Techniques, environnements et services de visioconférence IP

Guy Bisiaux
Comité Réseau des Universités
Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
guy.bisiaux@univ-valenciennes.fr

Jacques Prévost
GIP Renater
jacques.prevost@renater.fr

Robert Rumeau, Patrick Gélard
CNES Toulouse
Robert.rumeau@cnes.fr , Patrick.Gelard@cnes.fr

Résumé

Cet article présente les différentes techniques de visioconférence IP utilisées au sein de notre communauté enseignement supérieur et recherche. Nous abordons d'abord les techniques et les systèmes de visioconférence H323 en présentant les terminaux et serveurs (postes clients, pont multipoint, passerelle H320 et Gatekeeper). Des informations sur l'architecture H323 sont fournies afin de mieux comprendre et résoudre les problèmes liés à la sécurité et à la traduction d'adresse (NAT). Des services de visioconférence sont en déploiement sur Internet et utilisent un plan de numérotation similaire à la téléphonie (GDS proposé par TERENA). Renater a adopté cet adressage que nous détaillerons. Ensuite, nous présentons les environnements de visioconférence en IP multicast (logiciels, technologie, protocoles et services sur Internet), et brièvement la diffusion vidéo (serveur vidéo) utile pour le télé-séminaire. Enfin, nous nous intéresserons à des services de visioconférence proposés par Renater, à des systèmes de réservation de salle de visioconférence, notamment VRVS et un projet de développement du CNES de Toulouse. Le dernier chapitre est consacré à la qualité de service en IP par la présentation de mesures, de projets et de services d'opérateur.

Mots clefs

H323, MCU, GateKeeper, proxy H323, Gateway H320/H323, sécurité/Firewall, GDS, IP multicast, Mbone, Streaming video, Grille de conférence, VRVS, réflecteurs, Qualité de service IP, CoS.

1 Introduction

Lorsqu'on veut communiquer en visioconférence, on s'attend à disposer d'un matériel fiable et économique pour pouvoir émettre et recevoir des appels. A priori, on n'a pas à avoir de connaissance particulière sur les réseaux et les techniques utilisées. D'ailleurs, l'expérience montre que beaucoup utilisateurs de la visioconférence ne font pas de différence entre réseaux RNIS et réseau IP. C'est normal, ce n'est pas de leurs compétences.

La norme H320, utilisée sur RNIS, est depuis plus de vingt ans utilisée pour sa fiabilité et sa capacité à couvrir presque tous les continents. Les coûts de communication, fonction de la distance et du débit demandé, restreignent toutefois son utilisation et limitent la qualité vidéo.

Les réseaux IP de l'Internet, en particulier les grands réseaux académiques et de recherche, permettent aujourd'hui d'être complémentaires et concurrentiels à H320. Plusieurs techniques de visioconférence se sont développées : Le H323, adaptation de H320, qui est probablement la plus connue ; les logiciels issus de travaux de recherche européens utilisant les réseaux IP multicast ; les transmissions de flux vidéo et audio en temps réel, issues de serveurs vidéo.

Autour de ces techniques, des services de visioconférence ont été développés, en particulier des systèmes de réservation de salles virtuelles. De même, des infrastructures logiques de communication, basées sur des plans d'adressage globaux, se sont déployées en Europe, et plus généralement, sur des réseaux académiques à travers le monde.

L'exploitation des techniques de visioconférence sur les réseaux IP nécessite une attention particulière sur la sécurité informatique. Aujourd'hui, visioconférence IP et sécurité se sont pas incompatibles, des solutions existent.

Beaucoup d'entres nous, dirons que la faiblesse des réseaux IP par rapport à RNIS, réside dans son absence de bande passante garantie. D'où le risque de coupure du son et de l'image en cours de visioconférence lors de congestion des liaisons. Les débits disponibles aujourd'hui sur les réseaux de notre communauté minimisent ce risque. Il convient cependant de l'évaluer par des mesures. Pour garantir une qualité de service en IP, il existe des solutions basées sur la

différentiation des flux. Des expérimentations ont été menées, quelques réseaux de collecte disposent d'un service de classe de service IP. On peut espérer un déploiement plus important dans l'avenir.
Parmi ce dédale de techniques, l'utilisateur doit être aidé. Les personnes compétentes dans ce domaine sont les informaticiens et les administrateurs réseau. Ils doivent définir les environnements de visioconférence selon les moyens disponibles (réseau d'établissement et de collecte, serveurs, ressources humaines) et les critères de l'utilisateur (situation géographique, moyens financiers). Pour cela, il est nécessaire d'acquérir de nouvelles compétences sur les techniques et les protocoles de visioconférence IP. Les usages pourront alors se déployer significativement.

2 visioconférence H323

La recommandation H323 de l'ITU (International Telecommunication Union) est une adaptation du standard H320 pour les réseaux IP. Les systèmes de visioconférence H320 sont commercialisés depuis les années 90 et sont utilisés sur les Réseaux Numériques à Intégration de Services (RNIS ou en anglais ISDN), connus en France par l'offre Numéris de France Télécom. L'ITU regroupe principalement les entreprises de télécommunication qui, elles-mêmes, commercialisent des terminaux et des serveurs H323.
Dans ce chapitre consacré à H323, nous présentons les équipements employés (terminaux et serveurs), les protocoles mis en œuvre, la problématique liée à la sécurité sur Internet, et les services déployés sur Renater.

2.1 Terminaux et serveurs H323

On trouve deux types de terminal H323, les produits hardware et les logiciels :
Le kit hardware, constitué d'un Codec, d'une caméra, d'un micro, d'une TV, et d'accessoires divers (meuble, caméra banc titre, magnétoscope, …). On en trouve maintenant de très bonne qualité à moins de 4000 €. Dans le choix de ce type de terminal, il peut être judicieux de prendre des solutions mixtes H320/H323. Les fonctionnalités, les qualités et l'ergonomie de ces produits sont supérieures aux logiciels et en font des produits professionnels.
Les logiciels, permettent d'avoir une première approche de la visioconférence en H323, parmi les plus connus : NetMeeting intégré dans l'environnement Microsoft, les logiciels libres OpenPhone (http://www.openh323.org) sur Windows et Gnomemeeting (http://www.gnomemeeting.org) sur Linux. Des licences logiciels sont également proposées sur Mac OS avec VideoLink de SmithMicro Software (http://www.smithmicro.com) et sur SGI (SGImeeting), HP (Visualize Conference) et SUN (SunForum) :
http://www.dataconnection.com/products/PRODSidx.htm

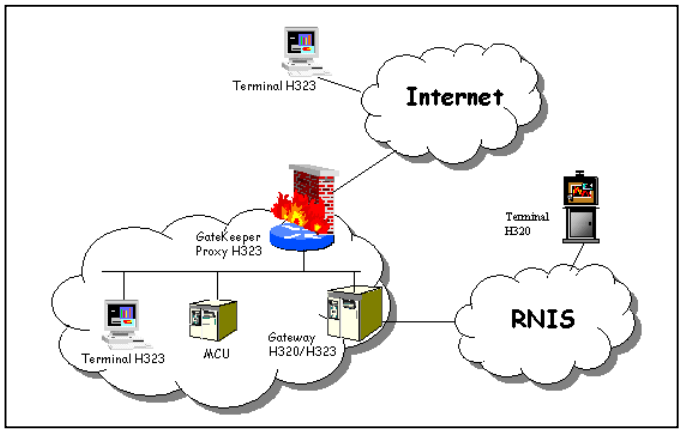


Figure 1 - *serveurs de visioconférence H323*

Le **Gatekeeper**, le **MCU** et la **passerelle** H320/H323 constituent les **serveurs** de visioconférence. Ils sont optionnels car deux terminaux peuvent communiquer directement entre eux. Cependant, ils sont indispensables dès lors qu'on veut déployer des services dans un établissement. Une zone de communication H323 est gérée par un Gatekeeper, les conférences entre plusieurs utilisateurs sont assurés par des ponts multipoint (MCU), et les interconnexions avec les systèmes H320 en RNIS sont effectuées par des passerelles H320/H323.

