VoIP 1 - Essentiel

Etude et implémentation avec SIP

Auteurs : ROBIN Eric, BONIFACE Frédéric & BODIN Laurent
Relecture : ROBIN Eric, BONIFACE Frédéric & BODIN Laurent
Version 1.0 – 31 Janvier 2006

SUPINFO - Ecole Supérieure d'Informatique de Paris
23. rue de Château Landon 75010 Paris
Site Web : http://www.supinfo.com

Laboratoire SUPINFO des Technologies Cisco
Site Web : www.labo-cisco.com – E-mail : labo-cisco@supinfo.com

Table des matières

1. La VoIP

1.1. Description

Parfois appelée VoIP (Voice over IP) ou ToIP (Telephony over IP), la transmission de la voix sur les réseaux informatiques est le résultat entre les besoins permanents en communication de notre société et la démocratisation de ces réseaux informatiques, ces derniers offrant un support de plus en plus fiable pour le transport des données, et des offres de connexion à Internet toujours plus accessibles et attractives.

L'objectif de la VoIP est donc de remplacer, au moins en partie, la téléphonie classique souvent onéreuse, principalement pour les communications internationales, en utilisant les réseaux informatiques déployés de part le monde.

Les réseaux informatiques étant construits pour le transport des données, la voix est donc numérisée, via un codec, puis encapsulée dans un paquet avant d'être transportée. Les codecs utilisés pour la téléphonie sur IP ne dépendent pas vraiment du protocole utilisé, mais plutôt de l'implémentation sur les logiciels et équipements réseau.

Néanmoins, les codecs les plus couramment rencontrés sont les suivants :

- G.711 µ-Law
- G.711 a-Law
- G.729

Le transport de la voix sous forme numérique peut être intégral ou plus généralement partiel. Dans ce dernier cas, les communications téléphoniques internationales seraient par exemple réduites au coût d'une communication locale. Des sociétés comme Skype ont largement contribuées à démontrer cet intérêt réel en termes d'économie.

1.2. Historique

La numérisation de la voix existe depuis très longtemps, et les échanges vocaux sur ordinateur ne sont pas rares depuis l'apparition de la messagerie instantanée par exemple.

Il y avait une trop grande barrière entre ce que l'on pouvait faire entre le monde informatique et le monde de la téléphonie. La VoIP est donc réellement apparue au moment où l'on a commencé à faire le lien entre les moyens de communication informatique et la téléphonie classique, conjointement à l'élaboration et à la ratification de normes et protocoles spécifiques.

La VoIP existe depuis plusieurs années au sein des entreprises, en fonction des moyens technologiques et financiers existants. Un bon exemple est celui de la société Cisco Systems, qui a mis en place dès le début leur propre offre de produits et services en usage interne. Certains fournisseurs exercent d'ailleurs leur métier autour du service voix sur IP depuis plus de 10 ans.

Comme toutes les nouvelles technologies, la VoIP a gagné en popularité lorsque les prix des produits associés ont grandement baissé. L'offre des ISP (Internet Service Provider) incluant le service de téléphonie a aussi grandement contribué à démarginaliser la VoIP aux yeux du grand public.

1.3. Comparatif avec la téléphonie classique

1.3.1. Avantages

La montée en puissance de la téléphonie sur IP est flagrante. Ceci est principalement dû aux avantages que cette technologie apporte par rapport à la téléphonie classique.

On peut citer les points suivants :
- Architecture unique
- Economies
- Services ajoutés
- Mobilité

Architecture unique : L'un des objectifs de la téléphonie sur IP est l'intégration du réseau de téléphonie au réseau de données, pour former un seul et unique réseau pour l'ensemble. De plus, il est possible de n'utiliser qu'une seule liaison vers un opérateur pour le transport des données (connexion à Internet), vu que la liaison téléphonique classique n'est plus obligatoire.

Economies : Un autre avantage est le coût des communications. En effet, une bonne infrastructure VoIP offre très souvent des coûts inférieurs, voir même nuls dans certains cas, pour les communications, qu'elles soient locales ou internationales. La possibilité de ne pas souscrire à un abonnement téléphonique classique permet aussi de faire des économies substantielles.

Services ajoutés : L'avantage ayant le plus grand impact sur les bénéfices de la VoIP est l'offre presque illimitée de services pouvant être greffés. On peut rapidement lister :
- Voice Mail : Gestion des emails par l'intermédiaire d'un serveur voix
- Click-to-Dial : Lancement d'appels téléphoniques vers un destinataire via le client de messagerie
- Gestion de présence : Redirection automatique vers le terminal le plus proche de l'utilisateur
- Synchronisation des contacts : Centralisation des adresses postales, emails et numéros de téléphone

Mobilité : Malheureusement, les téléphones classiques de bureau ne peuvent être qu'à un seul emplacement physique. Les téléphones IP peuvent suivre l'utilisateur quelque soit le lieu, la seule réelle restriction étant un accès au réseau de données. De plus, il est possible d'avoir plusieurs terminaux IP pour un même utilisateur (un téléphone IP au bureau et un softphone avec accès VPN pour les déplacements par exemple), un protocole s'occupant alors de la gestion de présence de l'utilisateur et de la redirection des appels vers le bon terminal.

1.3.2. Inconvénients

Certains avantages peuvent apparaître comme des inconvénients, en fonction du contexte. On peut donc citer les inconvénients suivants :
- Architecture unique
- Coût de la VoIP
- Qualité et fiabilité

Architecture unique : Mutualiser des réseaux peut provoquer des problèmes qui n'existaient pas avant la fusion. En effet, la VoIP vient se poser par-dessus une infrastructure réseau standard comme n'importe quelle autre application. Certains détails doivent alors être pris en compte (comme la QoS, la sécurité des transmissions, la disponibilité, et la résistance aux attaques réseaux, etc.), afin d'assurer le service de téléphonie.

Coût de la VoIP : Malheureusement, la VoIP a un coup principalement lié à l'infrastructure et aux équipements. C'est pourquoi certaines entreprises ne seraient pas obligatoirement gagnantes avec un passage vers le VoIP. En général, les entreprises optent pour un passage progressif vers la VoIP pour remplacer, à terme, les classiques téléphones et PABX. Ce passage progressif se fait via l'utilisation d'adaptateurs, principalement des FXS et FXO.

Par conséquent, et sauf exceptions, seules les entreprises qui démarrent optent pour une solution IP intégrale, vu que le réseau de données peut être prévu pour l'usage de la VoIP dès le départ. Les autres entreprises préfèreront plutôt opter pour une transition progressive.

Qualité et fiabilité : La téléphonie sur IP utilisant les réseaux de données, y compris Internet, pour faire transiter les flux, les appels peuvent alors subir quelques désagréments (perte de paquets, délais, etc.) nuisant à la qualité générale de la communication.

Par exemple, il est généralement reconnu qu'un délai inférieur à 150 ms est requis pour une qualité optimale. Or, il est malheureusement courant sur certaines liaisons de dépasser ce délai (délai moyen de 500 ms observé sur une liaison satellite).

De plus, la VoIP étant une application transitant sur le réseau, elle est donc tout aussi sensible que les autres applications par rapport aux problèmes pouvant survenir sur ce réseau, comme les dénis de services (DoS et DDoS) ou plus simplement la congestion.

1.4. Les acteurs de la VoIP

Le marché de la téléphonie sur IP est très vaste. De nombreuses entreprises ont investi dans ce marché, en proposant leurs solutions.

Les grands noms actuels dans le monde de la VoIP sont :

- Alcatel
- Audiocode
- Cirpack
- Cisco
- Linksys
- Quintum
- RAD

De plus, de multiples opérateurs offrent des services liés à la VoIP. Dresser la liste de ces opérateurs serait impossible, compte tenu de leur nombre. Par contre, on peut les différencier en plusieurs catégories :

- **ISP proposant des services VoIP** : Tous les opérateurs historiques (ou presque) proposent maintenant des services VoIP à leurs clients. On peut citer par exemple France Telecom, ou bien tous les ISP pour particuliers fournissant le service VoIP au travers de leur « box » (Free, Neuf Télécom, AOL, etc.).

- **Opérateurs dédiés à la VoIP pour les entreprises** : Ses fournisseurs, parfois assez récents sur le marché de la VoIP, se sont dédiés à l'offre de solutions aux entreprises (NetCentrex, Vivaction, etc.).

- **Opérateurs dédiés à la VoIP pour les particuliers** : Ces opérateurs (Skype, Vonage, VoIP Buster, etc.) ne fournissent en général que l'accès à une infrastructure VoIP, les flux transitant ainsi au travers d'une connexion Internet classique. Ces solutions sont donc limitées en termes de fonctionnalités et de qualité de service. Elles sont par conséquent réservées aux particuliers.

1.5. Le futur : Everything over IP

La VoIP va pouvoir tirer partie des capacités et fonctionnalités presque illimitées, en termes de services ajoutés à la simple transmission de la voix, que propose les TIC. Ses services n'ont en effet pour limite que l'imagination des développeurs d'applications.

