Téléphonie IP
Bilan et Perspectives

Emmanuel Hainry Loris Marchal

Table des matières

Introduction

Internet représente un nouveau moyen de communication qui est de plus en plus utilisé, et de plus en plus performant. L'idée de transmettre de la voix par internet est apparue il y a plus de 20 ans, et étaient déjà fonctionnelle à petite échelle et de façon expérimentale au début des années 1980. Aujourd'hui, le phénomène de la voix sur IP est en train de se développer à grande échelle avec la mise en place de plate-formes entre internet et le réseau téléphonique classique.

Cette nouvelle offre pourrait à terme supplanter le téléphone classique, mais des obstacles existent et si pour l'usager l'avantage économique est indéniable, pour les opérateurs, l'intérêt économique est largement tempéré s'ils s'astreignent à fournir une qualité de service proche de celle de la téléphonie classique.

Nous allons dans un premier temps voir quelques généralités sur la voix sur IP. Puis où en est actuellement la voix sur IP. Nous allons ensuite détailler ses aspects techniques puis économiques. Et enfin conclure sur quelques scénarios possibles d'évolution.

1 Généralités sur la téléphonie IP

1.1 Principe

La téléphonie IP consiste à transmettre la voix via un réseau informatique. De ce fait, celle-ci ne peut être transmise sous forme analogique (comme dans le réseau téléphonique traditionnel). Il faut donc tout d'abord numériser la voix et découper le signal obtenu en paquets pouvant être transmis sur le réseau internet. Une autre étape qui n'est cependant pas obligatoire mais se révèle décisive est la compression du signal numérique obtenu pour diminuer la quantité d'informations à transmettre et par voie de conséquence le débit nécessaire. Une fois les paquets transmis, il faut donc réassembler les paquets, décompresser, et enfin convertir le signal numériqe en signal analogique sonore.

En téléphonie numérique, les opérations de conversion numérique analogique sont déjà présente. (Le réseau numérique français est échantillonné à 64kbit/s). La technique de compression (théoriquement possible) n'a quant à elle pas été mise en œuvre au niveau utilisateurs mais uniquement dans certaines transmissions à très grande distance. Cependant, les perfectionnements extraordinaires qui se produisent à l'heure actuelle dans ce domaine laissent augurer d'une future utilisation de la compression en téléphonie classique également.

Pour ce qui est de la téléphonie sur réseau, deux cas peuvent être distingués : tout d'abord une transmission sur réseau de type ATM ou X25, c'est à dire sur des liens établis permanents où les paquets suivent tous le même chemin et arrivent dans l'ordre ; et la transmission sur IP où les paquets sont acheminés suivants des routes non fixes et peuvent être perdus, arriver dans le désordre le plus complet, ce qui impose un réordonnancement des paquets à leur arrivée (et donc d'avoir dans l'entête de chaque paquet un rappel du

[0]En France, le réseau téléphonique est passé au numérique sur une grande partie du territoire

numéro du paquet) et un mécanisme d'accusé-réception des paquets pour pouvoir réenvoyer les paquets perdus. C'est à ce deuxième cas def igure que nous étudions ici (comme l'indique le titre).

1.2 Fonctionnalités nécessaires

La première fonctionnalité qui vient à l'esprit dans le cas de la téléphonie IP est celle du transport de la voix, mais bien d'autres contraintes apparaissent. Il faut par exemple être capable d'initier la communication et également de la rompre. Pour initier une communication, il faut tout d'abord pouvoir fournir un identifiant du correspondant (l'équivalent de son numéro de téléphone), prévenir le correspondant qu'il est appelé ("faire sonner son téléphone"), signaler qu'il accepte la communnication ("il a décroché"). Dans le cours de la communication, les postes des deux correspondants doivent être signalés comme étant occupés (de façon qu'un autre correspondant ne s'imisce pas dans la conversation). À la fin de la communication le signal de fin de communication de l'un des correspondants doit être considéré comme une fermeture de la ligne, et les ex-correspondants doivent reprendre leur statut joignable.

En téléphonie traditionnelle, ces fonctions sont liées à l'utilisation de signaux de service qui se transmettent de poste à poste en passant par les centraux téléphoniques.

La façon dont vont être transmis les équivalents de ces signaux dépendent fortement du cas d'utilisation dans lequel on se place (voir ci-après). Dans le cas d'une communication entre deux ordinateurs, l'appelé doit être prévenu de l'appel par un autre biais (message instantané par exemple) pour mettre en route l'application de téléphonie IP. Une autre possibilité est que cet utilisateur ait l'application de téléphonie lancée en permanence. Celle-ci est alors capable de récupérer les paquets qui lui sont destinés.

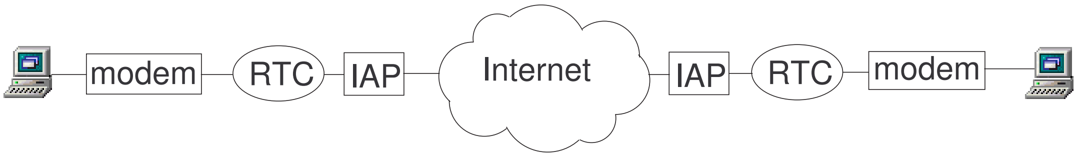
1.3 Différents cas d'utilisation

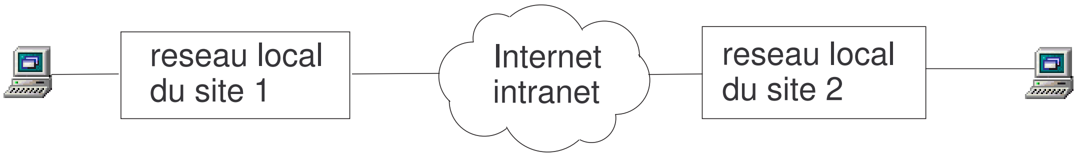
L'utilisation de la téléphonie peut se faire suivant 3 grands modes selon que les correspondants sont tous les deux sur ordinateur, tous les deux sur téléphone ou bien que l'un est sur ordinateur et l'autre sur téléphone.

1.3.1 PC to PC

Plaçons-nous dans le cas où les 2 utilisateurs sont sur leur ordinateur. Comme on l'a déjà vu, les correspondants doivent s'avertir avant de pouvoir se parler. Ils doivent également converser avec des logiciels compatibles. Comme leurs IPs peuvent être dynamiques, il faut savoir associer à l'utilisateur à appeler son IP actuelle. Pour ce faire, un annuaire dynamique se met en place (dynamique pour pouvoir associer à n'importe quel moment l'IP de l'appelé, mais aussi pour savoir s'il est ou non connecté et éventuellement si sa ligne est occupée.)

Ce mode de communication peut être schématisé comme suit selon que les utilisateurs sont sur un même réseau intranet ou bien connectés par modem à internet.

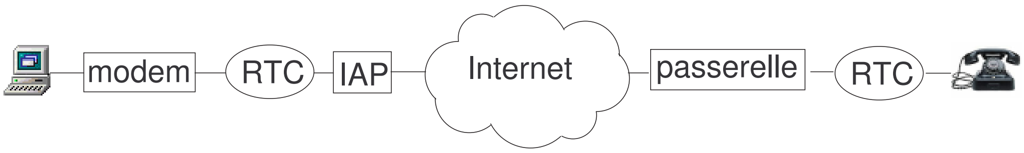


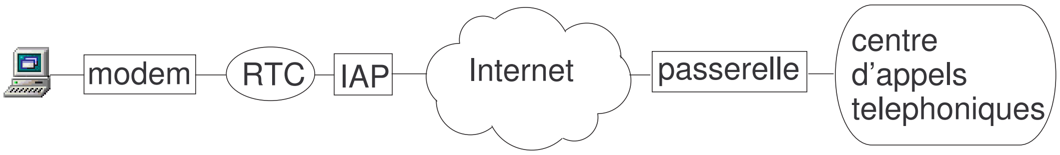


1.3.2 PC to phone / phone to PC

Dans le cas d'une conversation entre un ordinateur et un téléphone, les signaux doivent être convertis pour asser de l'un à l'autre des formats. Cela se fait à l'aide d'une passerelle qui peut se faire soit entre internet et le Réseau Téléphonique Connecté, soit entre internet et un central d'appel.