GateKeeper (GK) : Le Gatekeeper (ou opérateur de contrôle) permet d'administrer des services de visioconférence. Il se charge de router les appels entre terminaux ponts passerelles d'une même zone de communication H323, et vers d'autres GK de zones différentes. Le routage de la signalisation entre GK permet de transférer un appel d'un terminal vers un autre (ou MCU et GW). Les flux vidéo/audio sont ensuite établis directement entre les terminaux sans passer par les GKs. Dans certaines situations (passage de Firewall), le GK peut router toutes les connexions (signalisation, flux, …). Il n'y a donc plus de connexion directe entre les terminaux, les GKs fonctionnent en mode proxy.
Un ensemble de GK permet de constituer un réseau virtuel H323 qui détermine le chemin entre un appelant et un appelé. Ces GKs communiquent selon un schéma d'adressage établi par convention. Sur nos réseaux académiques (Renater, Géant, Internet2), il a été convenu d'adopter un adressage basé sur la numérotation téléphonique E164.
Exemple : le logiciel libre du GNU : http://www.gnugk.org , il intègre un proxyH323 et fait du NAT. L'exemple de configuration active le mode proxy. Les terminaux en adressage privée enregistrés sur le GK peuvent appeler ou être

appelés de la zone H323 ou de l'Internet. Les règles de filtrage au niveau sécurité ne s'appliquent qu'au GK, tous les terminaux de la zone sont isolés de l'Internet.
Se référer à la page http://www.renater.fr/Services/H323/GKs.htm pour consulter des exemples de configuration de GK (GNU et Cisco).

MCU (Multipoint Control Unit) : Le pont multipoint MCU) est indispensable pour les conférences à partir de trois participants. Il centralise tous les flux et les redistribue selon deux modes :
- **En présence continue**, les images vidéo des participants sont assemblées en une seule image, renvoyée vers les participants. Souvent cette image est constituée de quatre quarts d'image.
- **En activation par la voix**, l'image reçue par les participants est celle du participant actif, c'est à dire celui qui prend la parole.

Les MCU évolués disposent de plusieurs types de codage audio et vidéo, d'un système de réservation, d'un Gatekeeper embarqué, d'un environnement d'administration et de gestion des conférences. Pour certains, il existe des systèmes de transcodage permettant de distribuer des flux vidéo de débits différents : par exemple, les communications à 768Kb/s ne sont pas pénalisées par celles à 128kb/s. Il existe plusieurs produits sur le marché. Parmi ceux que nous connaissons, nous pouvons citer :
- ViaIP de Radvision et MGC de Polycom (ancien Accord), qui correspondent plus à des MCU d'opérateurs. Leurs capacités permettent de regrouper plusieurs conférences simultanées. On les rencontre sur des réseaux nationaux, métropolitain ou certains établissements. Ce sont des produits haut de gamme et de haute technicité.
- Prescom, Cisco, Radvision, Ezenia, CuSeeMe, et ponts intégrés aux terminaux (Polycom, Tandberg, …), ont des fonctionnalités sont plus modestes, les prix aussi.

Selon les MCU (capacités, fonctionnalités), les coûts varient approximativement entre 15000 et 150000 euros.
OpenMCU est un logiciel du GNU qui permet d'avoir une approche des MCU. Les essais sur les environnements Linux et Windows2000, avec les clients Netmeeting et Openphone ont permis de constater que ce MCU mérite de s'y intéresser. La qualité vidéo et audio est comparable à certains produits commerciaux. Par contre l'administration du produit n'est pas développée et les Viewstations Polycom sont incompatibles (version 1.1.7 d'OpenMCU).

```
Exemple de lancement du serveur
openmcu -u 9999 -g 10.1.1.1 -t -o mcu.log -v --videolarge --videotxquality 1 -videotxfps 20
        -u 9999 : numéro d'appel à fournir aux participants
        -g 10.1.1.1 : enregistrement au gatekeeper
```

Passerelle ou Gateway (GW) H320/H323 : permet d'établir des appels entre des terminaux connectés sur IP et sur RNIS. La passerelle permet également d'établir des appels avec des postes téléphoniques. Elle mutualise et centralise en un seul point de raccordement les prises RNIS. Les GW se présentent sous la forme d'une carte interface complémentaire au MCU ou d'un matériel dédié. Deux types d'interface RNIS peuvent être rencontrés :
- **les primaires (PRI)** à 2Mb/s constituées de n canaux à 64Kb/s (jusque 2 Mb/s). Des numéros RNIS peuvent être dédiés à des terminaux H323, le routage entre les deux zones H320/H323 peut être dynamique.
- **les BRI (Basic Rate Interface)** constituées de 2 ou 4 prises à 2x64 Kb/s. Le routage des appels H320 vers H323 est effectué par un routage statique ou plus généralement par un répondeur vocal (ou éventuellement un opérateur humain). L'option « Bonding » permet d'agréger plusieurs canaux afin d'augmenter le débit de l'appel (exemple 3x128Kb/s pour 384Kb/s). Le coût d'investissement et d'abonnements sont plus faibles, mais les capacités sont moindres.

Coût approximatif à partir de 10000 € et plus selon les produits et les fonctionnalités.

2.2 Architecture et protocoles H323

H323 est une adaptation pour les réseaux à commutation de paquets (IP) du standard H320 qui a été prévu pour les réseaux à commutation de circuits (RNIS). Les techniques réseau à commutation de paquets et de circuits sont très différentes. Il en résulte que H323 est un protocole complexe et pas toujours facile à mettre en œuvre. H323 regroupe un ensemble de normes, protocoles et procédures qui nécessitent l'ouverture de plusieurs canaux de communication TCP et UDP.

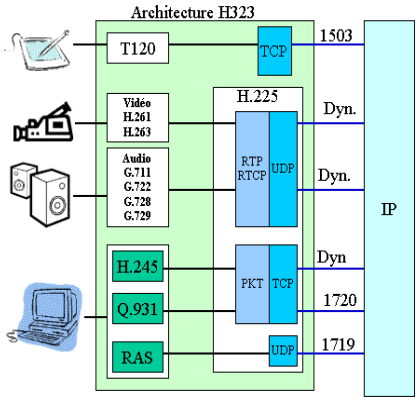


Figure 3 – *Architecture H323*

H323 intègre l'enregistrement auprès des GK et les initialisations (RAS), l'initialisation des appels (Q.931), la négociation des canaux des médias (H.245), la transmission vidéo et audio (RTP), le contrôle des médias (RTCP), et les services de données (T120).
Les étapes d'un appel H323: Un premier appel est lancé sur le port TCP 1720 pour ouvrir un canal de signalisation H225-Q.931. Ce canal permet de lancer ensuite un deuxième appel sur un port TCP supérieur à 1024 pour ouvrir un canal de contrôle des flux. Les adresses RTP et RTCP sont échangées. Des connexions UDP, (ports > 1024), sont alors ouvertes pour chaque flux (audio et vidéo), dans le sens émetteur-récepteur et récepteur-

émetteur, pour chaque protocole RTP et RTCP (8 connexions UDP). On mesure ainsi la complexité de H323 et les difficultés à passer les Firewall.

H.225 : définit la manière dont un terminal H323 s'enregistre à un Gatekeeper ou définit les procédures de communication (initialisation, contrôle d'admission, mise en forme des paquets, synchronisation, fermeture de la communication) entre des terminaux. Ces procédures sont dérivées des spécifications Q.931. H225 formate et reçoit les messages de contrôle des flux vidéo, audio qui utilisent RTP/RTCP.
- H225-RAS : Les messages RAS (Registration, Admission et Status) définissent la manière dont un terminal H323 s'enregistre auprès d'un Gatekeeper. Les messages sont transmis en UDP sur les ports 1719 et 1718 (Discovery).
- H225-Q.931 : Des messages H225 sont intégrés dans les messages Q.931. Ils définissent les procédures de signalisation pour activer ou fermer les appels : initialisation, contrôle d'admission, mise en forme des paquets, synchronisation, fermeture de la communication. H.225–Q.931 formate et reçoit les messages de contrôle des flux vidéo, audio qui utilisent RTP/RTCP. Les Messages de signalisation Q931 sont transmis sur le port TCP 1720.
H.245 : Lorsque la communication a été établie par H225 et Q931, H245 active les canaux logiques (vidéo, audio ou données). Les messages transmis permettent de déterminer les formats des médias (CoDecs, débit, taille), d'ouvrir les canaux logiques à partir des adresses IP et des numéros de port UDP (de 1024 à 65535). H.245 permet de contrôler les médias.
Vidéo : Le CoDec vidéo (h261, h263 optionnel) encode la source vidéo (caméra sur port USB ou carte d'acquisition vidéo) à transmettre, et décode les flux vidéo reçus pour un affichage sur écran.
Audio : Le CoDec audio (G.711, G723.1, etc…), encode la source audio et décode des flux audio. G.711 nécessite 64Kb/s (ou 56Kb/s), G723.1 6,4Kb/s (ou 5,3Kb/s).
T120 : définit les échanges des données (transfert de fichiers, applications partagées, échange de texte, tableau blanc. T120 utilise le port TCP 1503.