Le futur est maintenant tout proche, voir même déjà disponible pour certains aspects. Ce futur s'oriente clairement vers la mutualisation et multiplication des services offerts (plates-formes IP Centrex), et aussi vers la mobilité avec les systèmes 3G/Wi-Fi (smartphones « dual mode »).

Les solutions IP Centrex commencent à être largement disponibles, au travers de multiples solutions comme celles offertes par Cisco (avec CallManager, Unity, IPCC) ou par NetCentrex pour ne citer qu'eux parmi tant d'autres. L'IP Centrex correspond globalement à l'offre de services centralisés autour d'une même plate-forme.

Les protocoles actuellement en place permettent une grande souplesse dans leur utilisation. Il est donc théoriquement possible de faire passer n'importe quel type de flux temps-réel, la limitation se trouvant concrètement dans les fonctionnalités des terminaux et des plates-formes de services.

De plus, les nouveaux smartphones possédant une interface Wi-Fi permettent de mettre en place des solutions de communications « dual mode ». Ce système fournit le meilleur moyen de communication par rapport à l'environnement disponible. Si un hot-spot Wi-Fi est disponible, alors un client VoIP peut être utilisé. Sinon, le téléphone peut basculer automatiquement sur le réseau 3G.

2. Protocoles liés à la VoIP

2.1. Protocole SIP

SIP (Session Initiation Protocol) est un protocole de la couche application du modèle OSI. Il a été spécifié par le groupe de travail MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control) de l'IETF (Internet Engineering Task Force) en mars 1999. La ligne de conduite était alors de concevoir un protocole de signalisation facile à implémenter, évolutif et flexible. En juin 2002, une nouvelle normalisation, la RFC 3261, est publiée. Elle constitue aujourd'hui le recueil des spécifications fondamentales du protocole SIPv2.

SIP a pour fonction d'établir, modifier et terminer des sessions multimédia avec un ou plusieurs participants, indépendamment des protocoles de la couche transport et sans dépendance sur le type de session qui est établie. Un participant peut aussi être invité dans une session préétablie. De même, une donnée pourra être rajoutée ou supprimée d'une session existante.

Par session, on entend un ensemble d'appelants et d'appelés qui communiquent entre eux. Les conférences multimédias, les appels téléphoniques via Internet en sont des exemples.

Toutefois, SIP n'est pas le seul protocole nécessaire aux équipements de communication. En effet, son but est de rendre la communication possible, la communication en elle-même doit être effectuée par d'autres moyens. Ce qui implique que, pour obtenir une plateforme multimédia complète, SIP doit être combiné avec d'autres protocoles.

Typiquement, ceci implique, selon la RFC 3261, les protocoles suivants :

- **RTP (Real-time Transport Protocol)** : Pour assurer le transport des flux en temps réel. Il encode et divise les données en paquets, puis les transportent à travers le réseau IP.
- **SDP (Session Description Protocol)** : Pour la description des paramètres des sessions multimédia.
- **RTSP (Real-Time Streaming Protocol)** : Pour contrôler la livraison des flux média.
- **MGCP (Media Gateway Control Protocol)** : Pour les passerelles de contrôle au réseau téléphonique commuté public (PSTN).

RTP et SDP sont les protocoles le plus souvent employés avec le protocole SIP.

SIP est basé sur le protocole HTTP, lequel peut être également considéré comme un protocole de signalisation dans la mesure où il permet de demander à un serveur une ressource précise. SIP profite de la valeur éprouvée du protocole sans doute le plus utilisé et reconnu à travers le globe.

2.2. Protocole MGCP

MGCP (Media Gateway Control Protocol) est spécifié en janvier 2003 par la RFC 3435 et a pour base la RFC 3015. Cette dernière a été conjointement développée par le groupe de travail MEGACO de l'IETF et ITU-T (International Telecommunication Union – Telecom standardization).

MGCP est utilisé entre les éléments qui composent une passerelle multimédia. Ces éléments sont les agents d'appels (Call Agent) qui contiennent l'intelligence artificielle nécessaire au contrôle d'appels et la passerelle média (media gateway) qui recueillent les fonctions média, comme la conversion de voix sur TDM vers la VoIP.

De manière générale, la passerelle média est l'élément qui fournit la conversion de la voix sur le réseau téléphonique classique en paquets de données réseaux quel qu'il soit. MGCP va permettre aux agents d'appels de se synchroniser entre eux afin de transmettre des commandes et réponses cohérentes à la passerelle média.

Il existe différents types de passerelles :

- **La passerelle de Trunking** : Qui sert d'interface entre le réseau téléphonique commuté et le réseau VoIP. Elle contrôle un grand nombre de circuits numériques.
- **La passerelle Voice over ATM** : Idem qu'une passerelle VoIP sauf qu'elle sert d'interface avec un réseau ATM.
- **La passerelle résidentielle** : Que l'on retrouve typiquement chez un particulier. Elle sert d'interface entre une ligne téléphonique classique via un connecteur RJ11 et le réseau VoIP. Par exemple les équipements xDSL.
- **La passerelle d'accès** : Qui est une interface entre le réseau téléphonique commuté classique ou un PBX numérique et le réseau VoIP.
- **La passerelle business** : Qui fournit une interface PBX classique ou une interface intégré « soft PBX » vers le réseau VoIP.
- **Le serveur d'accès réseau** : Qui peut adapter un modem à un circuit téléphonique et fournir un accès aux données Internet. Dans l'avenir, la même passerelle combinera les services VoIP et les services d'accès réseau.
- **Les commutateurs de circuit ou les commutateurs de paquets** : Qui peuvent offrir une interface de commande à un élément externe de contrôle d'appel.

Un agent d'appel peut créer, modifier et supprimer des connections qui peuvent être point-à-point ou multipoint, sur les points d'extrémités que comporte une passerelle média. Ceci a pour but d'établir et de contrôler des sessions média avec d'autres points d'extrémités.

Par ailleurs, l'agent d'appel peut aussi demander au point d'extrémité de détecter certains évènements et générer des signaux. L'agent d'appel met en application la signalisation des couches de la norme H.323, et se présente en tant que "portier H.323" ou en tant qu'un ou plusieurs "points d'extrémité H.323" au protocole H.323.

Les points d'extrémités sont des sources à l'origine de pertes de données. Ils sont soit physiques, ce qui requiert une installation matérielle, soit virtuels ce qui peut être accompli par voie logicielle.

Comme pour les passerelles média, il existe différents points d'extrémités. D'ailleurs, le type de point d'extrémité supporté détermine la fonction de la passerelle média. En effet, les équipementiers peuvent décider de combiner différents types de passerelles média dans un même dispositif.

Voici les différents types de points d'extrémités que l'on peut retrouver :

- **Digital channel (DS0)** : On la retrouve sur des interfaces RNIS, elle offre un service à 64Kbps.
- **Analog line** : Utilisé soit comme interface client, elle fournit alors un service à une unité téléphonique classique, soit comme interface de service qui permet alors à une passerelle d'envoyer et recevoir des appels analogiques.
- **Announcement Server Access Point** : Exécute l'annonce indiquée par la requête de l'agent d'appel selon les procédures décrite par MGCP.
- **Interactive Voice Response Access Point** : Exécute les annonces et tonalités puis écoute les réponses, toujours selon les définitions de MGCP.
- **Conference Bridge Access Point** : Fournit un accès à une conférence spécifique. Gardons en mémoire qu'une passerelle média peut établir plusieurs connexions entre points d'extrémité.
- **Packet Relay** : C'est une forme spécifique de « Conference Bridge » qui ne supporte que deux connexions.
- **ATM "Trunk Side" Interface** : On les trouve quand un ou plusieurs PVC (Permanent Virtual Circuit) ATM est utilisé en remplacement des troncs TDM classiques liant des commutateurs.

2.3. Protocole Cisco SCCP

SCCP (Skinny Client Control Protocol) est un protocole propriétaire Cisco mais néanmoins supporté par d'autres vendeurs. Il est utilisé entre la plate-forme Cisco CallManager et les téléphones VoIP de l'équipementier.

SCCP définit une architecture simple et facile d'utilisation, contrairement au protocole H.323 dont les recommandations décrivent un système plus onéreux. En effet, l'établissement d'appel avec H.323 est plus complexe et nécessite plus de ressources.

Afin de diminuer les coûts et temps de traitement, l'établissement d'appels est confié à la plate-forme Cisco CallManager tandis que le « Skinny Client » a en charge la communication vocale. Un proxy H.323 peut être mis en place pour communiquer avec un Skinny Client utilisant SCCP. Dans le cadre du protocole H.323, les Skinny Client sont usuellement des téléphones IP, et le proxy H.323 est intégré à la plate-forme Cisco CallManager.

Le Skinny Client tourne sur les téléphones IP. Puis, le client établit une connexion vers un autre client compatible H.323 via la plate-forme Cisco CallManager, en employant un protocole orienté connexion de la pile TCP/IP. Une fois la connexion établie, les deux stations d'extrémité auront recours à un protocole non orientée connexion (RTP/UDP/IP) pour les transmissions audio.

2.4. Protocole RTP

RTP, pour Real-Time Transport Protocol, a été conçu en janvier 1996. Mais, en janvier 2003, la RFC3435 est appliquée et fait état de divers changements.

