) , mais on a besoin d'un Internet capable de supporter les besoins des communications Telecom (voix, visio-conference, vidéo...) qui sont émergentes.

Dans le contexte Internet, les travaux sur la QoS sont relativement nouveaux, et commencent seulement à se structurer.

QoS (2)

Définition de la notion de QoS : Il n'y a pas une QoS mais plusieurs !

QoS structurelle, associée à l'architecture

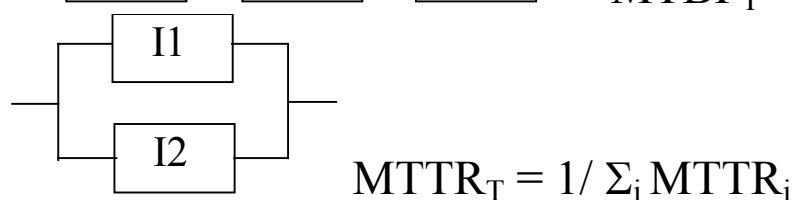
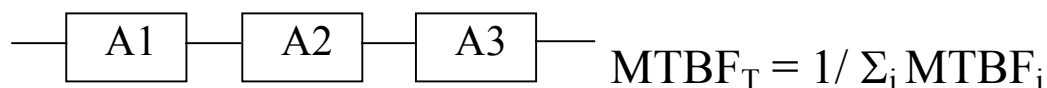
- **Disponibilité :**

MTBF, Mean Time Between Failure,

MTTR, Mean Time To Repair

Disponibilité $A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$

Indisponibilité $I = \text{MTTR} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) = 1 - A$



Pour augmenter la disponibilité d'une architecture, on investit sur le matériel (meilleur MTBF), ou on provisionne le poste maintenance (meilleur MTTR, on diminue l'indisponibilité).

Intéressant par rapport à un opérateur, mais ce n'est pas l'objet du cours !

- **Sûreté/Fiabilité :**

Propriété de résistance aux pannes :

- Pannes franches,
- Pannes par omission
- Pannes temporelles
- Pannes byzantines simples
- Pannes byzantines malicieuses

QoS (3)

- **Sécurité :**

Aspect qui commence à être intégré dans les contrats de Qualité de Service et dans leur gestion au niveau des routeurs (approche QoS Provisionning) avec les règles de filtrage sur les files des routeurs, on peut éliminer un flot visant la surcharge d'un serveur afin qu'il soit en déni de service

- **Extensibilité :**

Possibilité d'Ajout d'utilisateurs, de machines, de services...

- **Maintenabilité**

Propriétés dynamiques :

- **Qualitatives**

- Criticité
- Qualité de la production (information dans son domaine de définition, valeur réelle, valeur saisie, fraîcheur ...)
- Relation de Causalité/Ordre des informations

QoS (4)

- **Garantie de Performances**

- Temps de réponse
- Latence (temps de transfert) et Gigue
- Débit/Bande Passante

Performance Réseau on ajoute :

- Taux de perte de datagrammes (indicateur de congestion)
- *Taux d'erreur (les erreurs devraient être faibles compte tenu de la qualité des supports physiques les plus utilisés*

QoS temporelle (assez liée au modèle ATM)

C'est l'objet du cours IRE.

Toutefois, le travail de l'IETF vise à prendre en compte l'ensemble des propriétés énoncées ci-dessus dans les architectures réseau.

QoS (5)

Dans un contexte Internet, nous nous intéressons à :

- Le support d'échanges de données Multi-Média,
 - La Téléphonie sur Réseaux Haut Débit, (avènement d'Internet 2) qui est une nouvelle architecture bien au-delà de la Voix sur IP
 - Les Réseaux d'Entreprise (base Internet mais pas seulement -> technologie Frame Relay voire ATM)
 - VPN
 - Intranet-WAN
- C'est certainement à ce niveau que la notion de SLA (Service Level Agreement) a le plus de sens aujourd'hui!
- Les réseaux d'Informatique Industrielle, échanges de contrôle-commande, sous entendu à contraintes temps réel !