2.3 La Sécurité en H323

Le protocole de signalisation H323 négocie dynamiquement des numéros de port pendant l'appel. Des connexions TCP et UDP de 1024 à 65535 sont établies pendant la durée de l'appel.

Port	Type	Description
389	statique – TCP	ILS Registration (LDAP)
1300	Statique – TCP	H.235 Secure Signaling
1503	statique – TCP	T120
1718	statique – UDP	Gatekeeper Discovery
1719	statique – UDP	Gatekeeper RAS
1720	statique – TCP	Q.931 Call Setup
1024-655535	Dynamique – TCP	H245 Control Channel
1024-655535	Dynamique – UDP	RTP/RTCP - Video/Audio Streams

Les systèmes de sécurité peuvent poser quelques problèmes quant à l'utilisation du protocole H323. En effet, il convient d'ouvrir beaucoup de ports pour communiquer avec l'Internet (voir tableau), la sécurité n'étant pas assurée, plusieurs scénarii sont à envisager :
- Le **Firewall intègre H323** : le Firewall détecte, dans le canal de signalisation Q.931, les ports TCP et UDP négociés. Ces ports sont ouverts uniquement pendant la durée de l'appel entre l'appelant et l'appelé. Checkpoint, Cisco (PIX, CBAC), Netscreen, et probablement d'autres, disposent aujourd'hui de cette fonctionnalité dans des versions récentes.
- tous les équipements H323 sont situés dans une DMZ ou sur un réseau indépendant du réseau d'établissement. on peut éventuellement envisager cette solution si le nombre de terminaux est restreint. Il faut l'écarter pour un déploiement sur un réseau de campus.
- Utiliser des **VPN** (Virtual Private Network) ou des Tunnels. Cela suppose qu'un site communique uniquement avec un autre site. Cette solution peut difficilement être déployée sur un réseau de campus. Elle peut convenir à un établissement pour relier des sites distants à travers l'Internet.
- Utiliser un **Proxy H323** qui sera le seul à être accessible de l'Internet. Certains Proxy (GK du GNU par exemple) sont capables de réduire la gamme de ports dynamiques.

2.4 H323 et NAT

H225 et H245 prennent en compte les adresses IP des terminaux, et non pas les entêtes IP. Lors d'un appel H323 entre deux terminaux, ceux-ci s'échangent leurs adresses IP, même si elles sont privées. Pour transmettre les flux vidéo et audio, les terminaux établissent des connexions UDP sur des ports dynamiques. Si les terminaux communiquent à travers un réseau

public, les flux ne peuvent pas être transmis. Une solution consiste à traduire ces adresses privées en passant par un Gatekeeper.

Extrait de configuration du GK Gnu en mode proxy, avec clients en adressage privé

```
[RoutedMode]
GKRouted=1
H245Routed=0
SupportNATedEndpoints=1
Q931PortRange=20000-20999
H245PortRange=30000-30999
[Proxy]
; on active le proxy, tous les appels passent par le GK
Enable=1
InternalNetwork=192.168.6.0/24
ProxyForNAT=1
[RasSrv::RewriteE164]
0327511=1
[RasSrv::Neighbors]
GIPRenater1=193.49.160.4;0
```

2.5 Plan d'adressage international de la visioconférence H323 : GDS

GDS (Global Dialing Scheme) est un plan de numérotation global pour la vidéo et la voix sur IP proposé par TERENA (Trans-European-Reseaerch and Education Networking Association). Il s'inspire du plan de numérotation téléphonique international E.164. GDS permet ainsi d'appeler facilement des terminaux, des MCU et les passerelles à travers l'Internet. GDS est implémenté par des GK existants et se conforme à un modèle hiérarchique composé de GK mondiaux, nationaux et d'organisations.

Le plan de numérotation est décomposé en quatre parties :

- **Le Code d'Accès International** (IAC), correspondant au préfixe du GK mondial, défini par 00
- **Le Code Pays** (CC), conforme aux codes d'accès de l'ITU. Par exemple 33 pour la France.
- **Le Préfix Organisation** (OP), il doit être unique à l'intérieur du pays. En général, les organisations prennent un préfixe correspondant à leur numérotation téléphonique. Cependant, d'autres préfixes peuvent être proposés. Ce préfixe doit être ratifié par l'opérateur du Gatekeeper national (GIP Renater).
- **Numéro du poste** (EN), fixé par l'organisation, il doit être unique à l'intérieur de celle-ci. La longueur n'est pas fixée, nous conseillons de suivre une numérotation sur quatre chiffres, comme pour la téléphonie.

Exemple : MCU du GIP Renater : 00 (IAC) 33 (CC) 15394 (OP) 8301 (EN).
Depuis un site de Renater, numéro d'appel H323 : 0153948301

GDS définit également un plan de numérotation alphanumérique selon le modèle : <Identification du terminal>@<nom du domaine>. Par exemple prenom.nom@mon-domaine.fr

GDS a été adopté par plusieurs pays européens, les zones H323 interconnectées comprennent l'Irlande, les Pays-Bas, l'Allemagne, la Suisse, les Royaumes unis, et d'autres pays connectés ou en cours de connexion dont la France avec Renater. http://www.wvn.ac.uk/support/h323address.htm

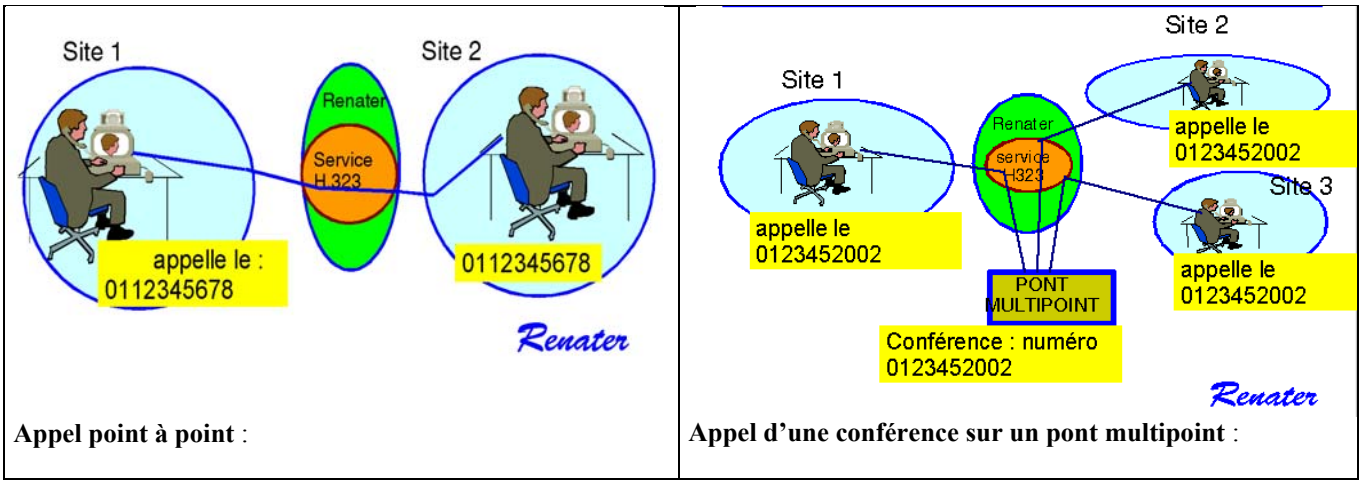
2.6 Réseau virtuel H323 de Renater

Description : c'est un service d'établissement d'appels H.323 à travers Renater et d'autres réseaux de la recherche :

Pour des terminaux H.323, c'est-à-dire : des postes de visioconférence, des ponts de visioconférence, des téléphones IP

Le service consiste à établir (« router ») une communication H.323 à travers Renater, et aussi d'autres réseaux de la recherche :