RTP fournit des fonctions de transport bout-à-bout appropriées aux applications transmettant des données en temps réel, telles que les flux audio, vidéo ou encore simulation de données, à travers des services de diffusion multicast ou unicast.

Les services proposés par RTP sont :

- Identification de type de charge utile
- Numérotation de séquence
- Horodatage
- Surveillance de la livraison

Plusieurs protocoles contribuent au transport des flux. RTP est communément utilisé au-dessus du protocole UDP afin de pouvoir profiter de ses services de multiplexage et de contrôle de somme (checksum).

Les mécanismes de délivrance opportune et autres garanties de QoS ne sont pas assurés par RTP mais par des protocoles de couche inférieure. Par conséquent, RTP part sur le principe que le réseau est fiable.

Alors, comme pour le décodage vidéo, d'autres services peuvent profiter des numéros de séquence RTP pour la localisation d'un paquet, ceci permet au récepteur de reconstruire la séquence de paquets de l'émetteur.

Diverses applications sont faites de l'usage de RTP. En voici quelques-unes :

- Conférences multimédias à plusieurs participants
- Stockage de données en continue
- Simulation distribuée interactive
- Badge actif
- Applications de contrôle et mesures

RTP est constitué de deux parties :

- RTP pour le transport des flux médias en temps réel.
- RTCP (Real-Time Control Protocol) assurant le QoS et le transport des informations en rapport avec les participants dans une session en cours.

2.5. Protocole H.323

2.5.1. Principe de base

Le protocole H.323 a été élaboré par l'ITU-T et publié une première fois en 1996, sa dernière version (v5) a été publiée en 2003.

L'ITU-T fournit par ce moyen une pile de standards pour les communications multimédias. H.323 fournit les bases par un ensemble de recommandations pour la communication audio, vidéo ou de données collaboratives en combinaison avec les standards de la série T.120 sur les réseaux IP, ces derniers ne fournissent pas de QoS garantie.

H323 fait partie des standards majeurs de la VoIP au même titre que SIP et MGCP. Le transport des flux média s'effectue via RTP, et TCP prend en charge le transport de la signalisation.

L'architecture du standard H.323 est composée de :

- **Terminal** : Décrit le dispositif d'extrémité de chaque lien. Il fournit deux méthodes de communication en temps réel avec un autre terminal H.323, une passerelle ou un MSU. Cette communication se compose de dialogues, de dialogues et de données, de dialogues et de vidéos, ou d'une combinaison de dialogues, de données et de vidéo.
- **Passerelles** : Elles établissent la connexion entre terminaux H.323, de même qu'avec les terminaux de réseaux utilisant d'autres protocoles tels que le réseau téléphonique commuté classique, SIP ou encore MGCP.
- **Gatekeeper** : Fournit des mécanismes d'enregistrement et d'authentification des terminaux, permet le contrôle de la bande passante, assure la translation entre numéro de téléphone et adresse IP. Mais aussi, le transfert et le renvoi d'appel, etc.
- **MCUs (Multipoint Control Unit)** : Ils établissent les conférences multipoints. Ils sont composés de :
    - Multipoint Control mandaté qui assure la signalisation d'appels et le contrôle de conférence.
    - Multipoint Processor qui fournit la commutation et le mixage des flux. Occasionnellement, il assure le transcodage des flux audio et vidéo reçus.

2.5.2. Codecs audio

- G.711 – PCM (Pulse Code Modulation) pour la voie 56/64 kbps
- G.722 – Codage audio de 7 Khz à 48/56/64 kbps
- G.723.1 – Double codage pour la transmission de communication multimédia à 5,3 et 6,3 kbps
- G.728 – Codage 16 kbps
- G.729 – Codage 8/13 kbps

2.5.3. Codecs vidéos

- H.261 – Débit supérieur ou égal à 64kbps
- H.263 – Débit inférieur à 64kbps

2.6. Comparatif des différentes solutions

H.323 est de loin le protocole le plus populaire, il est employé couramment dans les communications multimédias. De plus, le protocole est en place depuis plusieurs années, son utilisation éprouvée et sa grande maturité en font une solution idéale. Ainsi, des investissements lourds ont été consentis à la conception de grands réseaux H.323. De nombreux produit conçu par de grands noms de l'informatique telle que Cisco, Microsoft, IBM, et Intel, utilisent ce standard.

Toutefois, SIP est très en vogue ces dernières années et sa côte de popularité exponentielle. Son habilité à combiner aisément la voix et les services IP est son principal atout. L'établissement de l'appel est plus rapide qu'avec H.323, grâce à la séparation des champs d'entête du corps du message qui est traité plus facilement et dont le temps de transition sur le réseau diminue.

3. Protocole SIP

3.1. Définitions

- **Dialogue** : Echange entre deux User Agent pendant une période donné. Un dialogue est un ensemble de transactions.
- **Initiateur** : L'entité qui initie une session avec une requête INVITE.
- **Invitation** : Requête INVITE.
- **Invité** : Le récepteur d'une requête INVITE.
- **Message** : Demande ou réponse échangé entre éléments SIP.
- **Méthode** : Désigne le type de requête transmis à un serveur. Par exemple, les requêtes INVITE et BYE.
- **UAC (User Agent Client)** : Un UAC est une entité logique qui remplit le rôle de client d'une application client/serveur. C'est lui qui envoie des requêtes et reçoit des réponses. La même entité logique est à la fois cliente lorsqu'elle envoie une requête, et serveur quand une requête lui parvient.
- **UAS (User Agent Server)** : Un UAS est une entité logique qui remplit le rôle de serveur d'une application client/serveur. C'est lui qui reçoit des requêtes et transmet les réponses. La même entité logique est à la fois cliente lorsqu'elle envoie une requête, et serveur quand une requête lui parvient.
- **URI (Uniform Resource Identifier)** : Une URI identifie une entité en employant une syntaxe similaire aux emails, de la forme « sip:identifiant@domaine » (par exemple sip:dawne@cisco.com).
- **Proxy Server** : Entité intermédiaire à la fois client et serveur qui fournit un service de routage aux clients qui souhaitent joindre d'autres clients. Par conséquent, le serveur Proxy effectue des requêtes au nom d'autres clients.
- **Redirect Server** : UAS qui redirige vers un ensemble d'URIs alternatifs en générant des réponses 3xx aux requêtes qu'il reçoit.
- **Registrar Server** : Serveur qui accepte les requêtes REGISTER qu'il reçoit et stocke les informations.
- **Requête** : Envoyé d'un client à un serveur, ce message SIP permet d'invoquer une opération particulière.
- **Réponse** : Envoyé d'un serveur à un client, ce message SIP indique le statut d'une requête envoyé précédemment par le client au serveur.

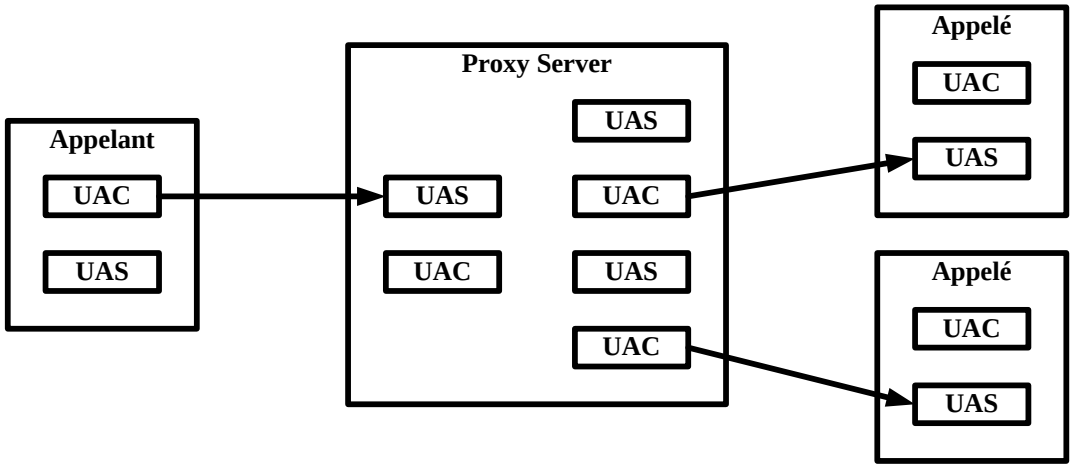
- **Session** : Flux multimédia échangé entre un ensemble d'émetteurs et de récepteurs.
- **Transaction** : Se compose de tous les messages échangés entre un client et un serveur, de la première requête à la réponse finale.
- **Stateful Proxy** : Maintient l'état lors de transactions entre client et serveur.
- **Stateless Proxy** : Transmet chaque requête et réponse qu'il reçoit sans maintien d'état de la transaction.

3.2. Architecture

3.2.1. User Agents

Ce sont des entités logicielles ou physiques qui utilisent SIP pour trouver une autre entité de destination.