Il faut toujours se poser la question des contraintes de QoS du point de vue des applications (Users' Requirements) ! C'est avant tout un travail d'Audit et d'Ingénierie Sociale ... pour éviter de découvrir les besoins et les problèmes au moment de la mise en œuvre du pilote, voire pire, au moment du déploiement.

Il faut ensuite se poser la question des outils à utiliser pour la spécification et la conception, puis pour le développement (API, plates-formes, sondes de mesure, bases d'information...), pour les tests de composants, la validation et la recette de l'architecture.

Réseaux d'Entreprise (RE)

Réseau d'Entreprise :

- site principal (siège)
- des agences
- des sites de production
- des sites de stockage
- des partenaires

réseau national, européen, mondial

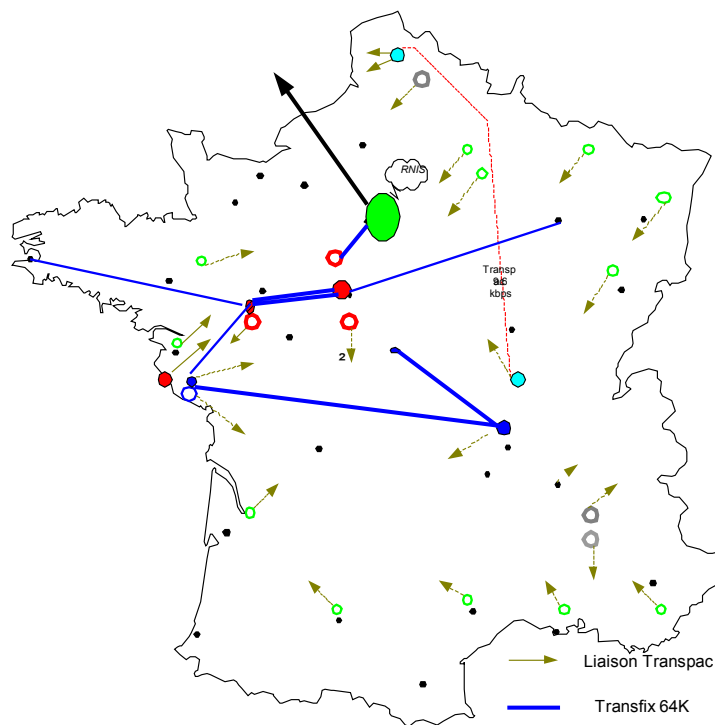
Flux inter-sites, données informatiques :

- messagerie (essentiellement)
- transfert de fichiers au sens ftp (assez peu)
- web, pour le système d'information interne (pas majoritaire)
- données de gestion de production associées à ERP, nature transactionnelle (régulier)

Parfois flux téléphone (intra-site et inter-site), fonction émergente.

RE – Ingénierie d'un Réseau d'Entreprise (1)