Ce service permet d'établir une communication (visioconférence ou téléphonie) entre deux terminaux H.323, ou bien entre un terminal H.323 et un pont de visioconférence. Il le fait sur la base des numéros d'appel H.323 (alias numériques) de ces terminaux et de la visioconférence, numéros qui sont conformes au plan d'adressage international qui est décrit ci-dessus. Un numéro d'appel H.323 ressemble à un numéro de téléphone, ce qui rend ce système très intuitif et tout à fait pratique à utiliser :



Appel point à point :

Appel d'une conférence sur un pont multipoint :

Figure 3 – *Appel par le service H323 de Renater*

2.7 Norme H350

H350 est une recommandation récente (septembre 2003) de l'ITU (http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2003/24-fr.html) permettant de stocker et trouver des informations relatives à la visioconférence. Les utilisateurs pourront obtenir facilement des adresses de serveurs ou de terminaux (H323, téléphonie IP). H350 supporte divers protocoles, notamment H320, H323, SIP et H320. Le but est de faciliter les communications vidéo et voix sur l'Internet en centralisant les informations (adresses IP, alias, VoIP, …) dans des annuaires LDAP. Cette norme est issue du groupe de travail *Middleware Initiative video* de l'Internet2 (http://www.internet2.edu/) et de *Video Development Initiative* (ViDe : http://www.vide.net).

Conclusion sur H323 : Les avantages de la visioconférence H323 résident dans les offres commerciales des produits H323 et dans les possibilités de communication sur RNIS. L'inconvénient résulte de l'adaptation de la norme H320 sur des réseaux IP qui a généré un protocole complexe. Les serveurs, comme les MCU, sont par conséquent chers et pas toujours très stables. Le marché décidera de l'avenir de H323 qui devrait être remplacé par un protocole adapté à l'Internet pour les communications voix et vidéo (par exemple SIP Session Initiative Protocol). H323 est bien adapté pour des communications point à point. On préconise d'utiliser des MCU pour des appels limités à quelques utilisateurs (trois ou quatre).

3 Logiciels de visioconférence en IP Multicast

Les logiciels de visioconférence utilisés sur les réseaux IP multicast sont des logiciels libres, connus sous l'appellation « outils du Mbone », parmi les plus utilisés : VIC, RAT. Le Mbone (Multicast Backbone) était un réseau expérimental qui a migré vers un service d'opérateur. Aujourd'hui, la plupart des réseaux académiques et recherche (Internet2, Géant, Renater, réseau régionaux ou métropolitains) disposent d'un service IP multicast. Par contre, les opérateurs n'offrent pas encore ce type de service auprès de l'Internet commercial et du grand public. L'intérêt de cette technologie consiste à échanger des informations (vidéo, audio, données) au sein d'un groupe, tout en optimisant l'utilisation de la bande passante. Les routeurs IP multicast remplacent les ponts multipoint H323.

3.1 Logiciels VIC et RAT

Ces logiciels ont été développés dans le cadre de projets de recherche européens et sont disponibles sur le site http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/ . Des versions sur l'environnement Windows sont encore maintenues (IPV4 et IPV6).

RAT : Robust Audio Tool (dernière version 4.2.22) est l'application permettant aux participants de communiquer en audio. Il intègre divers CoDec audio (G711, G726, ADPCM, GSM, …).

VIC : Videoconférencing Tool permet d'émettre et de recevoir de la vidéo. Il intègre notamment les CoDec h261, h263.

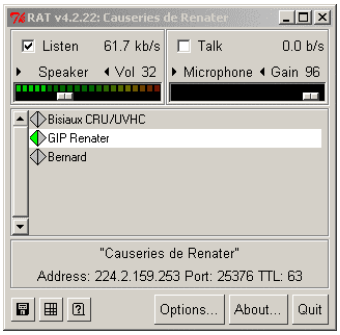


Figure 4 - *Rat*

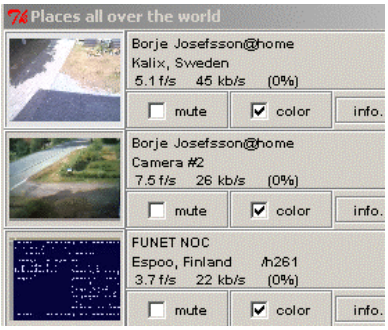
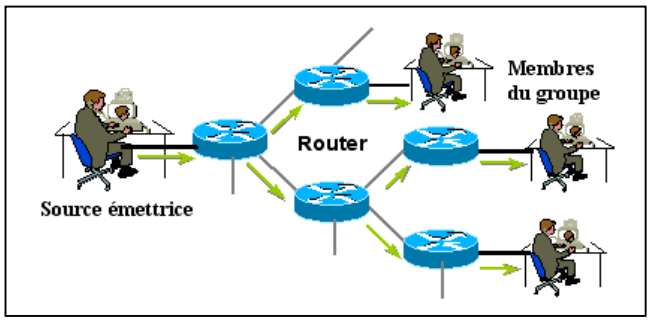


Figure 5 - *Vic*

La gestion des conférences peut être facilitée par un annuaire des sessions SDR (Session Directory Tool). Ce logiciel permet d'effectuer des annonces publiques ou privées et de se joindre facilement à des conférences. On citera également les produits WB (whiteboard) et NTE (Network Text Edit) qui permettent de partager des données graphiques et textuelles. Si SDR n'est pas utilisé, les participants doivent convenir au préalable d'un choix d'adresses et de ports pour effectuer l'appel. Excepté les adresses réservées par l'IANA (http://www.iana.org/assignments/multicast-addresses), on les choisit librement. L'expérience montre qu'il n'y a pas de problème de duplication sur Internet. Pour les appels entre deux postes, on peut utiliser l'adresse IP unicast du poste à appeler. Le nombre de participants n'est pas limité, en théorie. La limite peut être trouvée au niveau de l'affichage des vidéos (saturation du PC), de la bande passante du réseau et de la gestion des participants. Au-delà d'une dizaine de participants actifs, une visioconférence devient difficilement gérable. SunForum produit H323 sur Sun intègre les fonctionnalités multicast. Une visioconférence constituée uniquement de SunForum peut se passer de pont MCU. Vcon Vigo, également produit H323, permet de diffuser des flux multicast audio et vidéo pour Vic et Rat (mode serveur vidéo).

3.2 Technologies et protocoles IP multicast

Nous ne présentons que succinctement les principes de base de l'IP multicast. Les lecteurs pourront se référer à des tutoriaux disponibles sur http://www.univ-valenciennes.fr/CRU/MBone/tutoriaux.html. L'IP multicast permet de diffuser des flux d'information à travers un groupe (membres ou participants) tout en optimisant l'utilisation des réseaux. Le flux issu d'une source (poste émetteur) se propage de routeur en routeur vers les autres membres du groupe. Sur chaque routeur, le flux est envoyé sur les interfaces, en aval de la source, permettant d'atteindre les membres du groupe. Un arbre de diffusion est ainsi créé de la source vers les membres du groupe (chemin de routage inversé par rapport à l'IP unicast). Le flux transmis est constitué de paquets appartenant à la classe D (224.0.0.0 – 239.255.255.255). Il est à préciser que chaque machine conserve sa propre adresse IP unicast (adresse Source), l'application utilise une adresse multicast et un port pour effectuer un appel.



Sur un LAN Ethernet, les paquets IP multicast sont transmis dans des trames Ethernet multicast. L'adresse de destination de la trame est constituée par mapping, en concaténant l'adresse définie par l'IANA (01-00-5E) avec les bits de poids faible de l'adresse IP multicast. En dehors du LAN, plusieurs protocoles sont nécessaires pour router les paquets IP multicast :

Figure 6 – *principe de base de l'IP multicast*

IGMP : (Internet Group Multicast Protocol) est un protocole de gestion de groupe qui permet de savoir s'il existe des membres d'un groupe multicast sur le routeur. Sans membre pour un groupe donné, le flux n'est pas distribué sur les interfaces du routeur.