Les User Agents peuvent être (liste non exhaustive) :
- Softphones (applications logicielles)
- Téléphones IP (fixes ou Wi-Fi)
- Smartphones et PDAs
- IPBX
- Passerelles IP/TDM



Exemple simple d'architecture SIP

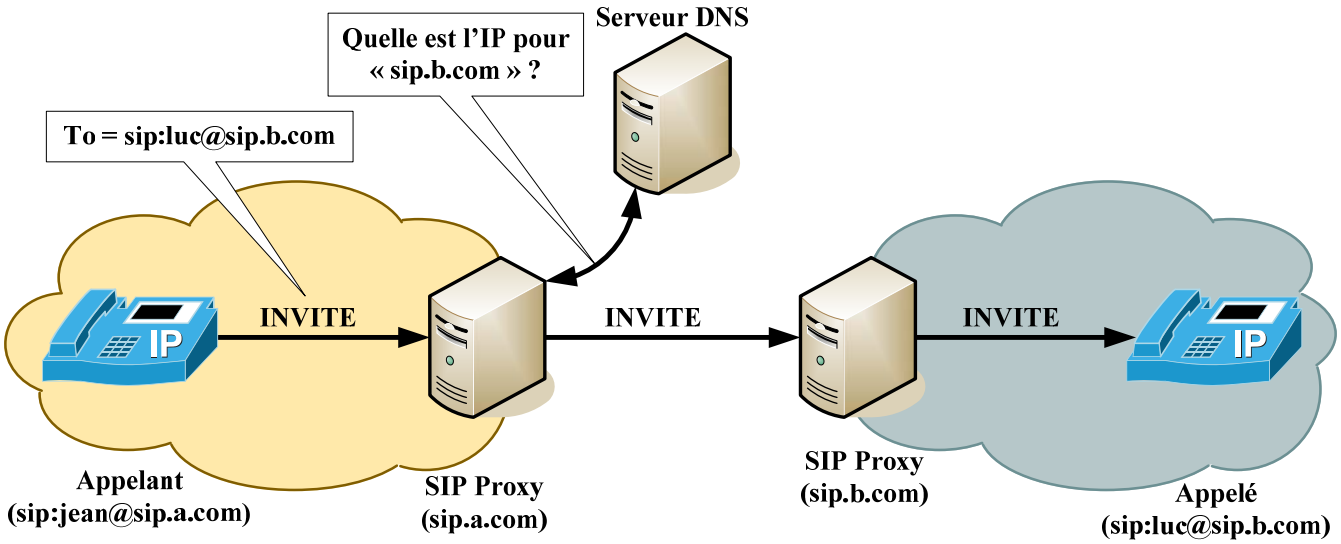
Chaque User Agents comprend un UAS et un UAC. Ce sont des entités logiques qui permettent pour l'un, d'envoyer des réponses, recevoir des requêtes et pour l'autre d'envoyer des requêtes, recevoir des réponses. Il est à noter que l'état client ou serveur ne dure que la durée d'une transaction. Ainsi, un User Agent est à tour de rôle client et serveur.

3.2.2. Proxy server

Pièce importante de l'architecture SIP, il fournit un service de routage aux invitations à établir une session envoyée par un client, en tenant compte de certaines fonctions importantes comme :

- La localisation actuelle de l'appelé
- L'authentification (de l'appelant et/ou de l'appelé)
- La compatibilité (pour facturation)
- Etc.

Les invitations peuvent traverser un ensemble de serveurs Proxy, jusqu'à atteindre celui qui connaît la localisation de l'appelé.



Transfert entre les serveurs Proxy pour joindre la destination

Il existe deux types de Proxy Server abordés ci-après :

- **Stateless Server** : Simple et plus rapide que les Stateful Servers, il transmet les messages indépendamment des autres sans tenir compte de l'état des transactions. De ce fait, les Stateless Servers ne fournissent pas de mécanismes de retransmission de messages. Toutefois, ils sont utilisés pour le partage de charge, la translation de messages et le routage.

- **Stateful Server** : Contrairement au Stateless Server, il maintient l'état de la transaction de la première requête à la réponse finale. Cette particularité inclue un temps de traitement supplémentaire et rend le serveur moins rapide, mais permet d'avoir des fonctions très avantageuses :
  - Le forking en est un exemple, il permet de redistribuer une requête vers plusieurs destinations.
  - La retransmission de messages, car il connaît le contenu de la transaction.
  - La localisation des utilisateurs, il est ainsi possible de renvoyer un appel vers le mobile d'un utilisateur, alors que l'appel était initialement transmis vers le téléphone du bureau.
  - La compatibilité.
  - L'aide à la translation NAT.

3.2.3. Registrar Server

C'est un serveur qui fournit un moyen de localiser les utilisateurs. Pour cela, les utilisateurs s'enregistrent en envoyant des requêtes d'enregistrements au serveur (REGISTER). Ce dernier extrait les informations permettant de localiser l'utilisateur, telles que l'adresse IP, le numéro de port et le nom d'utilisateur. Puis, stocke sur une base de données ces informations.

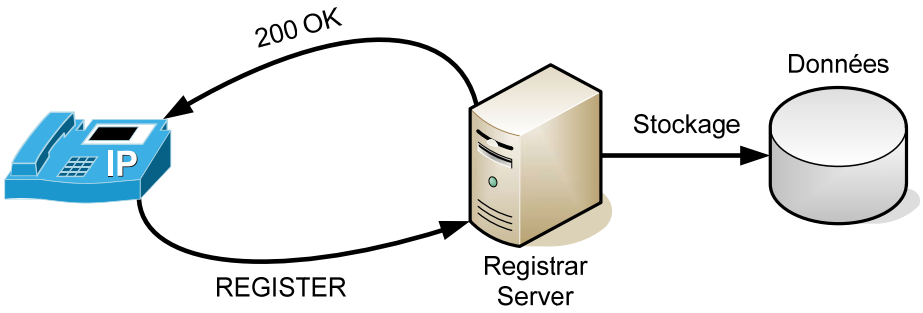


Schéma simple d'enregistrement auprès d'un serveur SIP Registrar

3.2.4. Redirect Server

Le serveur de redirection permet d'obtenir une liste des locations courantes d'un utilisateur particulier. La base de données créée par un Registrar Server est la source d'informations utilisée par le serveur de redirection pour dresser cette liste, qui est transmise par une réponse de la classe 3xx. De cette façon l'appelant possède une liste des destinations possibles de l'appelé.

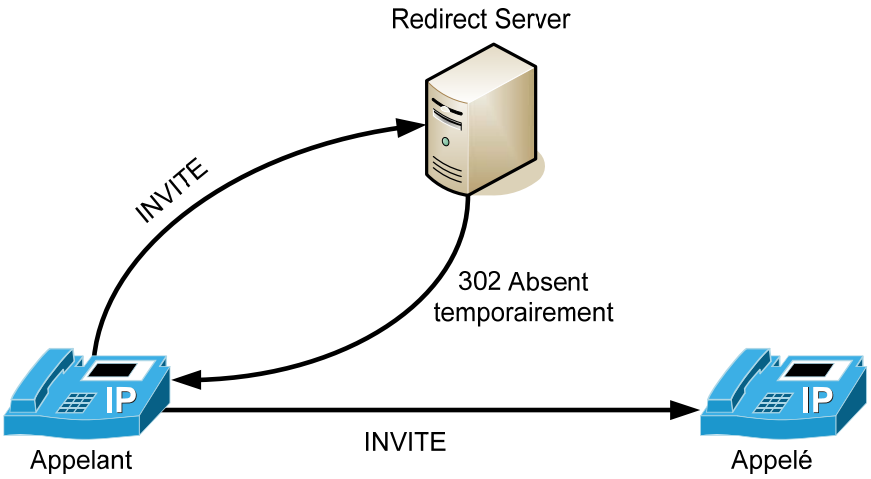


Schéma simple de redirection par un serveur SIP Redirect

3.3. Méthodes SIP

3.3.1. Messages SIP

Les communications SIP se font au moyen d'une série de messages qui peuvent être de deux natures, des requêtes ou des réponses. La première permet d'invoquer une opération particulière alors que la seconde permet d'informer l'initiateur d'une requête que cette dernière a bien été reçue, traitée, voir aussi du résultat obtenu après traitement.

Chaque message est composé d'une première ligne qui indique le type de message, de l'en-tête du message (en-tête SIP) et du corps du message (en-tête SDP). Les deux derniers sont séparés par une ligne vide.