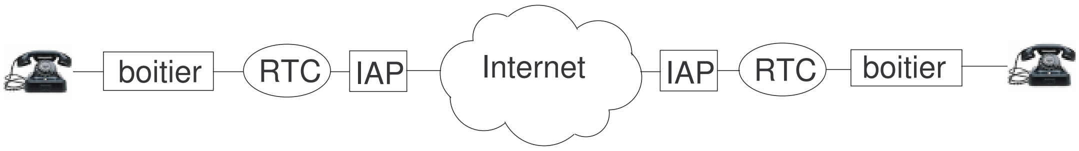
Dans le cas où c'est le possesseur de téléphone qui appelle un ordinateur, l'usager du téléphone devra appeler la susdite passerelle et lui faire comprendre à qui il veut parler, ce qui devrait se faire soit par une opératrice de la même façoon que plus haut, soit de façon automatique à l'aide de l'annuaire dynamique.

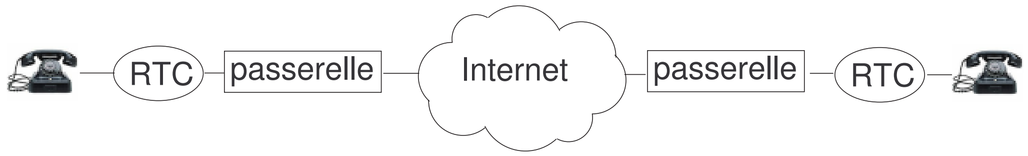




1.3.3 Phone to phone

Le cas peut également se présenter que la communincation entre 2 usagers du téléphone passe par internet (sans éventuellement que les usagers n'en soient au courant). Dans ce cas, l'opérateur devra prévoir des passerelles similaires à celles qui vont du réseau téléphonique au réseau internet. Ou bien avoir recours à des boitiers d'adaptation IP.





2 Mise en œuvre - Solutions matérielles

2.1 Matériel classique

Les différents éléments matériels mis en œuvre pour la téléphonie sur IP sont représentés sur la figure 1 et détaillés ci-dessous :

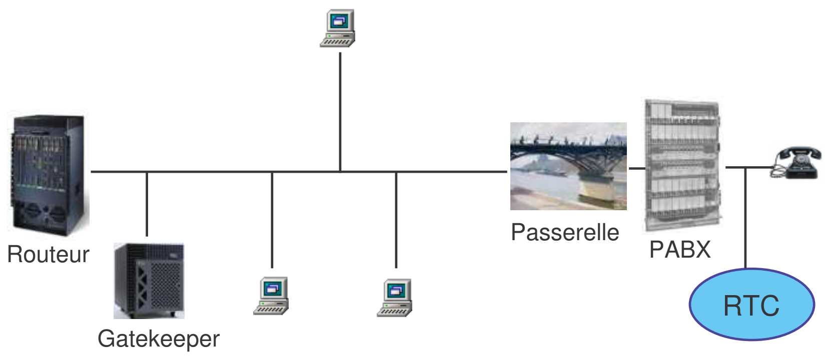


FIG. 1 – Schéma typique du matériel de voix sur IP

- Le routeur : Il permet d'aiguiller les données et le routage des paquets entre deux réseaux. Certains routeurs (comme les Cisco 2600) permettent de simuler un gatekeeper grâce à l'ajout de cartes spécialisées supportant les protocoles VoIP.
- Le Gatekeeper : Elle est la pièce maîtresse d'un réseau VoIP performant. C'est une sorte de routeur qui permet de résoudre un numéro de téléphone au format E164 (numéro de téléphone traditionnel) en numéro IP selon les identifications fournies par les DNS et autres serveurs d'adresses du gestionnaire de réseau. Ce pseudo-commutateur peut aussi jouer le rôle de pare-feu. Il filtre les accès et contrôle la bande passante.
- La passerelle : il s'agit d'une interface entre le réseau commuté et le LAN IP. La passerelle et le gatekeeper sont tellement liés (ils jouent tous les deux un rôle complémentaire) que certains équipements assurent les deux fonctions en un même boîtier.
- Le PABX : Il permet de faire le lien entre la passerelle(ou le routeur) et le réseau RTC.
- Le RTC : réseau téléphonique commuté traditionnel.
- les ordinateurs reliés au réseau sont équipés de micro et sortie son pour pouvoir être utilisés comme téléphones.

2.2 Utilisation de boîtiers d'adaptation entre postes téléphoniques et réseau IP

C'est la solution mise en oeuvre par une Société française dénommée APLIO pour utilisation sur Internet (Voir Annexe 3). Cette Société commercialise des boîtiers dont le prix actuel se situe autour de 1500 F ; parallèlement, elle met en oeuvre sur Internet un serveur spécial pour gérer l'établissement de la communication. Le correspondant demandeur lance sa communication comme sur un réseau de télécommunications classique ; la communication est d'ailleurs établie dans une première phase sur ce réseau mais, aussitôt après, les boîtiers s'échangent les informations nécessaires à la deuxième phase (la méthode utilisée fait l'objet d'un brevet) ; la communication traditionnelle est alors rompue et les boîtiers établissent, grâce aux informations qu'ils se sont échangés et avec l'aide du serveur spécial d'APLIO, la communication téléphonique sur Internet. Pour une communication à longue distance, l'utilisateur paie alors la première taxe d'établissement de la communication augmenté du coût d'une communication locale (mais il doit, tout comme son correspondant, amortir l'achat du boîtier APLIO).

FIG. 2 – Le boîtier APLIO

Innomedia, entreprise de Singapour également implantée en Californie, commercialise, sous le nom de marque Info-Talk, des boîtiers de même nature.

3 Aspects techniques - Normes et protocoles

La principale norme de téléphonie sur IP est la norme H.323, adoptée par l'UIT (Union Internationale des Télécoms) en 1996, qui intègre un certain nombre de composants tels les codecs (système de codage et décodages) audio/vidéo, l'interface avec les équipements audio/vidéo, avec le réseau, et avec les applications. Cette norme est un standard pour les réseaux à Qualité de Service non garantie, elle est donc particulièrement adaptée à IP.

Elle est basée sur un certain nombre de protocoles que nous allons détaillé au préalable. D'autres normes existent, telles que SIP (Session Invitation Protocol) et GLP (Gateway Location Protocol).

3.1 Protocoles associés

3.1.1 RTP : Real Time Transport Protocol & RTCP : Real Time Transport Control Protocol

RTP, standardisé en 1996, est un protocole adapté aux applications nécessitant des échanges avec des propriétés temps réel. Il permet de reconstituer une base de temps des flux (par horodatage des paquets), de détecter la pertes de paquets, et d'identifier le contenu temps réel des paquets pour leur associer un transport sécurisé. En revanche, il ne permet pas de réserver les ressources sur le réseau, de fiabiliser les échanges, ni de garantir une qualité de service. Ces protocoles sont bien adaptés pour la transmission de données temps-réel, par exemple lors d'une visio-conférence, sur un réseau bien ciblé, mais ne peuvent pas contrôler l'élément principal de la communication : le réseau.

3.1.2 RSVP : Resource Reservation Protocol

Associé à RTP, ce protocole peut en pallier les défauts, c'est-à-dire contrôler le réseau et garantir une Qualité de Service. Il intervient sur le réseau lui-même en établissant et maintenant un chemin unique pour le flot de données, et surtout en gérant les ressources avec un module de contrôle en chaque nœud du réseau. Les récepteurs doivent donc réserver les ressources du réseau et fonctionner en mode connectés. Cependant les routeurs fonctionnent en mode non-connectés (les récepteurs doivent périodiquement envoyer des messages RSVP pour indiquer le chemin aux routeurs - voir figure 3.

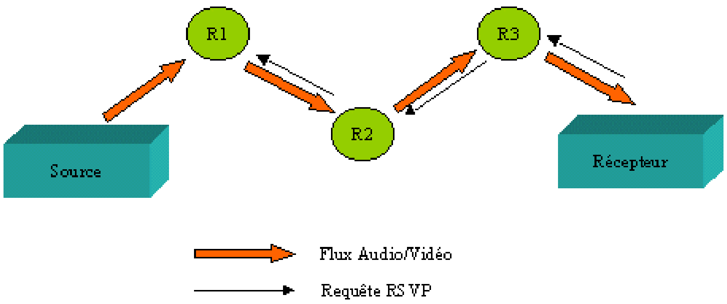


Fig. 3 – Fonctionnenement de RSVP

La philosophie de ce protocole semble bien adaptée à l'utilisation de la voix sur IP, mais son utilisation restera vraisemblablement restreinte au réseaux privés (tels les LAN). Il semble en effet assez compliquer d'avoir des modules adaptés à RSVP sur un réseau mondial. D'autre part, il paraît normal que la réservation de ressources soit payante, ce qui diminuerait nettement le principal avantage qu'à la voix sur IP par rapport à la téléphonie classique aujourd'hui : le prix.