PIM SM : (Protocol Independent Multicast Sparse Mode) se base sur les techniques des arbres partagés. L'arbre de diffusion est indépendant de la source, les membres du groupe se joignent explicitement sur un Point de Rendez-vous (RP). Les routeurs maintiennent des états sur les Sources et les Groupes (S,G) pour chaque interface. Pour construire l'arbre de diffusion, PIM doit déterminer l'interface RPF (Reverse Path Forwarding), c'est à dire l'interface par laquelle proviennent les paquets issus de la source. Pour cela, PIM utilise les tables de routage IGP (Interior Gateway Protocol), pour le trafic interne au réseau, et EGP (Exterior Gateway Protocol), pour le trafic vers les ISP (opérateurs de réseau). Concernant EGP,

la solution retenue aujourd'hui est MBGP. Sans MBGP, il faut utiliser des routes statiques multicast. Les paquets sont ensuite copiés vers les autres interfaces du routeur en fonction de IGMP.
MBGP (Multiprotocol Border Gateway Protocol) est utilisé pour les interconnexions avec les réseaux de collecte (réseau régional, métropolitain). MBGP est une extension de BGP-4 qui supporte les topologies unicast et multicast. Il intègre un routage unicast propre au trafic unicast IP traditionnel (Web, ftp, …) et un routage unicast propre au trafic multicast. Aujourd'hui, les sites de Renater ont adopté MBGP et PIM SM pour disposer du service IP multicast de leur opérateur.
Avant l'apparition de MBGP et de PIM, le protocole utilisé était **DVMRP** (Distance Vector Metric Routing Protocol). Il intègre un protocole de diffusion multicast (semblable à PIM Dense Mode), et un protocole de routage unicast (similaire à RIP). Les routeurs DVMRP de l'Internet étaient reliés par des tunnels d'encapsulation. L'ensemble formait un réseau virtuel appelé le Mbone.
MSDP (Multicast Source Discovery Protocol) permet d'échanger des sources actives entre RP. Ce service RP est en général assuré par l'opérateur de réseau, il est optionnel pour les sites.
Les routeurs Cisco, Juniper, Foundry, Extreme (et probablement d'autres) intègrent IGMP, et PIM. Nous n'avons pu référencer que Cisco et Juniper, qui intègrent MBGP et MSDP.

3.3 Services IP multicast sur les réseaux de collecte

Service d'opérateur du réseau régional ou métropolitain : Aujourd'hui, les opérateurs des réseaux de collecte peuvent assurer un service IP multicast, encore faut-il le demander lors des appels d'offre. Une majorité de réseaux régionaux ou métropolitains disposent maintenant de ce service. L'opérateur doit assurer la continuité du service en accord avec Renater. Les responsables réseaux qui désirent obtenir un service IP multicast régional et national doivent formuler une demande auprès du responsable du réseau régional. Si la demande échoue, qu'il n'y a pas de service de l'opérateur assuré, le site peut d'établir un tunnel avec Renater. Les flux IP multicast reçus par ce tunnel pourront être fournis par la suite aux autres sites voisins.
Service IP multicast sur Renater: Comme pour le service IP unicast, Renater assure un service IP multicast en établissant un échange de route MBGP et de sources actives entre RP avec MSDP. Ce service est opérationnel depuis plusieurs années et assuré par CS (Communication & Systèmes) avec une qualité de service remarquable. Un looking-glass permet d'obtenir des informations (commandes non privilégiées) sur les états des routeurs et sur des mesures sur les flux multicast (gigue, RTT, pertes de paquets http://sydney.cssi.renater.fr/multicast/ :
Voir les procédures d'accès au service sur http://www.renater.fr/Services/FMBone/Index.htm

Conclusion sur les logiciels de visioconférence IP multicast : Les applications de visioconférence en IP multicast utilisées aujourd'hui sont restreintes à VIC et RAT mais fournissent un bon niveau de service si l'environnement audiovisuel et les PC sont de qualité (micro, caméra, CPU). Ces outils sont mieux adaptés que H323 pour des conférences rassemblant beaucoup de participants actifs. Cependant, le service IP multicast n'est pas complètement déployé vers les sites de Renater et de l'Internet. Le Mbone était un réseau expérimental, et pour ceux qui l'ont connu, connaissait une mauvaise réputation. Les raisons étaient diverses, d'abord un réseau expérimental ne peut pas rendre un service d'exploitation fiable. Ensuite, les débits des liaisons IP n'étaient pas toujours suffisants. Enfin, les PC, les micros et les caméras, étaient bien souvent inadaptés. Aujourd'hui, le Mbone a migré vers un service d'opérateur IP multicast opérationnel. Les PC d'aujourd'hui bien équipés en audiovisuel peuvent être équivalents aux terminaux H323. Comme pour le H323, les problèmes qui peuvent persister se situent dans le manque de capacité des liaisons IP (débit), dans la discontinuité du service sur certains réseaux de collecte (régional, métropolitain) traversés, et dans l'absence de compétence ou de ressource humaine pour administrer le service.

4 Le Streaming Video

Le Streaming Vidéo ou la diffusion de flux vidéo et audio ne constitue pas vraiment un moyen de visioconférence car il n'est pas interactif. Toutefois il peut être très utile pour retransmettre des conférences sur Internet.

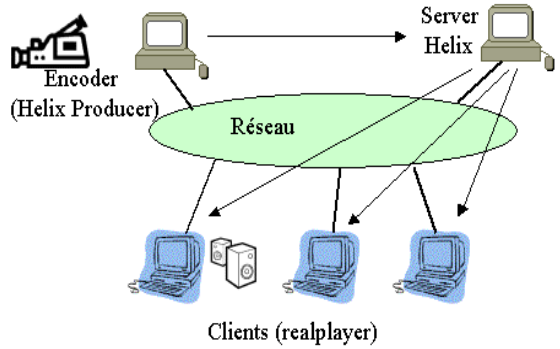


Figure 7 – *streaming vidéo Helix utilisé pour JRES*

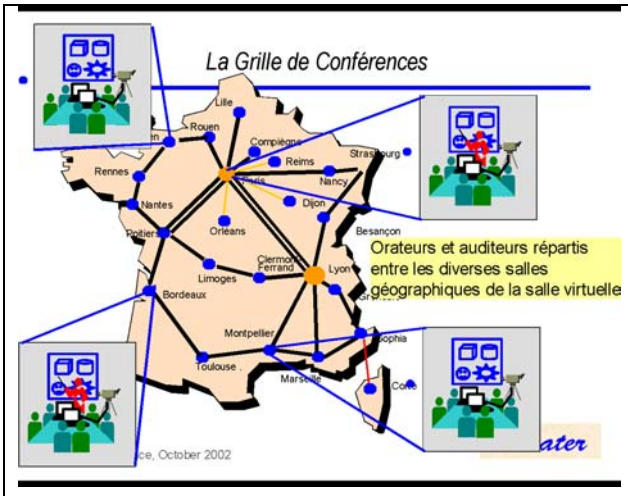
Le principe consiste à numériser un signal audio/vidéo et à encoder un flux qui sera transmis vers un serveur vidéo. Les récepteurs, ou clients, se connectent sur ce serveur pour recevoir le flux et le décoder. Les flux sont mémorisés momentanément (quelques secondes) de manière à restituer un son et une image vidéo dans une qualité optimale. En effet, sur les réseaux IP, les pertes de paquet peuvent être importantes : le son est haché, voire inaudible, la vidéo saccadée. La mémorisation des flux permet de corriger dans une certaine limite les défauts inhérents à la technologie IP du best-effort

(sans qualité de service garantie). Il existe donc un petit décalage temporel entre la prise de vue de la conférence et la réception. La transmission des flux du serveur vers le client utilise en général des paquets IP unicast (mode point à point), et dans certains cas des paquets IP multicast. Par rapport aux systèmes de visioconférence, la qualité de la vidéo est souvent meilleure due à la *bufferisation* et aux CoDecs vidéo utilisés (jusqu'au Mpeg2). Il existe plusieurs produits commerciaux aujourd'hui, on citera Hélix (nouveau nom de Real), Windows Média de Microsoft, IPTV de Cisco. Il existe aussi un produit libre, VideoLan http://www.videolan.org développé par l'Ecole Centrale. Le streaming vidéo est la meilleure solution pour retransmettre des conférences, (exemple JRES). On l'utilise aussi pour assurer une redondance à certaines visioconférences (panne de MCU ou de service IP multicast), l'interaction étant réalisée avec le téléphone, le mail ou le Chat.