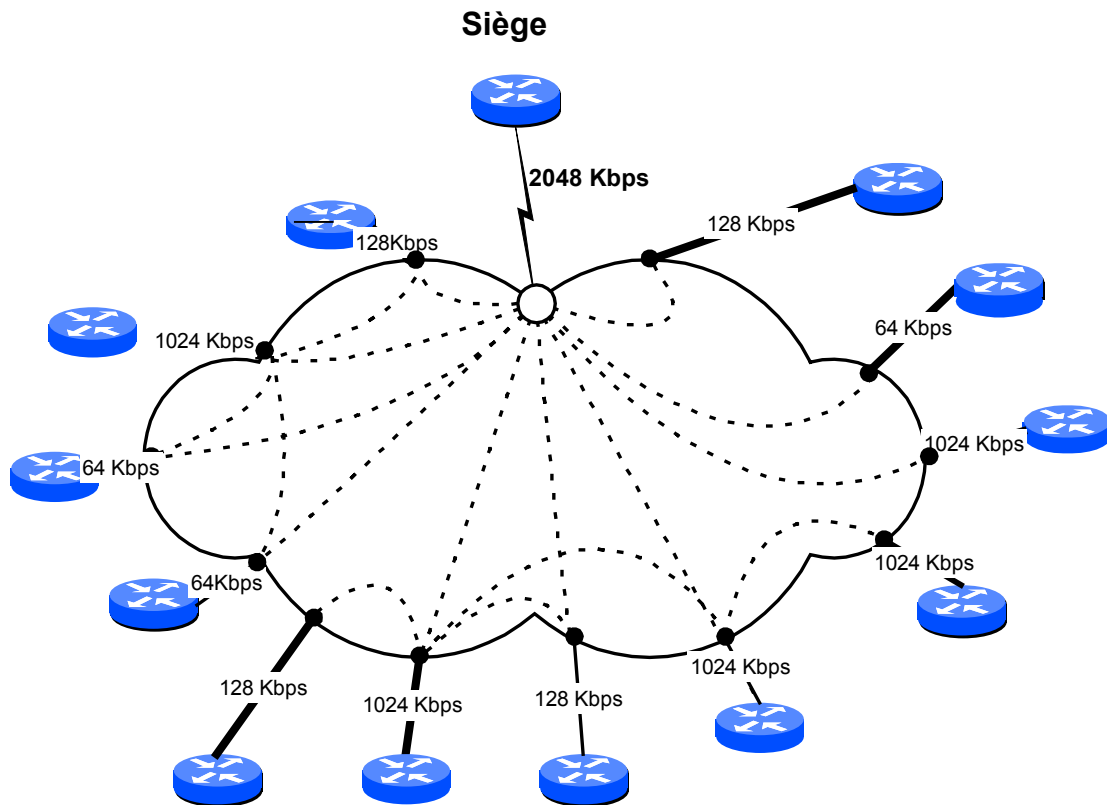
L'existant :



Des matériels hétérogènes, pas de stratégie globale, des intervenants et des fournisseurs nombreux avec des intérêts contradictoires parfois.

RE – Ingénierie d'un Réseau d'Entreprise (2)

Ce qu'il faut concevoir :



- Bases des solutions anciennes : X25-Transpac ou LS secouru RNIS
- Bases des solutions actuelles ou émergentes: Frame Relay avec un cœur ATM ou VPN

Dans un contexte d'info-gérance, le système d'information est souvent géré par la même société. Il faut parfois ajouter un contexte européen voire international.

Téléphonie (T)

En l'état actuel, solutions de Téléphonie hors opérateur Telecom:

- Interne : LAN
- Externe : VoATM, VoFR (recommandations FRF11 et FRF12 du Frame Relay Forum), VoIP

Voix numérisée classique (PCM-MIC, G.711): 64Kb/s

Contraintes : latence max 150 ms (confortable), ne pas dépasser 400ms sinon effet half-duplex (ou satellite)

Autres standards :