3.1.3 DiffServ

Ce protocole est une alternative à RSVP, jugé trop complexe, et utilise les champs de Qualité de Service déjà présents dans le protocole IP aujourd'hui (IPv4) et renforcé dans la prochaine norme (IPv6). Devant la demande croissante de transmission de flux multimédia, les modules du réseau intègrent progressivement des algorithmes capables de lire ces champs et d'accorder un traitement particulier aux paquets le nécessitant. Cependant, DiffServ ne fait qu'affecter une discipline de service adaptée aux paquets le demandant, en les affectant à des files d'attentes spécialisées, il n'offre donc pas une qualité de services garantie. Ce protocole est bien adaptée à la transmission de la voix sur IP pour des réseaux bien dimensionnés.

3.1.4 Autres protocoles

D'autres protocoles peuvent encore être utilisés pour la voix sur IP, tels que QOSPF (QoS Path First) qui privilégie la stabilité d'un chemin pour le routage des paquets, ou encore VPN (Virtual Private Network) qui permet de créer un chemin virtuel sécurisé et fiable entre source et destination, grâce au principe de tunnel (tunnelling).

3.2 La norme H.323

Cette norme a été élaborée par des organismes tels que l'UIT, et permet de garantir l'interopérabilité des équipements et la Qualité de Service. Elle traite des système de communication multimédia par paquets, et normalise la transmission de la voix et de la vidéo sur IP. Ces principaux apports sont :

- Définition des normes de compression des flux audio et vidéo que les équipements doivent nécessairement supporter,
- Définition des protocoles de signalisation pour l'interopérabilité des équipements,
- Limitation de la bande passante réservée pour chaque type de communication,
- Indépendance vis-à-vis des applications et systèmes d'exploitation,
- Indépendance vis-à-vis du réseau physique supportant la communication.

3.2.1 Historique

La Voix sur IP met en œuvre les techniques télécommunications sur un réseau à paquets. A cet égard, une normalisation de la signalisation est donc nécessaire pour garantir l'interopérabilité des équipements. En mai 1995 c'est le début sur H.323. En 1996, une trentaine de logiciels de téléphonie ou visio-conférence sur IP existaient. Chacun ayant une signalisation propriétaire, les applications n'étaient évidemment pas compatibles entre elles.

Les premiers logiciels proposant le transfert de la voix sur un réseau de transmission de données virent le jour en 1996. Internet Connexion Phone d'IBM fut le premier produit proposant cette formule.

Dès lors IBM participa au mouvement de standardisation et d'interopérabilité des produits de téléphonie sur réseau de données autour de la norme H.323.

Ne restant pas insensible aux charmes (technologiques et financiers) de la téléphonie sur IP, Microsoft lance en 1996 le logiciel de visio-conférence : Netmeeting. Netscape le concurrent du moment détient alors 75% du marché des navigateurs et impose le logiciel CoolTalk comme fédérateur des logiciels de téléphonie sur IP. Bien entendu, les deux technologies sont incompatibles.

Microsoft à cette période se sent pousser des ailes pour s'orienter vers une standardisation des protocoles de signalisation. Elle s'investit donc fortement dans les groupes travail de standardisation ITU et IETF. Son influence n'étant pas des moindres, le standard de signalisation H.323 est créé. Netmeeting supporte ce standard et l'impose au monde IP. La norme H.323 est adoptée en avril 1996 par l'UIT-T (Union Internationale des Télécommunications, secteur Télécoms)

En 1997, l'IETF conçoit un système de signalisation SIP (Session Initiation Protocol) adapté à la philosophie IP, contrairement à H.323 qui s'inspire des circuits télécoms. L'investissement des industries dans H.323 fait que SIP tombe en désuétude. Aujourd'hui SIP et MGCP (Media Gateway Control Protocol) émergent et s'imposent sur des parts de marché spécifiques : échange de signalisation entre terminaux légers et passerelles de réseaux étendus. En janvier 1998 une approbation de l'ITU-T est effectuée pour la version 2 (ajout de fonctions)de H.323

3.2.2 Spécifications

L'architecture H.323 fonctionne selon une stratégie bout à bout qui lui confère une transparence vis-à-vis des évolutions du réseau. Elle s'appuie sur des protocoles de communications (RTP, RTCP,...), mais également sur des codecs audio (G.711 obligatoire, G723.1, G.728,...) et des codecs vidéo (H.261 et H.263).

Les fonctions dédiées à H.323 sont les suivantes :

- Contrôle de la procédure d'appel : requête, établissement et suivi de l'appel.
- Gestion des flux multimédias : liste de codecs recommandés ou obligatoires.
- Gestion des conférences multipoint : modèle de conférence géré par une entité centrale.
- Gestion de la bande passante : le gatekeeper devient un centre de contrôle et a les moyens de limiter les connexions et d'allouer la bande passante disponible.
- Interconnexion à d'autres réseaux : ATM, RNIS, RTC.

H.323 définit quatre composants majeurs qui interagissent dans un réseau de paquets :

- les "endpoints", qui initient un appel audio, vidéo ou de visio conférence ;
- une passerelle ("gateway") pour l'interaction avec un réseau téléphonique commuté ;
- un élément optionnel ("gatekeeper") qui permet la connectivité entre des équipements ISDN externes qui appellent dans le réseau de paquets pour atteindre un élément

H.323 ;

- les MCUs (" Multipoint Control Units ") pour la conduite de visio conférences en multi points.

L'intégration des différents protocoles est représentée sur les figures 4 et 5.

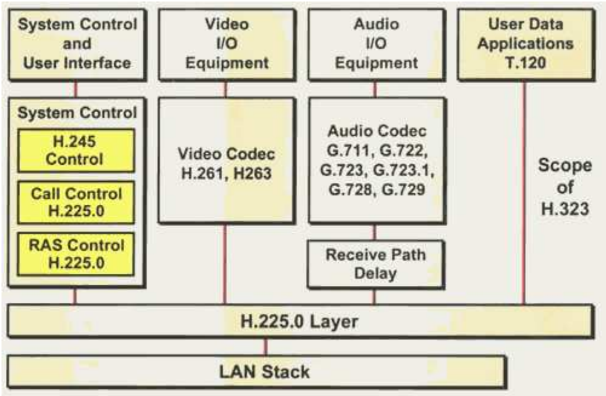


FIG. 4 – Les différents protocoles dans l'architecture H.323

La signalisation se fait avec les protocoles suivants :

- RAS : Gère l'admission et l'état des communications
- Q.931 : Gère les appels et le raccrochage
- H.245 : Gère l'utilisation des canaux et leur capacité

Des fonctions optionnelles sont également proposées par les protocoles H.235 (sécurité et authentification) et H.450.x (divers services supplémentaires).

3.2.3 Le gatekeeper

Un gatekeeper agit comme un moniteur de tout appel H.323 dans la partie du LAN qu'il gère. Il fournit deux services principaux : la gestion des permissions et la résolution d'adresses. Le gatekeeper est aussi responsable de la sécurité. Quand un client H.323 veut émettre un appel, il doit le faire au travers du gatekeeper. Celui-ci résout alors l'adresse du destinataire. Dans le cas où il y aurait plusieurs gateways sur le réseau, il peut rediriger l'appel vers un autre couple gateway/gatekeeper qui essaiera à son tour de router l'appel. Pendant la résolution d'adresse, le gatekeeper peut aussi attribuer une certaine quantité de bande passante pour l'appel. Il peut agir comme un administrateur de la bande passante disponible sur le réseau. Le gatekeeper répond aux aspects suivants de la téléphonie IP :

- Routage des appels : le gatekeeper doit tester si l'appel est autorisé, effectuer la résolution d'adresse et rediriger l'appel vers le bon client ou la bonne passerelle.
- Administration de la bande passante : il alloue une quantité de bande passante pour chaque appel et sélectionne les codecs à utiliser. Il agit ainsi en administrateur de la bande passante pour éviter les goulets d'étranglements
- Tolérance aux fautes, sécurité : le gatekeeper est aussi responsable de la sécurité dans un réseau de téléphonie IP. Il doit gérer les redondances des passerelles afin de faire