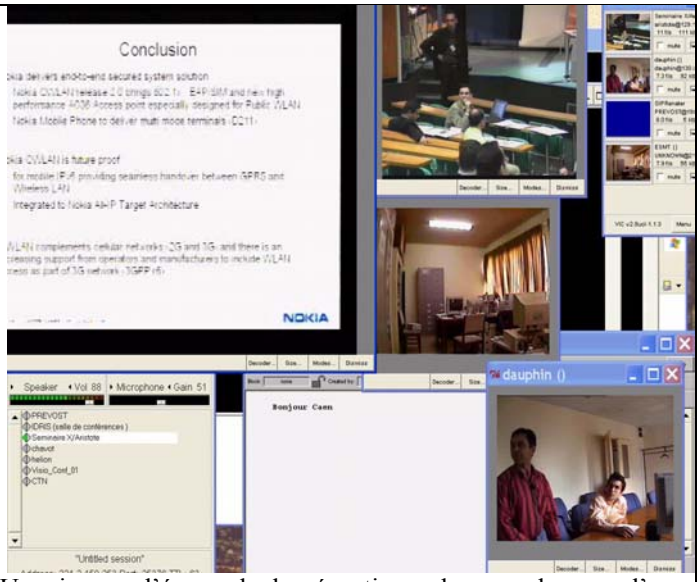
5 Services et systèmes de visioconférence

5.1 Grille de conférence de Renater

Les fonctionnalités de la Grille de Conférences : des salles de réunion multimédia, en plusieurs régions de France, qui sont intégrées en une vaste salle virtuelle commune à travers RENATER par des outils de visioconférence à haute performance. Des orateurs peuvent être à distance, des auditeurs sont à distance. Audio, vidéo, transparents sont transmis dans toute la Grille en temps réel. Chaque salle reçoit et émet : tout le monde voit tout le monde de manière à créer un sentiment de télé-présence dans la salle virtuelle commune.



Vue schématique de la Grille de Conférences. A terme il y aura de nombreuses salles, sans doute au moins une par région ou par pôle scientifique et universitaire important



Une image d'écran de la réception dans un bureau d'une conférence de la Grille.

Figure 8 – *Grille de conférence Renater*

5.2 VRVS : Virtual Room Videoconferencing System

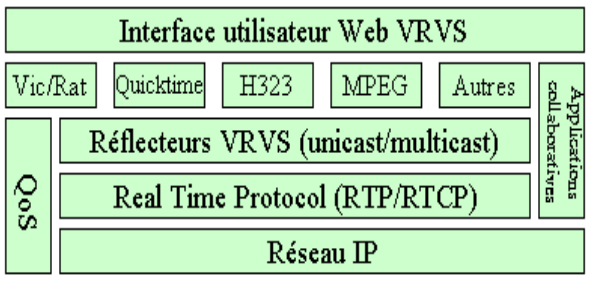


Figure 8 – *architecture VRVS*

VRVS est un environnement de visioconférence et de travail collaboratif basé sur Web. Le service est destiné aux communautés académiques et recherche (initialement physique nucléaire et haute énergie). VRVS intègre un système de réservation, les participants se joignent à une salle virtuelle et utilisent les applications : Vic et Rat, H323 (Netmeeting, Polycom, …), Quicktime, applications partagées. Il n'est pas nécessaire de disposer d'un service IP multicast ou d'un MCU H323. VRVS effectue la passerelle entre les applications H323 et Vic/Rat, et assure les fonctions d'un MCU.

Les informations vidéo, audio et données sont transmises à travers un réseau virtuel constitué de réflecteurs reliés entre eux par des tunnels. Il en existe une centaine sur l'Internet. Quatre réflecteurs sont installés en France deux pour les besoins propres à l'IN2P3, et deux autres mis en activités récemment par **Renater à Paris et Lyon**.
VRVS supporte les environnements Windows, Linux, Solaris, Irix et Mac. http://www.vrvs.org

5.3 Ilots multicast privatifs et Réservation de salles virtuelles : projet du CNES de Toulouse

Confronté aux difficultés de routage de flux multicast dans "l'Internet profond", le CNES a développé un service en ligne permettant, par simple click de souris dans un navigateur, de créer des infrastructures virtuelles temporaires (îlots multicast privatifs) "tunnelisées" en étoile autour de points de rendez-vous jouant le rôle de réflecteurs. Fonctionnellement, ces réflecteurs sont comparables à des salles de réunions virtuelles et chaque groupe devient alors un "micro Mbone" privatif et éphémère.

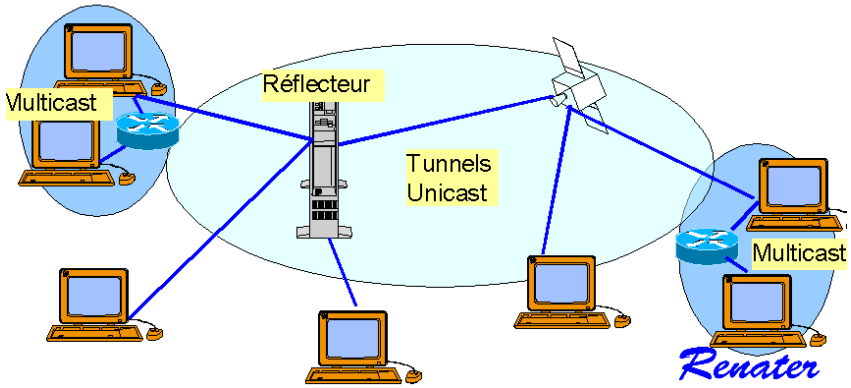


Figure 9 – *Ilots multicast*

Principes et mode opératoire

Un Web agenda permet de réserver la ressource réflecteur et d'annoncer à l'avance les sessions et/ou réunions publiques et/ou privées organisées autour de ce réflecteur.
Un "click de souris" dans une session courante de l'agenda provoque, chez l'utilisateur autorisé, l'exécution d'un composant logiciel ["Connecteur"] qui cherche alors à se raccorder au point de rendez-vous. Après authentification, le "Réflecteur" insère le nouvel arrivant dans la communauté en rajoutant une branche dans son graphe de diffusion. Le réflecteur central se comporte ensuite comme un routeur multicast gérant plusieurs interfaces. Les composants "Connecteur" et "Réflecteur", écrits en JAVA, fonctionnent indifféremment sous Windows et Linux.

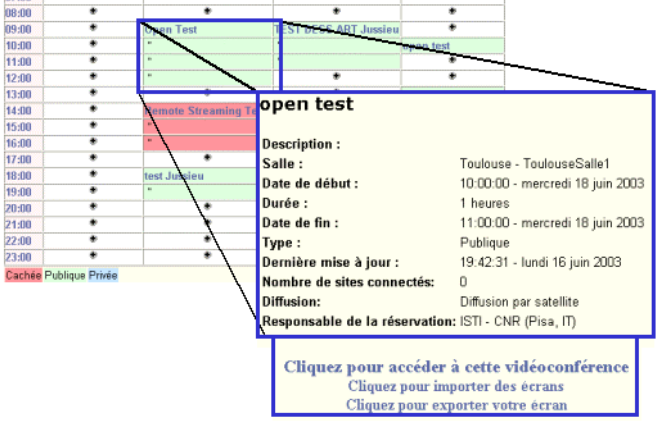


Figure 10 – *Web agenda*

Avantages

Ce procédé de "tunnelling applicatif" permet d'acheminer des flux multicast dans des sites:
ne possédant pas d'adresse IP statique (ex: ADSL grand public),

- pratiquant une politique de traduction d'adresse (ex:NAT),
- n'offrant pas de "tunnelling" de type IP multicast dans IP unicast
- dont les routeurs ne supportent pas les protocoles de routage dynamique multicast (PIM, …)

dont la doctrine de sécurité interdit les flux UDP

Ce procédé de "désenclavement multicast" permet donc **d'élargir considérablement le périmètre d'utilisation des technologies multicast**, réservées, à ce jour, aux privilégiés possédant un accès au MBone.

L'expérience montre que ce procédé (utilisant une seule connexion établie à l'initiative de chaque site distant) est compatible avec de nombreuses stratégies de sécurité et peut être mis en oeuvre, la plupart du temps, sans intervention des administrateurs réseaux.