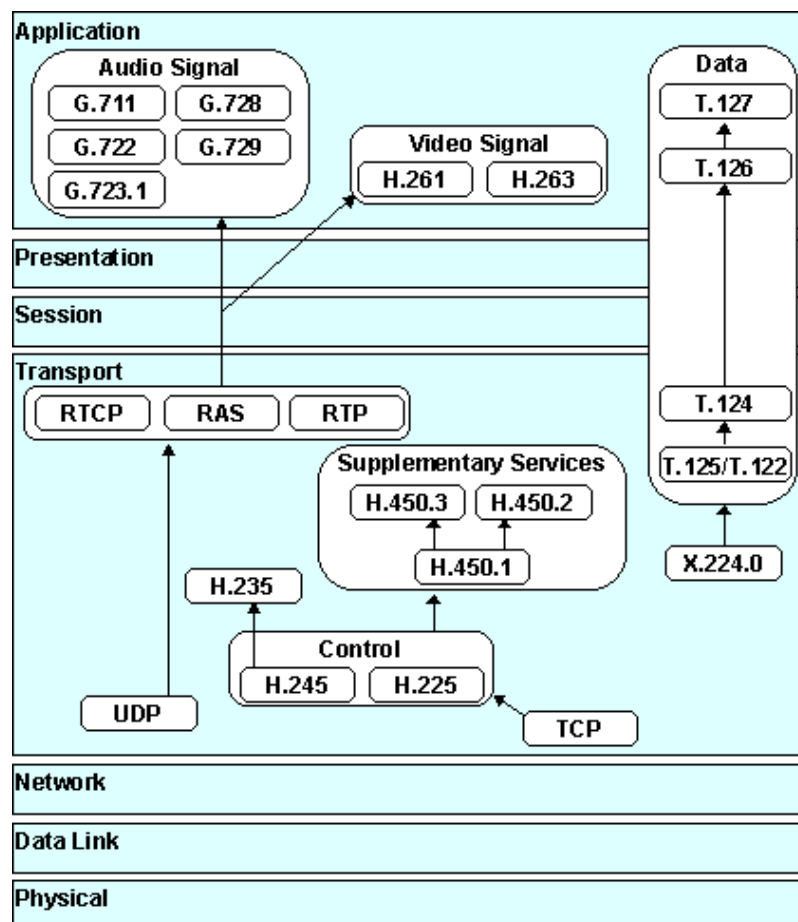
- G.726 : Voix numérisée compressée (32 Kb/s)
- G.728 : Voix paquetisée pour VoFR, VoIP (16 Kb/s)
- G.729A : Voix paquetisée pour VoFR, VoIP (8 Kb/s)
- G.723.1 : Voix paquetisée pour VoFR, VoIP (5,3/6,3 Kb/s)

Pour l'Internet, en terme de calcul de contrat de qualité de service, penser à la taille des échantillons envoyés et à leur périodicité, il n'est pas pensable d'envoyer un échantillon de voix par datagramme (40 octets d'entête : 20 (IP) + 8 (UDP) + 12 (RTP)).

Téléphonie – Architecture H323

H323 : protocoles et codeur/décodeur

Architecture de Communication pour l'audio et la vidéo supposant des réseaux de type best effort (sans QoS) dont Internet



Comme le montre la figure, H323 permet d'acheminer de la voix et des données.

Téléphonie – Internet 2

On assiste à l'entrée massive des acteurs Telecom à l'IETF (FT, Alcatel, Nortel, Lucent...) -> Emergence d'un nouvel Internet parallèle à l'Internet actuel

Constats de départ (G. Pujolle, tutoriel DNAC'2000) :

- Nouvelles technologies optiques à haut débit : WDM (Wavelength Division Multiplexing), atteint plusieurs dizaines de Gb/s, DWDM (Dense WDM) atteint le terabit/s (10^{12} b/s), ATM pas adapté (limite technologique de l'ordre de 2Gb/s)... pb détecter le plus vite possible le début d'une trame... bit qui n'est ni un 0 ni un 1
on passe du datagramme IP à la trame IP
- besoin d'un cœur de réseau rapide pour le réseau fixe associé à UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems)

2 solutions : Un réseau tout IP, ou un réseau hétérogène (solution de transition fondée sur la commutation MPLS, Multi-Protocol Label Switching).

La notion de SLA est donc indispensable pour Internet 2^{ème} génération.

Applications Multimédia (MM)

Applications de Présentation (unidirectionnel):

- Vidéo/Audio à la demande : Distribution Films/Musiques dans les hotels, Distribution TV (émissions, reportages...), Télé-surveillance (fabrication ->détection de pièces défectueuses, malades...)
- Courrier/Forum de discussions avec des données MM
- Système d'information (bornes interactives, Web)

Applications Interactives et Multi-participants: Vidéo Conférence, Télé-opération, (Jeux en réseau, Café électronique)

Applications cumulant les deux profils :

- Travail coopératif : prototypage/maquettage rapide, entraînement en simulation (réalité virtuelle), télé-maintenance, télé-médecine
- Enseignement à distance

Plusieurs Média sont utilisés simultanément : son, image, image animée, graphiques ... **numérisés avec ou sans compression de données** (JPEG, MPEG-x, H261...) qui transforme un média en diminuant son volume mais en rendant son débit variable (apparition de rafales - burst).