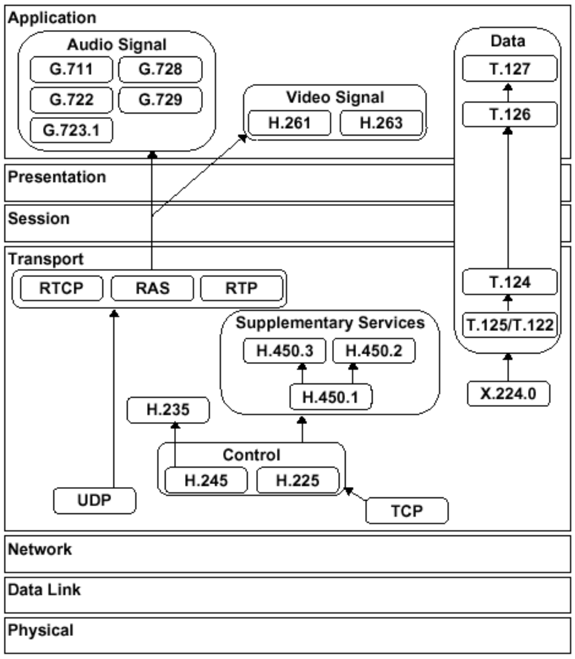


FIG. 5 – Les différents protocoles dans le modèle OSI

aboutir tout appel. Il connaît à tout moment l'état de chaque passerelle et route les appels vers les passerelles accessibles et qui ont des ports libres.
- Gestion des différentes gateways : dans un réseau de téléphonie IP, il peut y avoir beaucoup de gateways. Le gatekeeper, de par ses fonctionnalités de routage et de sécurité, doit gérer ces gateways pour faire en sorte que tout appel atteigne sa destination avec la meilleure qualité de service possible.

3.2.4 La signalisation : exemple d'un appel point à point avec H.323

Voici comment s'établit une connexion avec H.323. Le schéma ne s'appuie que sur les groupes de messages importants et ne détaille pas la négociation des codecs par exemple.

Supposons que Dude essaye d'appeler Sweet. Commençons par comprendre les bases d'un appel point à point. L'établissement d'appel se fait à 3 niveaux différents. Dude commence par établir une connexion TCP sur le port classique pour H.323 (1720). Sweet et Dude s'envoient alors des paquets Q931 par cette connexion. Durant cet échange, Sweet et Dude envoient aussi un numéro de port temporaire qui servira pour les échanges H245. Si l'on respecte le standard, dès que la connexion H245 est établie, la connexion Q931 s'achève (sans envoi de message particulier), sans affecter le reste de la connexion H.323. En pratique, la connexion Q931 est simplement laissée de coté.

La connexion H245 est établie par l'appelant sur le port temporaire négocié lors de la connexion Q931. H245 transmet tous les paramètres à utiliser lors de l'appel et négocie donc l'usage de tels ou tels codecs par exemple. H245 permet aussi d'établir la connexion UDP qui servira à la transmission de la voix (et de la vidéo). En fait, une fois que les codecs et les autres paramètres de l'appel ont été négociés, la session H245 exécute une séquence d'opérations visant à ouvrir un canal de transmission en UDP (Open Logical Channel). Cette séquence permet de déterminer les adresses RTP et RTCP de l'envoyeur et du receveur ainsi que le port sur lequel se fera la transmission du flux de données (audio ou vidéo). On notera qu'avec H.323, chaque canal logique est considéré comme une voie. C'est à dire, que pour que deux personnes échangent de la parole, il faut ouvrir 2 canaux logiques : l'un pour aller de Sweet vers Dude et l'autre pour aller de Dude vers Sweet. De plus, le protocole RTP requière 2 connections UDP adjacentes. L'une des connexion est utilisée pour RTP, pour le transport du flux de données, l'autre pour RTCP, qui sert au contrôle de ces données et qui est bidirectionnelle.

Comme nous pouvons le voir, l'établissement d'un appel n'a rien de trivial si l'on n'est pas familier avec les bases de la téléphonie classique. Mais ce type de protocoles nous assure une grande efficacité et une bonne qualité de service puisqu'ils utilisent les principes de la téléphonie classique, ce qui est une révolution dans le monde de l'informatique. Le problème est que cela complexifier le développement d'une plate-forme de téléphonie IP.

L'origine télécom de H.323 fait que son adaptation à IP est complexe et lourde à gérer ce qui la rend incompatible avec la simplicité du monde IP. C'est pourquoi, des recherches ont été effectuées sur des normes de signalisation mieux adaptées à la philosophie IP.

3.3 Le principal concurrent de H.323 : SIP

Le protocole SIP (Session Invitation Protocol) a été développé par l'IETF, et est actuellement à l'état d'être proposé comme standard de la signalisation pour les applications de téléphonie et la visio-conférence sur Internet. Sa simplicité et son intégration au monde IP, fait qu'il vient bousculer le mastodonte H.323 déjà bien implanté.

SIP intervient aux différentes phases de l'appel :

- Localisation du terminal correspondant,
- Analyse du profil et des ressources du destinataire,
- Négociation du type de média et des paramètres de communication
- Disponibilité du correspondant,
- Établissement et suivi de l'appel,
- Gestion de fonctions évoluées : cryptage, retour d'erreurs,

SIP permet de joindre les utilisateurs par des adresses de type e-mail, et réutilise l'infrastructure du courrier électronique comme les enregistrements DNS MX ou les messages SMTP EXPN. Des adresses SIP (URLs) peuvent également être incluses dans des pages WEB.

SIP n'exige qu'un service en mode datagramme, qui peut être non fiable, intégrant ses propres mécanismes de fiabilité de fonctionnement. Entant utilisé typiquement au-dessus d'UDP ou de TCP, SIP peut être utilisé au-dessus d'IPX ou d'autres protocoles.

Le lent démarrage de la téléphonie sur IP est dû en partie à la réticence des consommateurs au sein des entreprises mais aussi aux lourdeurs de l'architecture H.323. Face à la suprématie de SIP, l'UIT a normalisé une seconde version de H.323 (V2) qui est plus économique en nombre de paquet transmis avec une gestion de sécurité et de télé-services. Les principaux exploitants de la voix sur IP ont d'abord utilisé le protocole H.323 puis ont adopté tant bien que mal le standard SIP. Depuis, les équipementiers se préparent à la cohabitation des deux architectures protocolaires qui a encore du mal à ce mettre en place. Une comparaison sommaire de ces deux architectures est proposée dans le tableau 1.

Fonctionnalités	SIP	H.323
Nombre d'échanges pour établir la connexion	1,5 aller-retour	6 à 7 aller-retour
Maintenance du code protocolaire	Simple par sa nature textuelle à l'exemple de HTTP	Complexe et nécessitant un compilateur
Évolution du protocole	Protocole ouvert à de nouvelles fonctions	Ajout d'extensions propriétaires
Fonction de conférence	Distribuée	Centralisée par l'unité MC
Fonction de télé-services	Oui, par défaut	H.323 v2 + H.450
Détection d'un appel en boucle	Oui	Inexistante sur la version 1 (un appel routé sur l'appelant provoque une infinité de requêtes)
Signalisation multicast	Oui, par défaut	Non

Tab. 1 – La nouvelle offre d'équipements IP

4 Une alternative : des solutions logicielles

Lorsque nous appelons à l'étranger ou à l'autre bout de la France, les communications téléphoniques restent toujours trop chères à notre goût. Pourquoi ne pas les réduire considérablement en adoptant Internet pour téléphoner directement à nos correspondants grâce à des logiciels de VOIP ?

Bien que l'Internet se développe rapidement, le téléphone reste encore le favori du public en matière de communication. Plus convivial car le contact est presque réel, il reste en plus simple d'utilisation. Pourtant, il fusionne de plus en plus avec le matériel informatique.

Les utilisateurs du téléphone ont depuis toujours été habitués à payer leurs communications en fonction de la distance et de la durée de celles-ci, mais depuis l'émergence et l'extraordinaire développement de l'Internet, les mentalités changent et on s'habitue au principe de réseau informatique et de son accès forfaitaire.

On peut ainsi communiquer, par écran interposé, n'importe où dans le monde sans aucune considération financière puisque le prix est toujours celui d'une communication locale (ou bien le prix du fournisseur d'accès Internet). C'est évidemment cet aspect financier qui est à l'origine de la téléphonie sur IP. Car c'est une révolution au niveau des tarifs qui s'annoncent démesurément bas.

Déjà opérationnelle, la téléphonie sur Internet est d'une qualité médiocre, mais les prix et les perspectives d'amélioration sont là pour masquer les faiblesses, ainsi une communication Paris - New York coûterait moins de 1F/Minute, chose inconcevable en France sur le réseau classique.