Caractéristiques

Reprenant l'esprit général du modèle VRVS et l'ergonomie de certains produits commerciaux, ce service s'en différencie cependant par les aspects suivants:

- le standard H323 n'est pas supporté et les applications d'extrémité doivent être nativement multicast
- le réflecteur central n'effectue aucune conversion de format, de débit ou de protocole. Il est donc totalement transparent aux sessions RTP/RTCP générées par les applications multicast et, à ce titre, ne peut pas être considéré comme un véritable "MCU",
- le plan d'adressage multicast est fixe pour chaque salle de réunion,
- le nombre de sessions RTP/RTCP simultanées est limité à 4 (ex: [VIC+RAT+WB+VNC multicast] ou [RAT+VNC multicast] ou [stream Windows Media + VNC multicast], …),
- il est raisonnable de limiter le nombre de connexions par réflecteur à 6 mais un seul connecteur est capable de raccorder toute une entreprise ou un campus,
- ce système fonctionne sur des infrastructures sol mais permet, en option, une diffusion IP multicast par satellite.

Services de base

Au dessus de chaque "micro Mbone" ainsi constitué, les services suivants sont actuellement disponibles :

- **VideoConférence de groupe** basée sur ***VIC*** et ***RAT***, enrichie par un ***Chat***, un ***Tableau blanc partagé*** et un économiseur de trafic de type "voice switching",
- **Import/Export d'écrans** basé sur une version multicast de VNC. Un ***Retardeur*** (optionnel) permet de synchroniser ces déports d'écrans avec des flux audiovisuels à forte latence d'encodage (plusieurs secondes).
- **Relayage de contributions audiovisuelles** provenant d'encodeurs distants (ex: Windows Media, Helix, VideoLan, MPEGx, …).
- **Interopérabilité avec des sessions Mbone** (avec translation bidirectionnelle des adresses de sessions)
- **Diffusion satellite des flux IP multicast**

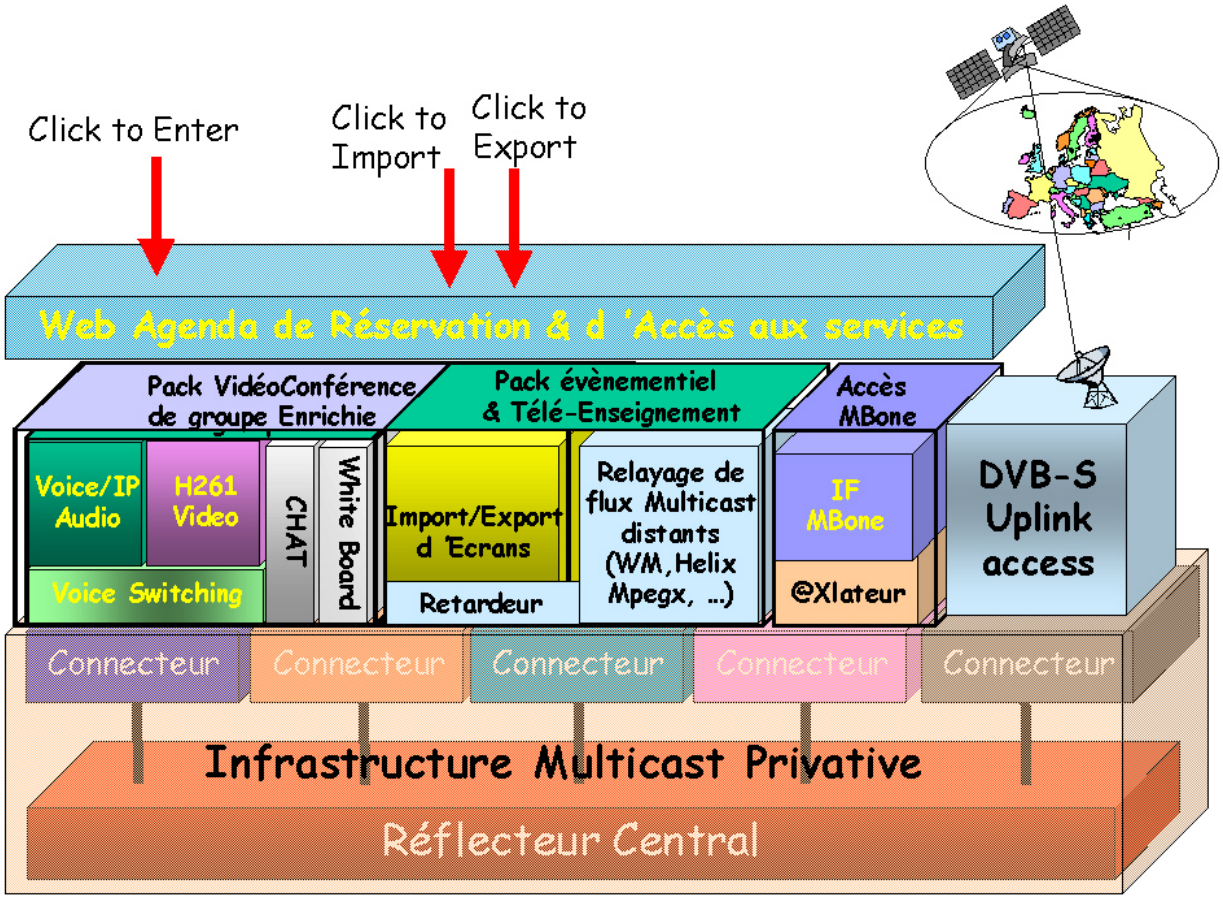


Figure 11 – *Architecture des îlots multicast*

En combinant ces divers services de base, il est possible de générer des environnements techniques de communication aptes au travail collaboratif, à la réception/diffusion de séminaires, au télé-enseignement, à la formation à distance ou à l'accès occasionnel au Mbone.
Cette infrastructure évolutive est capable d'héberger toute nouvelle application ou tout nouveau service nativement multicast.
Informations complémentaires et contacts: http://194.199.173.67:8264/faq.htm

6 Qualité de service IP

Une visioconférence de bonne qualité signifie que tous les participants reçoivent un son audible, une vidéo fluide contenant des images de bonne qualité, et des données échangées dans un court délai. Pour arriver à ce résultat, il convient de respecter certaines recommandations au niveau des équipements et des ressources du réseau.
Equipement : Le choix d'un équipement de visioconférence de qualité bénéficie surtout à votre correspondant. L'environnement audiovisuel est important. Par conséquent, il est préférable d'écarter les solutions basées sur l'emploi de WebCam, et de micros de mauvaise qualité, souvent bon marché.
Ressources réseau : Le réseau doit être en mesure de transmettre les paquets IP avec un taux de perte faible (environ 1%), un délai de transmission inférieur à 200ms et une gigue (variation du délai de transmission) inférieur à 30ms. Ces trois paramètres peuvent être respectés si les liaisons IP disposent d'une bande passante suffisante et si les équipements réseau sont fiables (cartes interface, routeurs, commutateurs, supports physiques,…).
A travers un réseau IP (campus, régional, Renater ou Internet), il convient d'effectuer des mesures avant de déployer un service de visioconférence. La première solution, effectuée par l'utilisateur, consiste à appeler son correspondant et à évaluer soi même la qualité de transmission. La seconde, à la charge de l'administrateur réseau, consiste à mesurer le taux de perte, le délai et la gigue entre les sites. Il existe beaucoup d'outils de mesure, on citera deux exemples déployés à travers Renater : **SAA Cisco** et la matrice **Beacon pour le multicast**.
SAA (Service Assurance Agent) : disponible sur IOS Cisco. Il permet à des sites de Renater et des réseaux régionaux d'effectuer des mesures en continue et de construire des graphes de mesure MRTG à partir des OID SNMP Cisco
Voir exemples de configuration et graphes MRTG sur http://www.univ-valenciennes.fr/CRU/QoS/
Multicast Beacon : permet d'effectuer des mesures relatives aux multicast. Les topologies multicast et unicast sont très souvent congruentes (les mêmes). On peut en déduire que les résultats fournis par la matrice Beacon peuvent être interprétés aussi pour le trafic unicast. http://dast.nlanr.net/Projects/Beacon/
Un service a été mis en place sur Renater pour permettre à des clients de participer aux mesures. Pour consulter les graphes de mesures et obtenir d'avantages d'informations, se référer à http://sydney.cssi.renater.fr/beacon/
Les mesures fournissent des informations utiles mais ne résolvent par les problèmes actuels inhérents à l'Internet : le best effort, c'est à dire l'absence d'une garantie de qualité de service entre l'appelant et l'appelé. Les réseaux académiques et recherche comme Renater, Géant, Internet2, disposent maintenant d'une certaine qualité de service : over-provisionning (sur débit). Les liaisons IP disposent de débits importants (Gigabit/s) permettant en général de respecter les critères relatifs aux délais et taux de pertes de paquets. Concernant l'Internet commercial et le raccordement des sites, la situation est très différente et diversifiée. Les liaisons ne sont pas toujours adaptées (raisons économiques), des congestions peuvent survenir entraînant une dégradation de la qualité de transmission. Afin de respecter les critères de qualité, une solution consiste à implémenter des mécanismes basés sur la différentiation des flux (Diff-Serv)
Diff-serv : lors de la congestion d'une liaison, Diff-Serv différentie et donne une priorité aux flux identifiés et classifiés (par exemple marquage du champ TOS : Type Of Service). Il existe peu d'implémentation de classe de service aujourd'hui sur les réseaux IP.
En Europe, sur **Géant**, un service a été déployé, le service Premium IP (http://www.dante.net/nep/geantqos/) qui fait suite au projet **SEQUIN** (**SE**rvice **QU**ality across **I**ndependently managed **N**etworks) (http://www.dante.net/sequin/).
Des expérimentations et services ont démarré sur des sites de Renater :
- le projet du réseau régional Lothaire sur la mise en oeuvre de la QoS pour la téléphonie sur IP.
- l'expérimentation à travers Renater entre les réseaux régionaux Lothaire, Noropale, Vikman, Picardie et Syrhano.