3.3.2. En-tête SIP

L'en-tête SIP est écrit sous la forme d'une succession de champs, dont voici les principaux :

Champs	Description
Via	Indique le chemin emprunté par le message
From	Indique l'initiateur du message
To	Indique le destinataire du message
Contact	Fournit la ou les URLs pour joindre l'appelant pour de communications futures
Call-ID	Identifiant unique permettant de distinguer une communication
CSeq	(Command Sequence) Identifiant unique de message au sein d'une même communication pour ordonnancement correct des différents messages
Content-Type	Indique le type de média du corps du message envoyé
User-Agent	Chaîne de caractères stipulant le terminal utilisé pour envoyer ce message
Content-Length	Indique la taille du corps du message

Voici un exemple de message INVITE envoyé :

```
INVITE sip:luc@sip.b.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 10.1.16.170:5060;rport;branch=z9hG4bK2FE0BD76EFCC4BF7BAD282A1EA948DFA
From: Jean <sip:jean@sip.a.com>;tag=3580587940
To: <sip:luc@sip.b.com>
Contact: <sip:jean@10.1.16.170:5060>
Call-ID: FC9C664C-8134-47F2-877B-2ACBF60DB1B9@10.1.16.170
CSeq: 47647 INVITE
Max-Forwards: 70
Content-Type: application/sdp
User-Agent: X-Lite release 1105x
Content-Length: 254
```

3.3.3. En-tête SDP

Le message SDP, alias le corps du message SIP, contient plusieurs champs répartis en trois catégories :

- Description de la session
- Description temporelle
- Description du média

Il existe 20 champs différents répartis dans les trois catégories ci-dessus. Il est inutile de toutes les présenter, par contre, connaître les principales peut s'avérer utiles :

Champs	Signification	Description
v	Version	Version du protocole SDP (v=0)
o	Origin	Fournit des informations sur l'origine de la session (<username> <session id> <version> <network type> <address type> <address>)
c	Connection Data	Indique les données de la connexion (<network type> <address type> <connection address>)
t	Times	Fournit les informations de temps de la session (<start time> <stop time>)
m	Media Announcements	Spécifie des détails du transport du ou des flux sur le réseau, le dernier paramètre indiquant les formats utilisés le ou les codecs (décrits par les champs « a=rtpmap ») (<media> <port> <transport> <fmt list>)
a	Attributes	Différents attributs de la session, servant ici principalement à énumérer les différents codecs pouvant être utilisés pour la communication (rtpmap: :<payload type> <encoding name>/<clock rate>)

RTP/AVP = Real-Time Transport Protocol using the Audio/Video profile carried over UDP

Voici un exemple d'en-tête SDP envoyé dans un message INVITE :

```
v=0
o=jean 16742548 16742652 IN IP4 10.1.16.170
s=X-Lite
c=IN IP4 10.1.16.170
t=0 0
m=audio 8000 RTP/AVP 3 98 97 101
a=rtpmap:3 gsm/8000
a=rtpmap:98 iLBC/8000
a=rtpmap:97 speex/8000
a=rtpmap:101 telephone-event/8000
a=fmtp:101 0-15
a=sendrecv
```

3.3.4. Requêtes SIP

Il existe plusieurs types de requêtes SIP. Néanmoins, les plus importantes sont décrites ci-après :

- **INVITE** : Permet d'initier une session multimédia.
- **REGISTER** : Contient les informations de la localisation courante d'un utilisateur, l'adresse IP et le numéro de port.
- **BYE** : Permet de mettre fin à une session établie.
- **ACK** : Accuse réception de la réponse finale à une requête INVITE. La durée de l'établissement de la session en utilisant une méthode en trois étapes est aléatoire. En effet, elle dépend du temps que prendra l'appelé à accepter ou rejeter l'appel. Alors, l'appelé renvoie périodiquement la réponse jusqu'à la réception de l'accusé de réception.
- **CANCEL** : Annule la session en cours d'établissement. Par exemple, lorsque l'appelé prend trop de temps à donner une réponse.

3.3.5. Réponses SIP

Les réponses sont identifiées par un code définit par la version 2 du protocole SIP. Le code consiste en une valeur allant de 100 à 699, ces dernières étant classées en 6 catégories de réponses :

- **Réponses prévisionnelles 1xx** : Le traitement d'une requête peut être plus ou moins long, aussi les réponses 1xx permettent d'informer l'émetteur que la requête a bien été reçue et est en cours de traitement. Cela permet à l'initiateur d'arrêter la retransmission de la requête. Le chiffre 100 (TRYING) est utilisé lors de requêtes INVITE, et le chiffre 180 pour signaler une sonnerie en cours (RINGING).

- **Réponses finale positive 2xx** : Indique qu'une requête à été traitée et acceptée. 200 (OK) est la réponse positive à une requête INVITE par exemple.

- **Redirection 3xx** : Quand un serveur Proxy ne peut satisfaire un appel, il redirige l'appelant vers un service alternatif qui pourra établir l'appel. Ce service peut être un autre serveur Proxy ou la nouvelle localisation de l'appelé.

- **Réponse finale négative 4xx (erreur client)** : Indique qu'une requête ne peut être traitée ou que la requête à une mauvaise syntaxe et que le problème vient de l'appelant.

- **Réponses finale négative 5xx (erreur serveur)** : Indique que le serveur ne peut traiter la requête bien quelle soit valide. L'appelant retransmettra la requête par la suite.

- **Réponses finale négative 6xx (échec global)** : Indique que la requête ne peut être traitée par aucun serveur. Généralement, l'appelé décline sa participation à une session par une réponse 603.

La première ligne contient un message dans le langage humain exprimant la raison de la réponse transmise par le User Agent de l'utilisateur.

3.3.6. Liste des messages SIP prédéfinis

Code (Message)	Signification
100	Trying
180	Ringing
181	Call Is Being Forwarded
182	Queued
183	Session Progress
200	OK
202	Accepted
300	Multiple Choices
301	Moved Permanently
302	Moved Temporarily
305	Use Proxy
380	Alternative Service
400	Bad Request
401	Unauthorized
402	Payment Required
403	Forbidden
404	Not Found
405	Method Not Allowed
406	Not Acceptable
407	Proxy Authentication Required
408	Request Timeout
410	Gone
412	Conditional Request Failed
413	Request Entity Too Large
414	Request-URI Too Long
415	Unsupported Media Type
416	Unsupported URI Scheme
420	Bad Extension
421	Extension Required

Code (Message)	Signification
422	Session Interval Too Small
423	Interval Too Brief
429	Provide Referrer Identity
480	Temporarily Unavailable
481	Call/Transaction Does Not Exist
482	Loop Detected
483	Too Many Hops
484	Address Incomplete
485	Ambiguous
486	Busy Here
487	Request Terminated
488	Not Acceptable Here
489	Bad Event
491	Request Pending
493	Undecipherable
494	Security Agreement Required
500	Server Internal Error
501	Not Implemented
502	Bad Gateway
503	Service Unavailable
504	Server Time-out
505	Version Not Supported
513	Message Too Large
580	Precondition Failure
600	Busy Everywhere
603	Decline
604	Does Not Exist Anywhere
606	Not Acceptable

3.4. Echanges SIP

3.4.1. Transaction SIP

SIP est un protocole transactionnel, ce qui implique qu'une requête et toutes les réponses associées soient regroupées en transactions.

Toutefois, une particularité est à noter avec les ACKs. En effet, afin d'éviter de surcharger la bande passante, l'ACK n'est pas pris en compte lors d'une réponse finale positive à une requête. Car, bien qu'il n'y ait qu'une requête, plusieurs participants peuvent répondre positivement à cette dernière. Par contre, l'ACK sera pris en compte lors d'une réponse finale négative.

3.4.2. Dialogues SIP

Un dialogue SIP est un échange de transaction entre deux User Agents dans le temps. Par ailleurs, il facilite l'ordonnancement et le routage de messages entre points d'extrémités SIP.

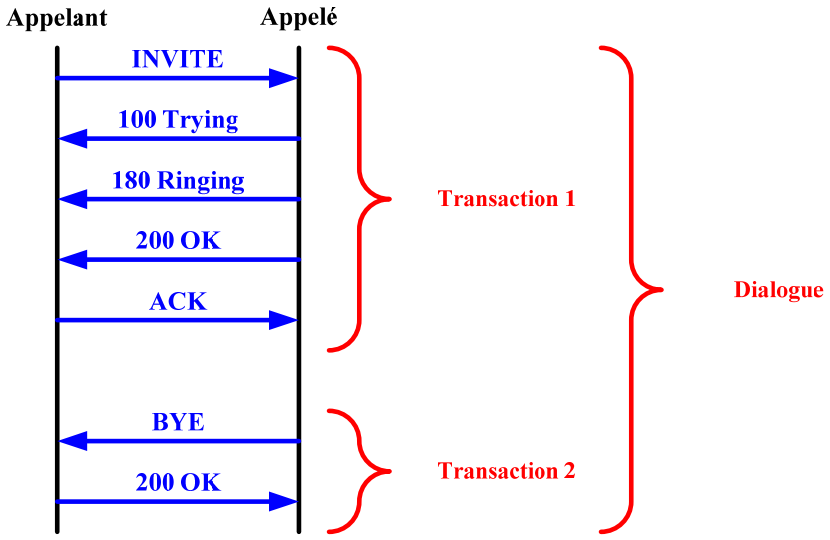
D'un point de vue pragmatique, un dialogue est une succession logique de transactions.

Les champs suivant d'un message SIP permettent d'identifier un dialogue :

- **Call Id** : Identifie un appel composé d'un ou plusieurs dialogues. Permet ainsi de distinguer les dialogues entre eux.
- **From** : Identifie le dialogue côté appelant.
- **To** : A l'inverse identifie le dialogue côté appelé.
- **CSeq** : Ordonne les messages au sein du dialogue et permet d'identifier une transaction.