En plus de ce coût à la minute vraiment avantageux, le prix du logiciel lui-même est dérisoire, en effet il est souvent offert à l'achat d'un modem ou d'une carte son, ou même gratuit sur Internet dans leur version d'évaluation. Cependant ces logiciels possèdent des performances bien inférieures aux solutions matérielles. En voici quelques exemples.

4.1 WinPhone

Ce logiciel fonctionne sous Windows 95/98/NT. Il nécessite la présence d'un modem et d'une carte son si le modem n'est pas doté d'un haut-parleur et micro intégré. WinPhone permet d'utiliser son PC comme un poste téléphonique et comme un fax. A l'aide d'un PABX, deux types de communications distinctes sont envisageables (représentées sur la figure 6 :

- Communication de PC à PC : les machines se comportent comme des téléphones (avec la fonction répondeur-fax) mais l'envoi de fichiers est aussi envisageable.
- Communication de PC à un téléphone traditionnel branché directement sur le PABX, l'inverse est aussi fonctionnel (téléphone vers PC).

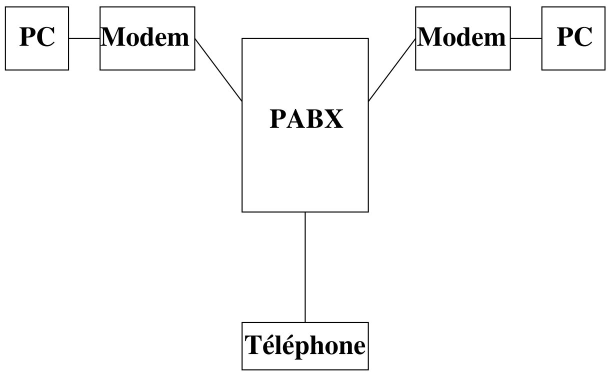


Fig. 6 – WinPhone : Schéma d'interconnection

4.2 PhonePatch

PhonePatch s'installe et ajoute des options de téléphonie dans les programmes NetMeeting de Microsoft, Netscape Conference ou Intel Internet VideoPhone et doit être lancé sur une machine possédant une connexion directe à Internet.

FIG. 7 – WinPhone : Capture d'écran

PhonePatch permet à l'utilisateur d'effectuer des appels à partir de n'importe quelle machine d'un réseau local vers une machine connectée à Internet. L'inverse est aussi possible.

Sur un réseau local, il permet une utilisation transparente du logiciel NetMeeting. PhonePatch fonctionne sous Windows 95/98/NT/2000, et sous Linux.

Ce programme se comporte comme un PABX ou un commutateur téléphonique, c'est-à-dire qu'il commute les appels entre le réseau local et Internet. Mais il ne peut être utilisé qu'avec des programmes qui supportent le protocole H.323.

5 Qualité de transmission de la voix sur Internet

5.1 Irrégularité et retard

Le retard introduit par Internet (de l'ordre de 50 à plus de 500 ms, selon l'état du réseau) est d'un ordre de grandeur nettement plus élevé que celui d'un réseau classique et rejoint celui d'un bond de transmission spatiale géostationnaire.

Ce retard est dû :

- au temps de traitement dans la compression du signal vocal, d'autant plus élevé que le débit obtenu est plus bas ;
- à la durée d'un paquet (20 à 40 ms) : pour limiter l'incidence du "surdébit" , et celui du nombre de paquets par seconde (qui conditionne la charge des routeurs ou commutateurs IP), on regroupe l'information utile dans des paquets assez gros, d'où il résulte un retard pour constituer ces paquets ;
- au stockage dans les files d'attente des commutateurs ou routeurs, d'autant plus sensible que le mode de gestion des réseaux IP ne privilégie pas toujours la réduction du nombre de routeurs traversés.

- au dispositif de correction ou de "camouflage" des paquets manquants, qui nécessite l'attente de blocs de correction ;
- au dispositif de lissage, qui stocke le débit reçu irrégulièrement dans une mémoire tampon, de façon à le restituer de façon continue au décodeur du signal. Le délai est ajusté au délai maximal susceptible de se produire, sans toutefois l'égaler (on court le risque d'une insuffisance de temps en temps).

Le lissage est rendu nécessaire par le fait que le retard introduit par les mémoires tampon du réseau n'est pas constant, mais fluctue au gré de la charge des liaisons de transmission, donc des débits instantanés des usagers, informatiques notamment. Cette fluctuation du retard est très préjudiciable à la qualité acoustique, d'où la nécessité d'un lissage.

Dans ces conditions, il faut que l'insertion de l'IP dans le contexte téléphonique général ne conduise pas à ce qu'une communication emprunte deux réseaux IP séparés par une reconstitution du signal sous sa forme codée classique à 64 kbit/s (de la même façon qu'on évite deux bonds par satellite géostationnaire).

Le problème de l'écho se pose ou non suivant le contexte d'insertion de l'IP dans le réseau général de téléphonie : si l'une au moins des extrémités de la connexion est constituée par une ligne d'abonné téléphonique utilisée en basse fréquence -comme pour une communication téléphonique normale -, il faudra recourir à un annuleur d'écho de bonne performance. Il y a un autre cas où l'écho peut se manifester, c'est celui de la téléphonie mains-libres ou de la conférence mains-libres : le couplage a alors lieu de façon acoustique et le temps de transmission élevé rend cet écho particulièrement sensible. Les terminaux de conférence mains-libres doivent donc être dotés d'un bon dispositif d'annulation d'écho.

5.2 Pertes, civilité, contrôle de flux, dimensionnement du réseau

Dans un réseau IP, il n'existe pas à l'heure actuelle de mécanisme de préférence ou de contrôle de flux hiérarchisé (des mécanismes sont définis ou en cours de définition dans le cadre du protocole IPv6 ou même de l'amélioration d'IPv4, mais ne sont pas mis en oeuvre à l'heure actuelle). Lorsque le débit offert à une liaison du réseau excède durablement le débit maximal de cette liaison, la mémoire tampon correspondante élimine un certain nombre de paquets. En revanche, il existe dans les terminaux un mécanisme d'ajustement de la fenêtre aux pertes de paquets constatées. Ce mécanisme ralentit l'émission de paquets en cas d'encombrement du réseau. Il s'agit là non pas d'un système de contrôle de flux, dans lequel le réseau procède à une limitation autoritaire du débit des sources (la totalité d'entre elles ou une partie seulement), mais d'un mécanisme d'autolimitation mis en jeu par les terminaux. Pour rendre service à l'ensemble de la collectivité des utilisateurs du réseau IP, le terminal restreint le débit de son émission. Ce mécanisme peut donc être neutralisé par l'utilisateur si celui-ci, négligeant la bienséance qui doit régir l'usage d'IP, modifie le logiciel de son terminal pour échapper à la restriction. Ce processus est donc un processus de "civilité".

Le protocole RTP, destiné à véhiculer des signaux en temps réel, ne comporte guère d'ajustement du débit aux conditions d'encombrement rencontrées dans le réseau. Il se comporte donc, d'une certaine manière, en utilisateur "incivil". Les paquets RTP n'échappent pas à l'éjection en cas d'encombrement.

Dans le cas de la transmission de voix sur IP, un processus de civilité est défini, qui applique à la voix une compression d'autant plus efficace que le réseau est encombré, l'encombrement étant perçu par le biais des pertes de paquets repérées par RTCP. Parallèlement, une redondance plus importante est introduite, de façon à permettre de pallier les pertes de paquets. Le degré de civilité de l'ensemble se mesure à la réduction globale de débit (redondance comprise) en fonction du taux de perte de paquets dans le réseau.

L'utilisation de redondance pour pallier les pertes de paquets peut prendre la forme d'un code correcteur classique agencé pour faire face à des disparitions de paquets. Il peut prendre la forme d'un "camouflage", dans lequel la portion de signal manquante est remplacée par un signal reconstitué à partir des portions voisines reçues. Une forme plus performante de camouflage, préconisée par l'INRIA, consiste à transmettre chaque portion de signal en double, dans deux paquets différents. L'une de ces portions est codée par un procédé plus grossier, mais de débit très réduit. En cas de disparition de la portion de signal normale, la portion grossièrement codée lui est substituée.

Le résultat global de ce dispositif est que la qualité perçue par l'utilisateur demeure acceptable pour des taux de perte de paquets atteignant 10 à 15%, voire plus en fonction du type de codage.