Multimédia- Types de Média

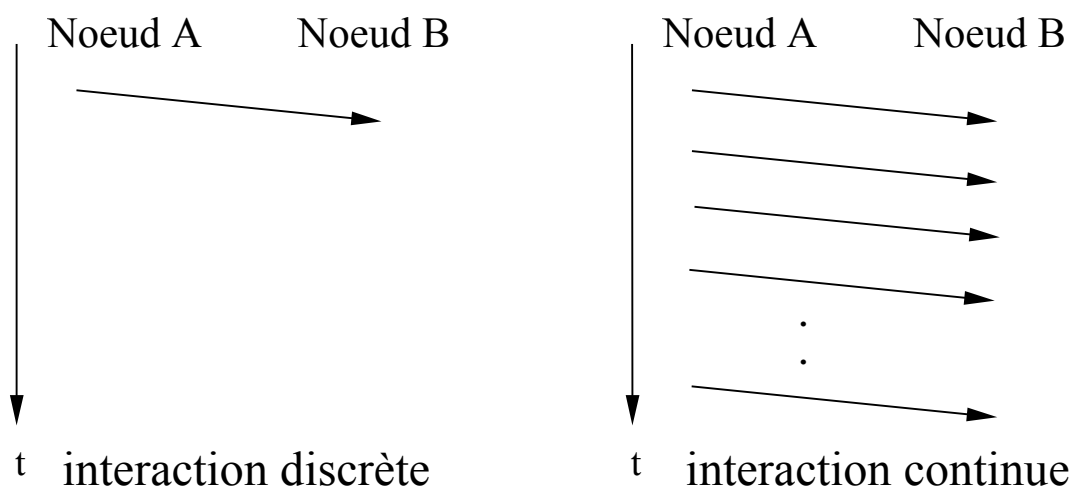
Média continu

Les données correspondent à un flux dont la présentation est assujettie à des contraintes temporelles (temps réel). Le temps séparant l'arrivée de deux données est connu et dépend de leur nature (voix -> 64kb/s soit 8 bits toutes les 125us, pour de la vidéo haute définition -> 200Mb/s soit 25 ± 5 images par s). L'infrastructure de transport doit intégrer tous les types de média.

Média discret

Les média discrets n'ont pas de contraintes temps réel (image, texte, graphique ...).

Modèles d'interactions associés :



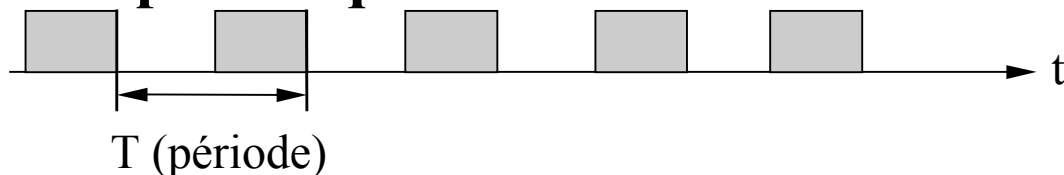
MM- Contraintes sur les média à échanger

Nature des Flots de données échangés:

- Caractéristiques temporelles
 - **flot asynchrone** : appliqué aux média discrets, une donnée n'a pas de contrainte spécifique p/r aux données précédentes, elle atteint le récepteur le plus rapidement possible (politique "best effort"... éventuellement n'arrive pas)
 - **flot synchrone** : appliqué aux média continus, chaque donnée est séparée de la précédente par un intervalle de temps fixe (séquence vidéo, voix numérisée...), on dispose d'une **périodicité forte** (propriété CBR pour Constant Bit Rate, flot direct)
 - **flot isochrone** : appliqué aux média continus, chaque donnée est séparée de la précédente par un intervalle de temps moyen encadré par un temps minimum et un temps maximum (trafic sur FDDI est isochrone), le **flot** peut être **sporadique**, **faiblement périodique** ou **apériodique** (dans ATM propriété VBR pour Variable Bit Rate, pour flot avec compression)
- Taille des données
 - **Constante**
 - **Variables avec périodicité des tailles**
 - **Complètement irrégulières**

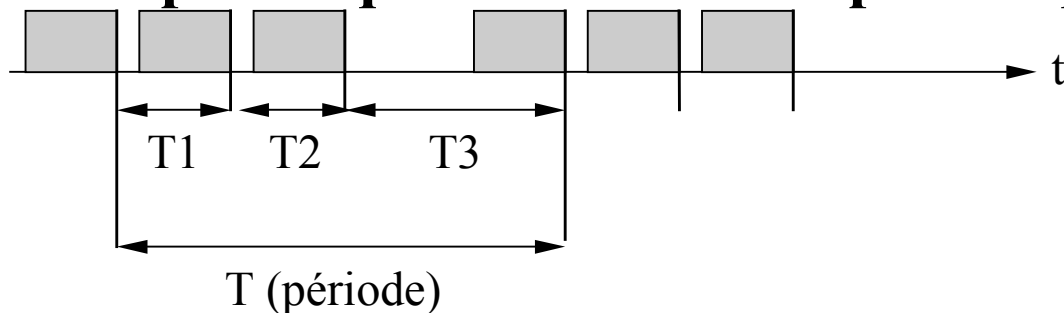
MM- Flots de Données: Caractéristiques temporelles

Flot périodique

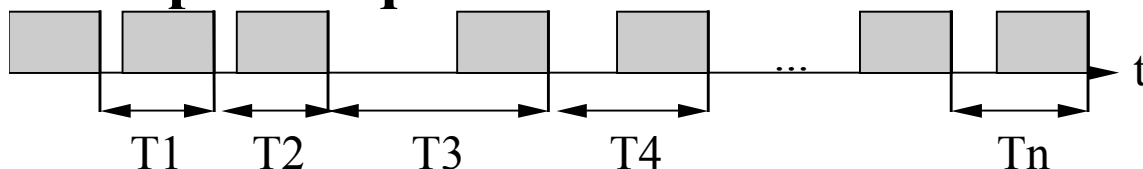


La gigue est nulle

Flot sporadique ou faiblement périodique

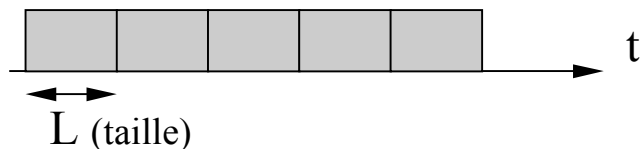


Flot apériodique

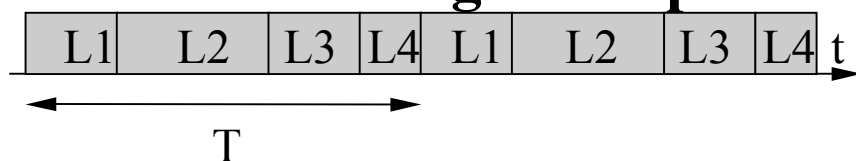


MM- Flots de Données : Volume

Taille constante



Taille avec changement périodique



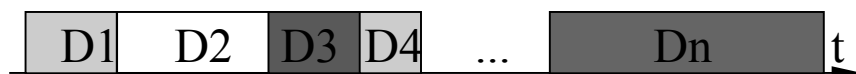
Flot de messages irréguliers



MM- Flots de Données : Continuité

(vue logique)

Flot continu



Flot discret



Quelques Repères sur la numérisation des données audio/vidéo

La numérisation procède par échantillonnage d'un signal analogique.