En effet, un dialogue, et donc aussi les transactions correspondantes, est composée des messages qui partagent les mêmes paramètres d'identification. L'identification de dialogue permet à deux User Agent de poursuivre leur relation sans recours à un serveur Proxy une fois que tous deux connaissent leur localisation.

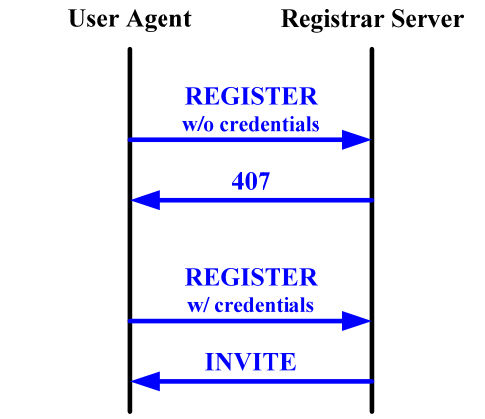
De plus, certains messages établissent un dialogue, d'autre pas. Le meilleur exemple est la requête BYE, qui à lieu dans le dialogue préétablie par une requête INVITE.



Exemple d'un dialogue découpé en deux transactions

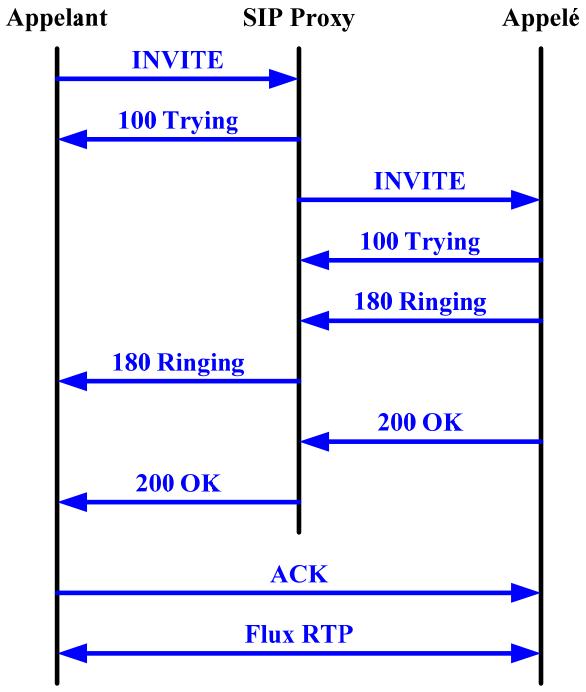
3.5. Transactions et dialogues typiques

3.5.1. Enregistrement



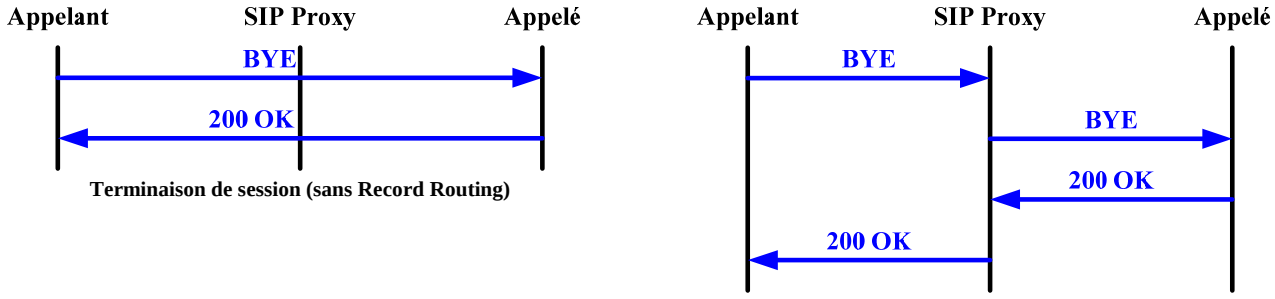
Enregistrement d'un client vers un serveur SIP Registrar

3.5.2. Invitation

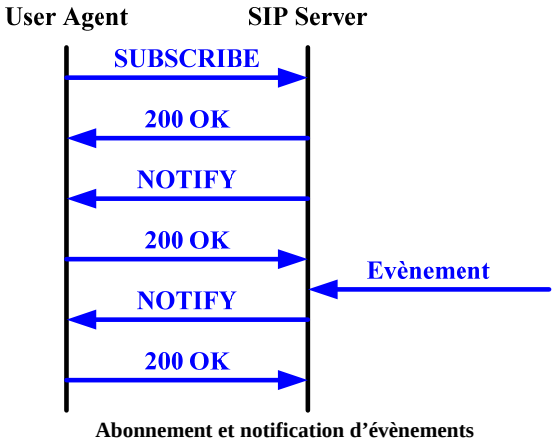


Etablissement d'une communication au travers d'un serveur SIP Proxy

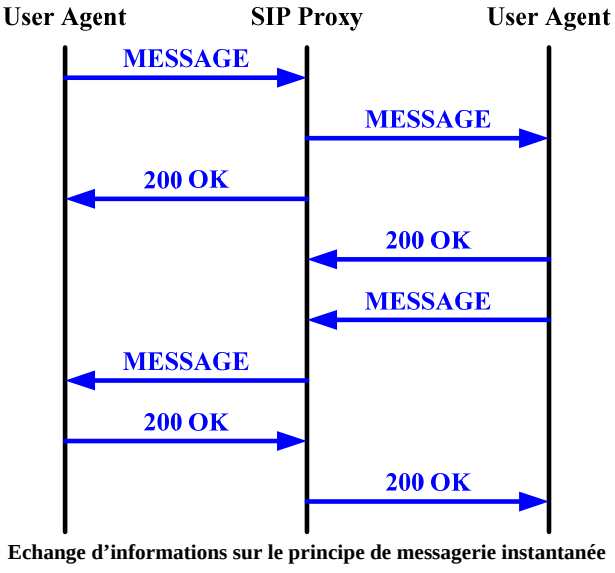
3.5.3. Terminaison de session



3.5.4. Abonnement et notification d'évènements



3.5.5. Messagerie instantanée



4. Equipement

4.1. Côté abonné

4.1.1. Téléphone IP

Un téléphone IP est un terminal téléphonique qui se connecte à un équipement réseau au lieu d'une prise téléphonique standard.

Ainsi toute communication téléphonique ne circule non plus sur une ligne téléphonique standard mais sur un réseau de données.

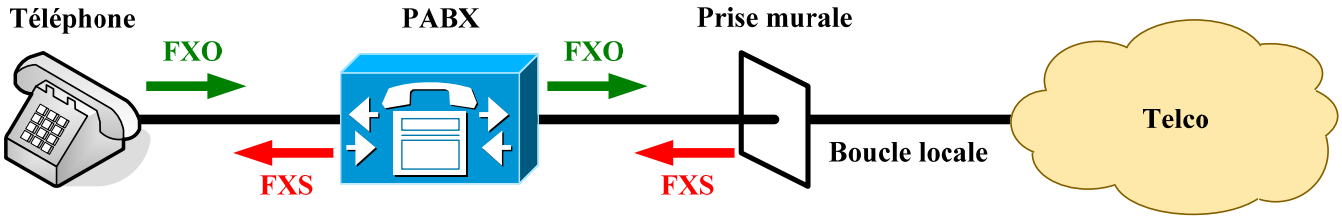
Il existe cependant deux types de téléphones IP :

- Les téléphones IP fixes
- Les téléphones IP portables (utilisant les réseaux sans fil)

Cisco IP Phone 7970G et Zyxel P2000W

4.1.2. Adaptateur pour téléphone analogique

Les ports FXS (Foreign eXchange Subscriber) et FXO (Foreign eXchange Office) sont les interfaces d'un réseau téléphonique analogique. Le port FXO est l'interface descendante (allant du téléphone vers le PABX par exemple), alors que le port FXS est l'interface remontante (l'interface du PABX allant vers un téléphone).



Le port FXS fournit à l'abonné les services de tonalité et d'alimentation électrique. C'est le port qui va vers l'abonné.

Le port FXO fournit principalement le service de fermeture de la boucle en indiquant si le combiné est raccroché ou pas (on-hook/off-hook). C'est le port qui va vers l'opérateur.

Cisco ATA 186

Linksys PAP2

Afin de permettre un basculement progressif vers une infrastructure VoIP, des adaptateurs sont apparus pour interconnecter des téléphones analogiques sur un IPBX, ou inversement de relier une infrastructure téléphonique classique (téléphones et PABX) vers un réseau IP.

4.1.3. Logiciels de téléphonie IP

Les logiciels de téléphonie IP, appelés aussi « Softphones », permettent de téléphoner via un ordinateur muni d'un casque et d'un microphone comme si il s'agissait d'un téléphone physique et disposent des mêmes fonctionnalités.

Il existe de nombreux logiciels de téléphonie IP, parmi les plus connus on retrouve : Skype, MSN Messenger, Counterpath eyeBeam, et bien d'autres.

Les fonctionnalités et les protocoles supportés dépendent du logiciel. Il faut donc choisir le logiciel en fonction de la plate-forme utilisée.