5.3 Insertion ou non d'Internet dans le contexte du service téléphonique

Du point de vue de l'écho, le mode d'accès au réseau IP est important. Plus précisément, la conversion IP peut avoir lieu dans les locaux de l'utilisateur, ce qui suppose l'existence d'un terminal adéquat, et l'utilisation éventuelle de la ligne du Réseau téléphonique commuté doit alors se faire en numérique au moyen d'un modem dans la bande téléphonique ou en RNIS (Réseau Numérique à Intégration des Services). L'adaptation peut avoir lieu dans le réseau, et dans ce cas l'utilisateur peut y accéder par le réseau téléphonique commuté analogique utilisé normalement. Dans ce dernier cas, le problème de l'écho se pose avec acuité, compte tenu du délai de transmission dans le réseau IP, et un annuleur d'écho de bonne performance doit être utilisé à l'accès correspondant.

Les pertes de paquets posent le problème du dimensionnement d'un réseau IP et de la maîtrise des différents flux de trafic qui l'empruntent.

Le fonctionnement actuel d'Internet donne une image médiocre de la qualité de service d'IP, encore qu'on ne soit pas à première vue capable de faire la part de l'encombrement du réseau et celle du sous-dimensionnement des serveurs ou de leur liaison d'accès. Le mélange de flux de trafic portant des applications différentes (données, transfert de fichiers, video, son, etc.), et provenant de secteurs différents (grand public, entreprises) ne favorise pas la connaissance des flux de trafic ni leur bonne gestion : le trafic grand public est réputé plus capricieux et sujet à des explosions "sociologiques", le tarif faible ne pousse pas à une prise en compte rigoureuse de la qualité de service. En l'absence de mécanisme permettant de sacrifier certains usages fort consommateurs de débit, on ne peut assurer que la perte de paquets restera maîtrisable et inférieure aux 10 à 15% qui constituent généralement la frontière pour une qualité acceptable en téléphonie sur IP. Enfin, on ne connaît pas l'extension que peut prendre l'incivilité.

En revanche, il est envisageable d'éviter le mélange de genres, soit en utilisant des intranets, soit en constituant un sous-réseau consacré à la voix (et à d'autres utilisations temps réel ou non, mais dont le trafic est maîtrisable).

La première solution, par la sélection des utilisateurs, donne au gestionnaire du réseau la possibilité de prévoir le trafic et de dimensionner en conséquence son réseau. En cas d'erreur de prévision, il a la possibilité d'effectuer des arbitrages sur les priorités entre les diverses utilisations, puisqu'il existe une autorité commune à tous les utilisateurs.

La seconde porte évidemment atteinte à l'un des intérêts de la téléphonie sur IP, qui est de mettre en commun le réseau pour toutes les applications. On peut cependant envisager de restreindre la communauté à la partie basse du réseau, vraisemblablement la plus onéreuse. Il s'agit des passerelles qui font l'interface entre le Réseau téléphonique commuté et le réseau IP. On peut envisager une passerelle unique qui enverrait sur des liens de transmission différents le trafic téléphonique, d'une part, et le trafic IP, d'autre part, aiguillant ainsi les deux types de service vers des réseaux IP gérés séparément.

Pour que la téléphonie sur IP connaisse un développement important, au point de conquérir une part importante du trafic général téléphonique, il est nécessaire que les équipements d'adaptation soient très banalisés et que leur activation ne nécessite pas de manoeuvre ou de préparation particulière. Ce peut être le cas si un adaptateur spécialisé est utilisé en conjonction avec le Réseau téléphonique commuté, ou si la convivialité des PC fait des progrès. Mais même dans ces cas, cela nécessite une action délibérée de la part des clients individuels (achat d'un équipement de conversion).

Une généralisation conservant l'usage classique de la ligne téléphonique analogique permet une telle banalisation de l'usage d'IP sans action particulière de la part des clients. Dans ce cas, l'adaptation à l'IP a lieu dans les passerelles Réseau téléphonique commuté / IP, et chez les clients pour les utilisateurs d'une importance suffisante pour justifier un raccordement direct par liaison spécialisée sur le réseau IP. L'usage d'IP est alors de constituer un réseau semblable, à la technique de multiplexage et de commutation près, à celui des opérateurs de téléphonie interurbaine (transporteurs ou "carriers" interurbains) qui s'interconnectent au réseau des opérateurs historiques. Les conditions d'interconnexion pourraient alors être identiques à celles des opérateurs utilisant des systèmes classiques, sous réserve que le service fourni soit de même qualité que le service classique, et sous réserve évidemment que l'autorité compétente (Commission européenne, régulateur national ?) en décide ainsi.

5.4 Conclusion

Tant que la gestion du trafic permet de conserver de façon sûre une perte de paquets inférieure à quelque 10%, et sous réserve d'utiliser les modes de correction ou de "camouflage" convenables, il est possible d'obtenir une qualité vocale acceptable. De plus, la numérisation doit être opérée par un procédé de bonne qualité, donc pas trop économe en débit, mais l'économie forcenée de débit n'est généralement pas considérée comme l'élément déterminant du succès potentiel de la téléphonie sur IP.

Pour obtenir cette sécurité dans la perte de paquets, une maîtrise du trafic de données qui partage le réseau avec la téléphonie est indispensable. Cette maîtrise peut dériver d'une restriction de l'admission au réseau (intranet), ou de la séparation - aussi proche que possible des utilisateurs - du trafic vocal et du trafic de données. Si aucune de ces méthodes n'est admise, il ne reste qu'à mettre en oeuvre les dispositions de priorités étudiées tant dans le cadre d'IPv4 que d'IPv6, ce qui est loin d'être simple.

Le retard apparaît comme indissociable de la technique IP. Il peut cependant être limité par les mêmes moyens qui permettent de contrôler les pertes de paquets. Si une même conversation traverse plusieurs réseaux IP, ou plusieurs fois le même réseau IP, les retards s'additionneront. De telles situations peuvent se produire dans le cas de certains services, ou pour des communications empruntant plusieurs réseaux indépendants.

L'écho ne se manifeste que si l'une au moins des extrémités de la communication fait appel au réseau téléphonique commuté sous sa forme analogique. Le remède est identique à celui qui est utilisé pour les satellites géostationnaires (recours à des annuleurs d'écho).

Dans le cas d'une insertion dans le réseau téléphonique général, il reste à vérifier que les diverses combinaisons résultant des services mis en oeuvre (conférence additive, accès par radiomobiles, transfert...) ne conduisent pas à un cumul inadmissible de dégradations (retard, distorsions dues à la compression).

6 Aspects économiques

6.1 Gains objectifs

Outre les gains de coût que l'on remarque en comparant les prix pratiqués pour l'accès internet et la téléphonie à moyenne ou longue distance, certains paramètres techniques induisent une réduction des coûts par rapport au téléphone classique.

En premier lieu, vient le fait que la liaison ne se fait pas sur un lien uniquement réservée à celle-ci (sur la plus grande partie du trajet en tout cas). Ainsi, il y a une meilleure utilisation des liens.

Ensuite, du fait de la compression de données effectuée avant d'occuper les liens, on les utilise de façon encore moins exclusive, requérant une bande-passante de seulement 10 kbit/s pour faire passer une communication numérisée en 64 kbit/s.

De plus l'utilisation du réseau internet signifie l'utilisation de ses infrastructures et donc la possibilité de bénéficier des chutes de prix substantielles que connaît le domaine de l'informatique par opposition au monde relativement fermé des télécommunications. On utilise ainsi des outils moins spécialisés mais presque aussi performants pour ce travail.

Enfin le concept même de la téléphonie IP s'accomode de demandes de service différentes de la téléphonie classique. On accepte une qualité légèrement inférieure dans le cas de cette nouvelle technologie.

6.2 Répercussions pour les utilisateurs

Sur le plan des prix pour l'utilisateur final, d'autres considérations viennent s'ajouter aux économies intrinsèques de coûts.

Dans le cas d'une utilisation de micro-ordinateurs par deux internautes, il est clair que les utilisateurs ne se sont pas équipés spécialement pour faire du téléphone. Ils ont donc tout naturellement tendance à raisonner complètement en "coût marginal" et à ne tenir compte d'aucun amortissement de leurs équipements informatiques. Pour eux, au delà de l'acquisition éventuelle d'un logiciel spécialisé (en plus du logiciel de voix qui est le plus souvent gratuit) et d'un microphone (les haut-parleurs sont maintenant livrés "en série"), le seul prix ressenti est celui d'une communication téléphonique locale, quelle que soit la localisation géographique du correspondant.

Dans le cas d'une utilisation de type "PC to phone", on est à peu près dans la même situation ; en particulier, dans le cas des applications vraisemblablement très prometteuses de type "PC to Call Centre" (en accompagnement d'une transaction de commerce électronique), le prix pour l'utilisateur est celui de la communication locale qu'il avait initiée pour se connecter sur Internet en vue de sa transaction commerciale.