France Télécom dispose d'une offre de service **CoS IP**, certains réseaux régionaux en bénéficient. Trois différenciations de flux ont été définies :
Prioritaire : réservé pour la voix sur IP ou la visioconférence, le champ ToS doit être marqué à 3,4 ou 5. En cas de congestion, 60% de la bande passante est réservée pour ces flux.
Privilège : réservé pour des données prioritaires, le champ ToS est marqué à 1 ou 2. En cas de congestion, 30% de la bande passante est réservée.
Standard : pour les autres flux, sans priorité, qui utilisent le reste de la bande passante.
Il n'y a pas de difficulté technique à mettre en œuvre la CoS, par contre l'activation nécessite de disposer de routeurs adaptés en CPU.

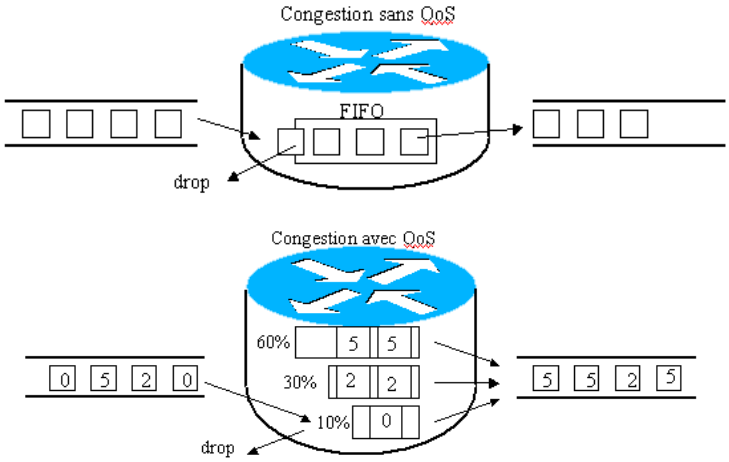


Figure 12 – *Principe des classes de service*

Voir des exemples de configuration sur http://www.univ-valenciennes.fr/CRU/QoS/

Les opérateurs de réseau sont capables de fournir un service de Classe de Service à leurs clients. La différentiation des flux ne concerne que les paquets en provenance et à destination du même réseau de collecte. Tous les paquets en provenance de l'Internet ne peuvent pas être privilégiés. La politique de marquage est donc propre à un seul client ou entreprise, en l'occurrence pour nous le réseau régional. Chaque site se doit de respecter une charte pour le réseau régional et ne pas privilégier des flux qui ne doivent pas l'être. Si on considère que la majorité des flux d'un réseau régional provient de Renater, un tel service a très peu d'intérêt. Les flux issus d'une visioconférence en provenance de Renater doivent être remarqués à zéro. Ces flux ne sont donc pas prioritaires. Pour réussir à mettre en œuvre la Qualité de service à travers Renater, et d'autres réseaux d'opérateur, il faudrait que tous les opérateurs et les sites concernés adoptent une même convention sur le marquage des paquets (par exemple celle du service IP Premium de Géant) et respectent une charte commune.

7 Conclusion

Il existe plusieurs solutions techniques de visioconférence IP. En fonction des usages, une technique sera plus adaptée que l'autre. Nous préconisons donc, autant que cela est possible, d'utiliser simultanément les environnements H323, IP multicast, streaming vidéo et VRVS, qui ont chacun leurs spécificités, leurs avantages et leurs inconvénients.
En **H323**, l'atout majeur réside dans la possibilité d'acquérir des produits commerciaux de très bonne qualité. De plus, H323 est inter-opérable avec H320 grâce à l'emploi de passerelles. Enfin, H323 est fonctionnel à travers tout l'Internet sous réserve de disposer d'une bande passante suffisante. L'inconvénient se situe essentiellement au niveau de sa complexité de mise en oeuvre et des coûts des ponts multipoint. On conseille d'utiliser H323 pour des appels en point à point ou en multipoint en limitant le nombre de participants (jusque quatre nous semble raisonnable).
Les logiciels du Mbone sont très bien adaptés pour les communications contenant beaucoup utilisateurs, de plus les logiciels sont libres et disponibles sur tous les environnements (Windows, Linux, …). Par contre le service IP multicast n'est déployé que partiellement sur l'Internet. Il faut exclure les PC peu performants et les environnements audiovisuels mal adaptés qui pénalisent l'emploi de ces logiciels.
Le streaming vidéo ne nécessite aucun investissement pour les postes récepteurs, il est très utile pour retransmettre des conférences ou des cours magistraux vers un public dispersé à travers l'Internet. Cependant, ce dispositif ne permet pas les interactions. Ce moyen a un intérêt pour les diffusions de séminaires ou conférences, comme JRES.
VRVS permet d'utiliser simultanément des applications H323 et du Mbone, sans disposer de MCU ou de service IP multicast. Renater dispose maintenant de deux réflecteurs. C'est un système qui mérite vraiment de s'y intéresser. Il est à préciser toutefois que la qualité vidéo rendue par le réflecteur de VRVS n'égale pas un service IP multicast natif ou un MCU H323 performant.

Le problème majeur de la visioconférence IP est l'absence d'une **garantie de service** de bout en bout de la communication. On peut toujours évaluer statistiquement les capacités d'une liaison IP entre des sites, par des mesures, des tests préalables. On ne peut pas garantir qu'il n'y aura pas de perte de paquet ou des délais de transits importants pendant la durée d'une visioconférence, sauf si on implémente des mécanismes de différentiation de flux. Techniquement, la Qualité de Service IP peut être déployée, sa mise en œuvre ne pose pas de problème sur un même réseau administratif (campus, entreprise, réseau

régional). Sur des réseaux académiques comme les Réseaux Régionaux, Renater et Géant, on peut espérer disposer d'un tel service si on arrive à s'organiser, la tâche sera lourde. Par contre, à travers l'Internet, cela ne nous paraît pas réalisable.
Tous les sites de l'Internet ne peuvent pas bénéficier de la visioconférence IP. Les utilisateurs ou correspondants ne disposent pas toujours d'un accès Internet. Il est donc toujours utile de disposer d'un système permettant de communiquer sur RNIS en H320 : un terminal H320 ou une passerelle H320/H323.

Annexes : Quelques URL non citées dans le document et utiles à l'élaboration de ce document
http://www.univ-valenciennes.fr/CRU/Visio/
http://www.cru.fr/telephonie/Nancy-QOS.pdf
http://www.imtc.org/h323.htm
http://www.dialupaudio.com/h323primer.html
http://www.h323forum.org/papers/

Conférence TERENA 2003 Zagreb http://www.terena.nl/conferences/tnc2003/livestream/
Enregistrements vidéo et supports :
- The European Face of Videoconferencing (6a1) – Egon Verharen
- A Roadmap for the future of multi-site videoconferencing (6a2) – Michael Daw
- An H323 videoconferencing service for the German Research and Education Community (6a3) – Jürgen Hornung
- QoS Experience on European Backbone (4b3) – Nicolas Simar