CounterPath eyeBeam

4.2. Côté opérateur

4.2.1. PABX et IPBX

Un PABX (Private Automatic Branch eXchange) ou PBX (Private Branch eXchange) est un autocommutateur téléphonique. Cet équipement permet l'interconnexion des plusieurs terminaux téléphoniques analogiques d'une entreprise. Cet équipement propose de multiples services comme le transfert d'appels et la musique d'attente.

Il existe aussi des PABX virtuels, aussi appelés IP PBX ou IPBX (Intranet Private Branch eXchange), qui sont globalement les équivalents des PABX traditionnels mais pour un usage dédié à la VoIP. Ces IPBX sont utilisés entre autres par les plates-formes IP Centrex.

4.2.2. Passerelle IP/TDM

La grande difficulté avec la VoIP est l'interconnexion avec le réseau téléphonique classique (souvent appelé TDM, pour Time Division Multiplexing).

Des passerelles existent donc pour permettre cette interconnexion IP vers TDM. Des versions logicielles (Asterisk) et des versions matérielles (Cisco AS5x00 ou CIRPACK par exemple) sont disponibles.

Cisco AS5400

CIRPACK MultiNode B

Elles permettent ainsi de transformer les flux IP vers les flux téléphoniques classiques et les rendre cohérents réciproquement.

4.2.3. Serveurs SIP

Les serveurs SIP permettent de centraliser les requêtes des différents téléphones IP afin de pouvoir établir les communications demandées par les utilisateurs. Ils sont d'ailleurs à la base de solutions IP Centrex.

Ces serveurs servent de centrale d'appels (SIP Proxy) et d'annuaire téléphonique (SIP registar) puisqu'ils ont généralement la liste de toutes les entités reliées au réseau téléphonique IP de l'entreprise. Ainsi, il va être possible pour un utilisateur, via un URI, de contacter facilement n'importe quelle personne de son entreprise, qu'elle que soit l'emplacement physique de cette personne.

Il existe de nombreux serveurs SIP différents. Dans la catégorie OpenSource gratuits, on retrouve par exemple SER et Asterisk, dont l'utilisation est assez répandue.

5. Infrastructure du réseau supportant la VoIP

5.1. Interconnexion entre la VoIP et la téléphonie classique

Comme vu précédemment, l'interconnexion entre un réseau VoIP et un réseau téléphonique classique se fait par l'intermédiaire d'une passerelle IP/TDM, qui peut être un équipement dédié ou une fonctionnalité incluse dans l'IPBX.

Ces passerelles sont généralement reliées à un opérateur télécom au travers d'un trunk (de technologie variable, allant du simple accès PSTN à une liaison E1 par exemple). Ce trunk n'est autre qu'un tuyau permettant de faire passer un ou plusieurs flux voix vers cet opérateur.

L'avantage des réseaux VoIP est aussi la totale liberté offerte quant au choix des identifiants d'appels. En effet, ces identifiants ne sont pas limités à des numéros de téléphones. Ils peuvent donc être des chaînes alphanumériques presque quelconques. Une interconnexion vers un réseau de téléphonie classique impose donc une restriction de taille, à savoir l'utilisation de numéros de téléphones compatibles et utilisables sur ce dernier.

Par conséquent, l'intégralité des réseaux VoIP interconnectés au réseau téléphonique classique nécessite l'obtention, généralement sous la forme d'un abonnement, de numéros de téléphones auprès d'un opérateur spécialisé.

5.2. Infrastructure LAN

5.2.1. QoS et VLANs

Toutes les technologies utilisant le transport de la voix sur IP nécessitent un minimum de bande passante pour assurer les communications audio établies.

Les réseaux au sein desquels les transferts de données sont trop importants augmentent la latence et diminuent la disponibilité des équipements réseaux, ce qui affaiblit grandement la qualité des communications audio, voir même de les rendre impossibles (pertes de paquets, congestion, délais trop importants, etc.).

C'est pourquoi il devient nécessaire, pour ne pas dire primordial, de différencier les flux audio des flux de données au sein d'un réseau. Pour ce faire, il faut mettre en place des solutions de priorité entre les trafics ainsi que des quotas d'utilisation de la bande passante en fonction de la nature des données.

De cette manière, une bande passante minimum pourra être garantie pour les flux audio au sein d'un réseau pour éviter, entre autre, l'indisponibilité du réseau téléphonique IP (élément critique pour certaines entreprises).

Dans cette optique, il faut différencier clairement les flux au sein de l'entreprise, et leur accorder la priorité et la bande passante minimale nécessaire.

Voici un exemple de priorité qui pourrait être appliqué :

Flux	Priorité	Exemple(s)
Convergence du réseau	1	Trames BPDU, mises à jour de routage
Signalisation des appels	2	Paquets SIP
Flux voix	3	Paquets RTP
Données prioritaires	4	Réplication Active Directory Authentification (Kerberos, LDAP, RADIUS)
Données non prioritaires	5	Pages Web, téléchargements

La mise en place d'une qualité de service (QoS) suppose la création d'au moins deux VLANs : un VLAN Data et un VLAN Voix au niveau des commutateurs.

Le VLAN Voix est utilisé pour toute communication audio en provenance ou à destination des équipements utilisant des technologies de voix sur IP, tandis que le VLAN Data est utilisé pour tout autre type de trafic.

Cela permet de faire une séparation complète des flux et de définir plusieurs classes de service, chacune regroupant des flux de même type (ici tout ce qui est flux audio, et tout le reste). Des priorités de trafics, des quotas de bande passante et des limitations du nombre de requêtes pourront être appliqués sur ces différentes classes de services.

La méthode généralement retenue pour une implémentation de la VoIP est le LLQ (Low Latency Queuing), vu que cette dernière favorise les trafics sensibles à la latence, comme c'est le cas pour les flux voix.

En ce qui concerne les classes de service, les quotas de bande passante et tout autre caractéristique de la QoS, ils doivent être directement configurés sur les équipements en prenant en compte l'architecture du réseau et les besoins des utilisateurs sur celui-ci.

En conclusion, les recommandations sont de mettre en place :
- Priorité entre les trafics
- Réservation de bande passante
- Séparation des trafics avec des VLANs

Le maître-mot ici est donc la disponibilité.

5.2.2. Sécurité

L'infrastructure permettant le bon fonctionnement de toute la téléphonie IP ainsi que tout autre type de communication audio doit absolument rester fiable quoi qu'il arrive.

En effet, cette infrastructure doit être protégée de tout type d'attaque pour éviter l'obtention d'informations confidentielles (espionnage industriel), le détournement de communications téléphoniques ou encore la perte de fonctionnalité de toute cette infrastructure (élément critique dans la majorité des grandes entreprises).

Les éléments à sécuriser au sein d'une telle infrastructure sont nombreux et concernent autant les équipements réseaux, que les terminaux téléphoniques ou encore les systèmes d'exploitation hébergeant aussi bien un serveur SIP qu'un simple softphone.

Pour commencer, il faut penser à sécuriser l'accès aux terminaux et aux différents équipements utilisant la voix sur IP en demandant à ceux-ci ainsi qu'aux utilisateurs de s'authentifier via un mot de passe ou un certificat numérique.

Cependant, cela ne suffit pas puisque une attaque de type « bruteforce » (attaque consistant à essayer tous les mots de passe possibles jusqu'à ce que le bon soit trouvé), ainsi que le vol ou la récupération d'un certificat numérique sont toujours possibles.

Il faut de plus garantir une étanchéité des informations, s'assurer qu'une information circulant dans le VLAN Voix ne puisse pas être accessible depuis un utilisateur d'un autre VLAN. Cependant, il est toujours possible de brancher un ordinateur à la place d'un téléphone IP pour usurper son identité et accéder à ce VLAN Voix.

Cette étanchéité ne s'étend pas qu'aux informations mais aussi aux équipements en charge des communications audio, afin d'éviter toute tentative d'exploitation d'une vulnérabilité ou tout simplement éviter des attaques de type dénis de service (DoS ou DDoS).

En effet, la mise hors service d'un équipement critique de cette infrastructure pourrait entrainer un disfonctionnement total de tous les services de téléphonie sur IP.

Du fait que la majorité des flux audio utilisent le protocole UDP, il est facilement possible de détourner des conversations téléphoniques, usurper une identité, enregistrer ou brouiller une conversation.

Des attaques de type « man in the middle » utilisant principalement des requêtes ARP formatées d'une manière spécifique (Gratuitous ARP) ou encore l'usurpation d'adresse IP (IP Spoofing) sont utilisées pour détourner ces communications.

Il y aura malheureusement toujours moyen pour une personne mal intentionnée, malgré les sécurités pouvant être mises en place, de pouvoir trouver une faille et accéder aux flux.

C'est pourquoi il faut aussi mettre en place un système de cryptage des données, qui certes va augmenter légèrement la latence des équipements, mais pourra permettre une bien meilleure protection et confidentialité des informations.

Il est ainsi possible d'utiliser le protocole TLS pour sécuriser les requêtes du protocole SIP, ou encore le protocole SSL pour crypter les informations transportées par le protocole RTP (alias SRTP).