Dans le cas de l'utilisation de boîtiers d'adaptation, on a affaire à des applications très ciblées du type de l'expatrié souhaitant garder un contact fréquent avec sa famille. Le prix à payer par les utilisateurs doit être alors calculé en tenant compte à la fois des coûts de communication (une voire deux communications locales, donc un prix dépendant des pays concernés) et de l'incidence de l'amortissement du coût des boîtiers achetés des deux côtés (qui dépend bien sûr du taux d'utilisation).

Enfin, les pseudo-opérateurs, par exemple fournisseurs d'accès (IAP) ou de services (ISP) s'équipant en passerelles avec les réseaux téléphoniques locaux des zones géographiques d'offre du service, sont bien évidemment amenés à répercuter, sur le prix facturé à l'utilisateur, l'amortissement de tous les équipements installés par eux et à faire payer à l'utilisateur un prix dépendant de l'usage effectif par ce dernier.

Un dernier point reste à mentionner, mais il n'est pas lié à la technologie utilisée mais plutôt à l'état d'esprit dans lequel s'opère l'utilisation des réseaux de type Internet : il n'est pas impossible que la téléphonie sur IP facilite l'introduction de pratiques publicitaires consistant à offrir à un utilisateur x minutes gratuites de téléphone sur Internet pourvu qu'il accepte que sa communication soit entrecoupée de messages publicitaires audibles à la fois par lui-même et par son correspondant, mais il semble que les perspectives de trafic ainsi subventionné par la publicité soient assez limitées, sauf à dissocier la forme de la publicité (pages visuelles sur l'écran du micro-ordinateur) de la forme vocale de la conversation... Ce serait en effet une solution plus acceptable pour les 2 correspondants que l'offre qui s'est récemment mise en place en téléphonie mobile qui doublait le temps de communication pour ceux acceptant d'être régulièrement interrompus par un message publicitaire.

6.3 Coût pour une entreprise

Dans le cas d'une entreprise s'équipant des systèmes nécessaires pour l'interface avec son réseau intranet, voire avec Internet, un calcul d'amortissement de même nature que ce qui a été indiqué ci-dessus est à faire.

Il est clair que le cas le plus favorable, mais aussi le plus répandu à terme, est celui où l'entreprise aura déjà mis en place un intranet pour des besoins autres que la téléphonie.

Dans ce cas, si l'entreprise opte pour l'utilisation de son intranet pour transmettre le trafic téléphonique interne (notamment entre sites géographiques distants), elle réalisera une véritable intégration voix-données au sein de son réseau d'entreprise. Il est probable qu'elle en profitera pour ajouter des possibilités supplémentaires telles que la téléconférence ou la visioconférence entre ses différents sites.

6.4 Et si la téléphonie IP se généralisait

En cas de généralisation de la transmission de la voix sur réseau IP, il est clair que l'équation économique, qui repose en partie aujourd'hui sur le caractère marginal de ce type d'utilisation par rapport à la transmission de données, serait sensiblement modifiée. Si en effet, comme le suggèrent les éléments d'évolution voix / données, on assistait à un véritable basculement des transmissions vers le "tout numérique", il est clair que la voix devrait s'aligner sur cette évolution et que l'IP s'imposerait alors naturellement.

En particulier, cela conduirait à un dimensionnement des réseaux de transport IP évoluant en rapport avec le trafic, comme cela se passe actuellement pour les réseaux de téléphonie publics.

Cela conduirait également à des structures tarifaires évolutives. En effet, les calculs de coûts évoqués plus haut porteraient alors non seulement sur l'amortissement des matériels permettant l'acheminement des communications IP mais également sur les conséquences de ce dimensionnement nouveau des réseaux de transport.

Quoi qu'il en soit, l'économie intrinsèque déjà évoquée jouerait son rôle et on peut donc s'attendre dans ce cas à une baisse de prix de la téléphonie.

Le paramètre de la qualité de service interviendrait aussi comme modulateur du prix selon le réseau utilisé. Pour se faire une idée des ordres de grandeur envisageables, il faut savoir que certains spécialistes aux Etats-Unis considèrent qu'actuellement le gain pour l'utilisateur en termes de prix devrait s'établir à environ 30 à 40 % de réduction, par rapport à l'utilisation du réseau téléphonique classique, pour une entreprise mettant en oeuvre un intranet, et à 50 % de réduction pour le passage par Internet, les qualités de service étant évidemment à comparer en conséquence (service de "première classe" sur le réseau téléphonique, service "classe affaires" sur intranet, service "classe économique" sur Internet).

Un autre point de comparaison est donné par quelques exemples de tarifs pratiqués par la Société américaine IDT (Chiffres de 1997, d'après une étude de l'OCDE et d'après la revue Capital, pour une minute de communication) :

Liaison	Tarif habituel	Tarif Internet	Économie
France-Belgique	2.62 F	2.20 F	16%
France-USA	2.25 F	0.85 F	62%
France-Japon	5.90 F	1.80 F	70%
France-Australie	6.96 F	1.80 F	74%

On est loin des rapports très importants annoncés quand on compare brutalement le prix d'une communication téléphonique longue distance, voire internationale (à la durée) à celui d'une communication locale (éventuellement indépendante de la durée, voire incluse dans le forfait de l'abonnement comme aux Etats-Unis), mais, d'une part, on a vu plus haut ce qu'il fallait prendre en compte si l'on voulait raisonner en termes de coûts réels, d'autre part les applications de type Internet commencent à conduire à une remise en cause du forfait de communications locales ("flat rate") et ce mouvement s'accélérerait a fortiori en cas de développement massif de la téléphonie sur Internet.

Cela étant, on commence à percevoir en revanche une ouverture possible vers une approche nouvelle basée sur un choix du client en fonction de la qualité de service, approche dans laquelle le client pourrait choisir son rapport prix / qualité selon deux ou trois classes de service différentes.

Enfin, il ne faut pas négliger les applications nouvelles, à caractère réellement multimédia, dont l'apport pourrait justifier à lui tout seul l'intérêt de la voix sur IP.

7 Scénarios d'évolution

7.1 Deux scénarios extrêmes

Deux scénarios extrêmes peuvent être imaginés dans le développement de la transmission de la voix sur IP. Avant de les décrire brièvement, on peut toutefois imaginer un certain nombre de points communs entre ces deux scénarios.

En particulier, il est plus que probable que, indépendamment du scénario, l'utilisation par les entreprises de leurs réseaux intranet, pour y passer de la voix en plus des données, se développera dans les années à venir sous la pression des évolutions de coût.

Il est également prévisible que des applications telles que la transmission de fax par Internet et l'appel de "call centres" en accompagnement d'une transaction sur Internet se développeront tout naturellement, notamment en même temps que la croissance du commerce électronique pour ce qui est de la deuxième application.

Enfin, des applications nouvelles, intégrant les facilités de transmission de voix, voire d'images animées, en association étroite avec des applications informatiques sur réseau IP (Internet ou intranet) se développeront de même, par exemple en venant enrichir la courrier électronique (le "mél") par des séquences parlées ou filmées.

La différence entre les deux scénarios joue essentiellement sur le développement des applications "phone to phone" grand public de la téléphonie sur IP.

7.1.1 Le scénario de "niches"

Le scénario le plus modéré que l'on puisse imaginer est celui dans lequel l'utilisation de la téléphonie sur IP reste relativement marginale en grand public et est le fait de "niches" d'utilisation (expatriés éloignés de leurs familles et cherchant à téléphoner à très bas prix, internautes communicant à partie de leurs micro-ordinateurs après avoir pris rendez-vous, etc.).

Dans ce scénario, la téléphonie sur Internet a alors une incidence faible sur le dimensionnement des réseaux qui reste entièrement lié à l'évolution des trafics de données.

7.1.2 Le scénario de généralisation

A l'inverse, le scénario de développement maximum correspond à la généralisation de l'utilisation de l'IP pour transmettre la voix dans toutes les applications (télécommunications grand public et d'entreprises, applications spécialisées déjà mentionnées plus haut, courte ou longue distance, téléphonie fixe ou mobile, etc.).

Il est clair que, dans ce cas, les réseaux devront être dimensionnés pour accepter un trafic qui aura augmenté considérablement et que les opérateurs traditionnels devront s'adapter en conséquence.