La fréquence d'échantillonnage dépend de la fréquence du signal analogique ($F_E = 2 * F_S$ d'après Nyquist). L'échantillonnage est effectué dans le codec.

Exemple le plus classique : Numérisation de la voix

Bande passante de la voix humaine 200-3200Hz soit 3000 Hz, le téléphone a choisi 4 KHz, la fréquence d'échantillonnage est donc de 8000Hz, et chaque échantillon est codé sur 8 bits -> 64Kb/s

Pour le son qualité CD, on considère la Bande passante de l'oreille 20Hz-20Khz, la fréquence d'échantillonnage considérée est 44,1 KHz, chaque échantillon est codé sur 16 bits, d'où un débit de 1,411200Mb/s (2 voies à cause de la stéréo).

Les images sont représentées par des ensembles de points (pixels) représenté par 1 bit, 8 bits (couleur ou dégradé de gris), ou 24 bits (couleur-brillance). Après, il faut considérer le nombre de pixels par ligne, et le nombre de lignes d'une image. Le poids d'une image sur un écran SVGA de résolution 1024*768 en 256 couleurs est de 6 Mb.

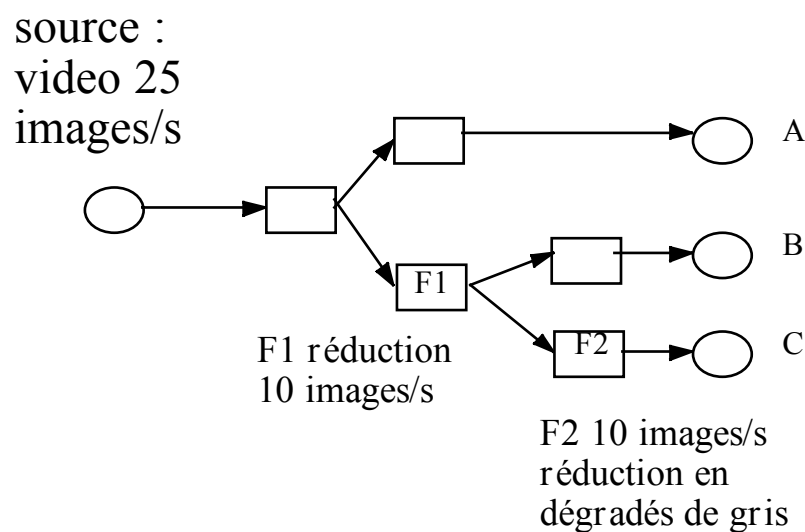
Pour les vidéo, on parle de vitesse de projection exprimée en images (frames) par secondes. La valeur standard varie de 25 (Europe) à 30 images (US) par secondes. Suivant le format de l'image, on a de l'ordre de 80Mb/s (standard) à 200Mb/s (TV haute définition) voire 75Gb/s (image de qualité film) suivant la qualité de la vidéo transmise.

MM- Communications Multi-participants

Schémas d'interactions : 1 vers N (broadcast/multicast), N vers 1 (supervision), et M vers N (conversation)

Gestion de groupes de participants à constitution dynamique

Conséquences sur la gestion des contraintes temporelles : les différents participants et les moyens d'acheminement des flux n'ont pas tous les mêmes capacités/caractéristiques.



Conséquences sur la synchronisation : ce n'est pas seulement la synchronisation temps réel, mais contraintes de séquençement des données (ordre local à la source, ordre total, ordre causal...)

MM- Interactions entre flux de données

Modèle utilisateur : Producteur-Consommateur (Push-Pull)

Flux simple : Les contraintes de temps portent sur les éléments du flot entre-eux (synchronisation intra media)

Flux complexe : Plusieurs flux sont synchronisés les uns par rapport aux autres (synchronisation inter-media)

exemple : la synchronisation voix-mouvement de lèvres

Ces contraintes doivent être vérifiées même si les entités participantes sont éloignées et multiples (schéma diffusion).