Sécuriser une infrastructure LAN est vraiment une tâche difficile pour un administrateur réseau, aucune mesure ne pourra jamais garantir une sécurité parfaite à 100%, il est seulement possible de sécuriser au mieux une infrastructure pour limiter les risques.

En résumé, les recommandations pouvant être appliquées sont les suivantes :

- **Authentification** : Empêcher une personne non autorisée d'utiliser le service, via l'implémentation de mots de passe ou de certificat numérique (PKI).

- **Etanchéité** : Utilisation de VLANs et filtrage des accès aux applications et équipements critiques.

- **Cryptage** : Utilisation des mécanismes disponibles pour protéger les protocoles de signalisation (TLS pour SIP par exemple) et de transport des flux (SRTP au lieu de RTP)

5.2.3. VoIP et les réseaux sans fil

La voix sur IP a évoluée jusqu'à présent au sein d'infrastructures filaires et commence à s'étendre au niveau des réseaux sans fil (VoWiFi, pour Voice over Wi-Fi).

Cette nouvelle tendance apporte tout d'abord un avantage financier. En effet, il n'y a plus qu'à maintenir une seule infrastructure radio ce qui limite grandement le câblage physique des bâtiments.

La VoWiFi a pour vocation l'interconnexion des équipements mobiles tels que les smartphones, les PDA ou encore les ordinateurs portables pour leur permettre d'établir des conversations téléphoniques entre eux ainsi que vers des réseaux extérieurs.

De manière générale, on attend d'ici peu de temps des téléphones portables (dual mode) qui, une fois situés au sein d'une infrastructure Wi-Fi, feront transiter leurs conversations sur le réseau IP, et vers le réseau 3G une fois sortis de la zone de couverture de cette infrastructure IP.

Cependant, la VoWiFi est encore sujet à de nombreux problèmes. En effet, il est difficile de pouvoir mettre en place de la QoS sur des points d'accès Wi-Fi et de pouvoir gérer correctement les problèmes engendrés par la concurrence d'accès au niveau des utilisateurs. En effet, nous n'avons que très peu de contrôle sur les ondes et plus particulièrement sur les perturbations pouvant survenir.

De plus, pour qu'une conversation soit considérée de bonne qualité, il ne faut pas dépasser un délai de plus de 150ms ce qui est un véritable problème en termes de mobilité, puisqu'un utilisateur est souvent amené à se connecter dynamiquement à des bornes différentes (principe du roaming) tout en maintenant ses connexions actives.

La latence apportée par le roaming est un réel problème dans la VoWiFi puisque cela dégrade la qualité de la conversation et peut mener à la coupure des communications, si un système d'authentification centralisé est utilisé (méthodes EAP).

C'est pourquoi l'utilisation du Fast Roaming est fortement recommandée au sein des infrastructures Wi-Fi car cette méthode permet à un utilisateur de se réauthentifier plus rapidement sur la nouvelle borne lorsqu'il est amené à se déplacer (infrastructure WDS par exemple).

5.3. Infrastructure WAN

5.3.1. QoS

Lorsqu'une QoS (Quality of Service) est mise en place au sein d'une infrastructure LAN, celle-ci peut être maitrisée jusqu'au routeur frontière.

Au-delà de cette limite, seul un fournisseur d'accès à Internet (FAI ou ISP) a les capacités de pouvoir étendre cette QoS au niveau d'un réseau WAN.

Une entreprise est donc contrainte aux solutions que peuvent lui fournir un ISP dans le but de répondre à ses besoins, et doit s'en remettre aux capacités de cet ISP à garantir une qualité de service suffisante pour pouvoir acheminer correctement ses flux, en particulier les flux audio, à travers un réseau WAN.

Cependant, tous les ISP n'ont pas les mêmes capacités de gestion des classes de service pour maintenir une qualité de service correspondant aux besoins d'une entreprise. Il arrive même parfois qu'un ISP n'en soit pas capable.

De plus, il est impossible, sans utilisation de classes de service, de pouvoir différencier sur Internet de la voix par rapport à de la donnée parmi des flux d'informations qui y transitent.

Il est donc bien souvent impossible de pouvoir assurer une QoS de bout en bout si les réseaux en question ne sont pas gérés par le même fournisseur d'accès à Internet.

Pour pouvoir mettre en place une QoS à travers une infrastructure WAN et ainsi permettre le bon transport de la voix sur IP, il est donc préférable de louer chez un ISP une liaison symétrique dédiée à la voix disposant d'une bande passante suffisante et permettant de garantir correctement la priorité des flux.

Des opérateurs se sont spécialisés dans le transport des flux voix. Ces derniers proposent une qualité de service adaptée aux besoins en VoIP des entreprises. Des offres complètes, incluant l'attribution de numéros de téléphone, existent aussi.

5.3.2. Sécurité

Dans une infrastructure WAN, un ISP doit s'assurer que les informations transmises par ses clients ne puissent pas être détournées ou dérobées par une personne mal intentionnée.

C'est pourquoi il doit mettre en place des solutions permettant l'étanchéité des données circulant à travers ses réseaux ainsi que le cryptage de ces données afin de garantir une confidentialité des informations qui y sont contenues.

Pour ce faire, un ISP utilise généralement des connexions VPN entre les sites afin de pouvoir créer un tunnel dans lequel transiteront toutes les informations de manière crypté.

De plus, pour permettre de contrôler l'accès à ces informations et accroitre la disponibilité de ses services, une entreprise a généralement recourt à l'utilisation de deux liaisons différentes : une pour la voix et une autre pour les données.

En revanche l'utilisation de firewall doit être implémentée en prenant en compte les spécificités de la VoIP, sous peine de causer de nombreux problèmes.

Par exemple, suivant la façon dont le firewall a été configuré, les appels provenant de l'extérieur (appels entrants) pourraient être bloqués.

5.3.3. NAT/PAT

Le NAT permet la translation d'adresses privées en adresses publiques pour que des utilisateurs d'un LAN puissent communiquer sur Internet.

Le NAT et les firewalls ont un problème en commun au niveau de la VoIP : les requêtes provenant de l'extérieur du réseau pour initialiser une conversation téléphonique avec un téléphone IP du LAN (appels entrants) sont bien souvent bloquées au niveau du routeur gérant la connexion à Internet.

De plus, la translation d'adresse s'effectue uniquement au niveau du paquet IP et non au niveau des en-têtes SIP par exemple.

Cela signifie qu'un proxy SIP peut recevoir une requête provenant au niveau du paquet IP de l'adresse publique d'un routeur d'entreprise, et provenant au niveau de l'en-tête SIP de l'adresse IP privée d'un équipement situé sur le LAN de cette entreprise.

Des solutions telles que les serveurs TURN (Traversal Using Relay NAT) et STUN (Simple Traversal of UDP through NAT) peuvent être mises en place pour palier à ce genre de problèmes.

5.3.4. Fiabilité et disponibilité des liaisons WAN

Contrairement à une infrastructure LAN où tout peut être maitrisé, il faut espérer qu'un ISP tienne ses engagements de qualités en termes de délai et de fiabilité de ses liaisons sur l'infrastructure WAN.

Pour entretenir une communication VoIP de bonne qualité, il faut que le délai reste inférieur ou égal à 150ms, chose qui est particulièrement difficile si l'opérateur passe par des liaisons satellites par exemple.

Il faut donc s'assurer que l'ISP puisse fournir une liaison adaptée aux besoins de son client afin de garantir des délais convenables et une disponibilité continue de cette liaison.

Pour connaître la bande passante dont peut avoir besoin une entreprise au niveau de la VoIP, il suffit d'analyser le nombre de kb/s que génère une communication et de regarder combien de flux audio peuvent ainsi passer en même temps sur une liaison.

En utilisant une compression des flux de données, une communication atteint une demande d'environ 8kb/s. Certains algorithmes tel que le G729A (algorithme payant) peuvent atteindre une compression allant jusqu'à 6kb/s (en-tête comprise). Cet algorithme représente actuellement le meilleur compromis au niveau de la VoIP entre la bande passante utilisée et la qualité du son.

5.3.5. Implémentation sur différents médias et technologies WAN

Chaque liaison WAN a sa propre capacité en termes de bande passante, certaines sont symétriques, d'autres asymétriques (capacité d'émission différente de celle de réception).

Parmi les technologies WAN existantes, celles qui sont les plus adaptées à la VoIP sont celles qui offrent à l'utilisateur le moins de latence possible et une bande passante suffisante aussi bien au niveau de l'émission que de la réception.

C'est pourquoi, les liaisons à forte capacité en bande passante telles que les LS, SDSL ou PRI (E1, T2, etc.) sont fortement recommandées pour l'utilisation d'une infrastructure VoIP.

Certaines liaisons ne répondent pas aux besoins de la transmission de la voix sur IP. Les deux problèmes les plus fréquemment rencontrés sont :

- **La bande passante** : Avec liaisons asymétriques comme le RTC, le RNIS BRI (Numéris) ou encore l'ADSL.
- **La latence réseau** : Fortement visible sur des liaisons satellite par exemple.