Autrement dit, dans ce scénario, le trafic de la voix sur Internet représentera une part importante du trafic global d'Internet. Cette situation conduira alors tout naturellement les acteurs concernés à dimensionner convenablement les réseaux et vraisemblablement à répercuter le coût de ce dimensionnement sur les utilisateurs. L'équation économique devrait alors évoluer vers une autorégulation conduisant à des prix beaucoup plus en rapport avec les coûts réels (et non marginaux) qu'actuellement.

7.2 Stratégies des différents acteurs

Le scénario vers lequel va s'orienter la téléphonie dépend beaucoup de l'évolution du réseau Internet lui-même et pourrait bien être intermédiaire entre les deux scénarios extrêmes décrits ci-dessus.

En effet, si Internet reste à peu près dans sa configuration actuelle où il est essentiellement dimensionné en fonction d'une qualité de service moyenne pour la transmission des données, il est fort probable que la téléphonie sur Internet restera un marché de niche. Les seules exceptions seraient alors les cas cités ci-dessus en 5.1 (interconnexion de PBX d'entreprises, commerce électronique, applications nouvelles associant la voix pour une véritable utilisation multimédia d'Internet).

Mais par ailleurs, il faut considérer que la technologie IP a toutes chances de se généraliser, y compris sur les réseaux mis en œuvre par les opérateurs de télécommunications, et ceci que ce soit sous la forme de réseaux natifs IP ou de réseaux IP bâtis sur ATM voire directement sur SDH . Les conséquences d'une telle évolution sont importantes en termes de services qui s'intégreront alors tout naturellement qu'il s'agisse de voix, d'images ou de données.

La situation à terme dépendra en partie des stratégies des différents acteurs concernés qui pourront infléchir à la fois le scénario final et la rapidité pour l'atteindre. Il est donc intéressant d'imaginer quelques éléments possibles de ces stratégies.

7.2.1 Stratégie des opérateurs de télécommunications

La stratégie des opérateurs de télécommunications dépend à la fois de leur position (historique ou nouveau) et d'un certain nombre de leurs choix tarifaires, technologiques et commerciaux :

- une première "réponse" de leur part peut être de baisser au maximum les tarifs (notamment internationaux, par dialogue entre opérateurs sur le système de répartition des recettes) à technologie constante ; ce peut être la tendance naturelle des opérateurs historiques ;
- une autre stratégie peut être d'introduire en réponse au développement de l'IP une technologie de transport, par exemple de l'ATM, présentant les avantages de la commutation traditionnelle (circuits virtuels garantissant la qualité de service) et de prévoir la possibilité d'y inclure l'IP et ses avantages (norme de fait au niveau des applications, meilleure utilisation des liaisons) ; ce peut être aussi bien la stratégie d'opérateurs historiques que celle de nouveaux opérateurs possédant un excellent "réseau dorsal" exploitable en ATM ; SPRINT a annoncé en juin 1998 une telle démarche sous le vocable de ION (Integrated On-demand Network) consistant à offrir une bande passante à la demande pour transmettre sur ligne téléphonique voix, données, images ;
- une stratégie alternative au plan technologique peut être pour un opérateur d'utiliser lui-même, partiellement ou de manière généralisée, la technologie IP, quitte à la doter au niveau du transport proprement dit d'un accompagnement de commutation garantissant la qualité de service (aux dépens des coûts, bien sûr) ; cette stratégie peut intéresser là aussi tout type d'opérateur ; elle est en fait proche de la précédente et pose, pour les opérateurs concernés, le problème du renouvellement plus ou moins rapide de systèmes installés et non encore complètement amortis ;
- enfin, sur le plan commercial, les opérateurs (qu'ils soient historiques ou nouveaux) peuvent être tentés d'entrer dans le jeu des services à "plusieurs vitesses" c'est-à-dire d'offrir à leurs clients le choix du rapport qualité / prix.

7.2.2 Stratégie des acteurs du monde de l'Internet

La stratégie des acteurs du monde de l'Internet est à l'évidence de tenter progressivement de se substituer le plus possible aux opérateurs de télécommunications, donc de prendre pied sur le marché de la voix.

Les fournisseurs d'accès (IAP) ou de services (ISP) peuvent être tentés de s'ériger en nouveaux opérateurs, en technologie IP (ce que l'on a appelé plus haut "pseudo-opérateurs" ou ITSP), en offrant des services téléphoniques aux abonnés à Internet, voire en revendant des minutes de téléphonie IP à bon marché à des opérateurs au plan mondial, en jouant sur les disponibilités de liaisons à longue distance pour les rentabiliser au maximum. Ce type de stratégie est à l'évidence celui d'un certain nombre de nouveaux acteurs aux Etats-Unis.

Il faut noter que dans ce cas, on retrouve pour ces nouveaux opérateurs le même problème important que celui auquel sont confrontés les opérateurs entrants dans l'ouverture à la concurrence : il s'agit du problème de l'accès à la "boucle locale", c'est-à-dire de l'accès final à l'utilisateur, actuellement objet du monopole "de fait" des opérateurs historiques et ceci tant que des solutions alternatives au "câblage jusque chez l'abonné" ne seront pas opérationnelles dans des conditions économiques satisfaisantes.

On retrouve aussi un autre problème auquel sont confrontés les opérateurs entrants : celui du système de facturation et recouvrement vis à vis des clients. Cette fonction, qui est maintenant bien rôdée chez les opérateurs historiques, représente un investissement important car il comporte des aspects complexes tels que la gestion du contentieux et parce que, d'une manière générale, il concerne un nombre important de factures de faibles montants . La solution introduite récemment, y compris en téléphonie sur IP, est celle de la carte prépayée qui permet de s'affranchir de ces problèmes au prix d'une complexité plus importante pour l'utilisateur.

De leur côté, les constructeurs d'équipements ou réalisateurs de logiciels, plus généralement les fournisseurs de solutions de voix sur IP (on a vu plus haut qu'ils commençaient à être nombreux) ont, dans le contexte qui vient d'être décrit, l'embarras du choix pour s'adresser à des clientèles variées : les fournisseurs d'accès ou de services Internet, les fournisseurs de services téléphoniques sur Internet (ITSP), les opérateurs de télécommunications, les entreprises elles-mêmes pour leurs besoins internes. En tout état de cause, certains d'entre eux et non des moindres (CISCO, Bay Networks, Lucent, Microsoft, etc.) investissent fortement pour être présents dans ce domaine, tel qu'il émerge actuellement, voire tel qu'il pourrait se développer avec l'avènement des constellations de satellites (Programme Teledesic de Microsoft, par exemple).

7.2.3 Conséquences au niveau International

Une conséquence du scénario de généralisation, notamment, concerne le système actuel de rémunération croisée, entre opérateurs, des moyens utilisés pour l'acheminement du trafic téléphonique international.

Actuellement, dans le cas d'une communication téléphonique traditionnelle entre deux pays, les opérateurs impliqués se partagent, en général par moitié, une taxe dite "de répartition" dont ils sont convenus par accord mutuel, selon des principes définis dans des recommandations de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) - Secteur de la normalisation (UIT - T).

L'ouverture à la concurrence et la libéralisation des marchés, dans un nombre croissant de pays, a conduit l'UIT depuis quelques années à mettre à l'étude des systèmes de rémunération différents et en tout état de cause plus en relation directe avec les prix de revient.

Il est certain que l'arrivée de la voix sur IP, surtout si elle se généralise, viendra augmenter la complexité du problème, en modifiant sensiblement la notion de communication téléphonique et surtout en multipliant le nombre d'acteurs concernés (opérateurs, fournisseurs d'accès à Internet, etc.).

Il faut de plus avoir présent à l'esprit que la location de liaisons intercontinentales constituant le "backbone" d'Internet fait l'objet d'âpres discussions entre fournisseurs d'accès à Internet dans la mesure où, actuellement, les Etats-Unis considèrent que le trafic Internet est "à sens unique", la majorité des services étant, selon eux, du côté américain ; dans ces conditions, ils considèrent que les acteurs américains n'ont pas de raison de participer aux coûts de location de ces liaisons !

Outre la revendication des pays européens, mettant en avant qu'une partie des données disponibles sur Internet vient "aussi" de fournisseurs non américains, l'introduction de la voix sur IP devrait là aussi remettre en cause les positions acquises.

En résumé, on peut dire qu'une des conséquences de la voix sur IP sera d'accélérer la remise en cause du système des taxes de répartition internationales entre opérateurs tel qu'il existait jusqu'à un passé récent. Il faut savoir que ce système est d'ailleurs d'ores et déjà remis en cause, dans les relations entre pays à marché libéralisé, par la mise en œuvre d'accords d'interconnexion entre opérateurs.