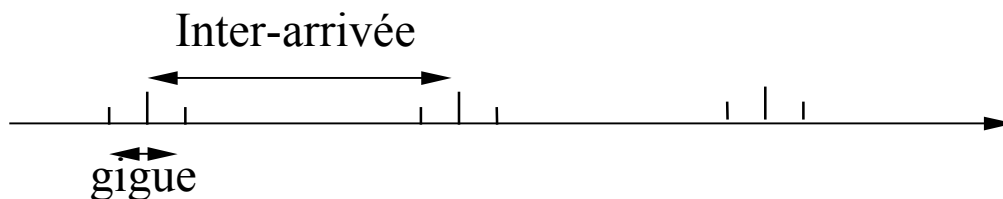
Les contraintes de synchronisation peuvent être dynamiques, c'est à dire connues à l'exécution (interactivité et non prédictibilité, par exemple transmission vidéo lors d'un interview).

Il faut disposer d'un langage de spécification des contraintes de synchronisation temporelles.

MM- Catégories des Contraintes de Qualité de Service Temporelle

3 catégories principales de contraintes :

- . **Temporalité** : temps de transfert (latence) en ms pour continu et discret, gigue en ms pour continu



- . **Volume** : débit exprimé en b/s pour les interactions discrètes, en unités de données par s pour les interactions continues
- . **Fiabilité** : pour un flux continu taux de perte d'unités de données ou taux d'erreurs bit par unité de données, pour un flux discret taux d'erreurs bit uniquement

Les contraintes peuvent s'exprimer de façon **déterministe**, de façon **probabiliste** (taux de satisfaction en %), **stochastique** (loi de distribution mathématique).

Classes de qualité de service : QoS garantie, ou QoS "best effort"

MM- Contraintes des applications multimédia

En résumé des contraintes spécifiques des applications multimédia distribuées :

Support des schémas d'interaction Multimédia,

Synchronisation temporelle intra-media et inter-media avec contraintes de délai d'acheminement et de débit,

Gestion de Contraintes de Qualité de Service (QoS),

Communications multi-participants.

Besoins Globaux

Modèle de Description d'Application

Modèle de Spécification de QoS

Modèle d'Architecture

Dans la réalité, c'est un domaine qui se cherche encore, des outils partiels émergent, les solutions ou les approches pour lesquelles il y a des outils sont plutôt propriétaires. Ca semble toutefois se stabiliser !

QoS du point de vue Réseau (point de vue du cours)

Niveau Physique : Raisonement en Bande Passante, on cherche le haut débit, une fiabilité intrinsèque, et si possible des propriétés temporelles (ISDN -> isochrone, réseaux à haut débit SDH-SONET, technologie ADSL, câble TV)

Niveau Liaison : Raisonement en débit, et en allocation de ressources d'accès par exemple FDDI, Frame Relay, Ethernet commuté full-duplex avec 802.1Q/p, on peut considérer ATM comme un protocole de liaison, le contrôle de flux (LLC, HDLC, PPP ...) entre dans la gestion des ressources

Niveau Réseau : Raisonement en débit à travers plusieurs réseaux, allocation et gestion de ressources (contrôle de congestion, approche de type connexion préférée, gestion des pannes de nœuds, gestion de files), l'incontournable IP et ses extensions (approches IntServ et DiffServ), ATM aussi

Niveau Transport : Raisonement en contraintes temporelles de bout en bout, de processus applicatif à processus applicatif (XTP, ST-II, suite Tenet), allocation de ressources mémoire (tampons) avec mécanisme zéro-copie, reprise sur erreurs suivant le type de trafic

Toutes les couches traversées introduisent des délais : emballage/déballage, gestion de PDU, attente en file (in et out), commutation de contexte processeur pour le traitement des piles protocolaires, interruptions avec interface réseau.