

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE



**MEMOIRE**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**MASTER**

**Domaine : Sciences et Technologies**  
**Filière : Télécommunications**  
**Spécialité : Systèmes des Télécommunications**

**Présenté par**

BOUZID Redouane  
CHABANA Djahid

*Thème*

*Etude d'un système de communication VoIP*

**Soutenu le 09 juillet 2019**

**Devant le Jury**

<b>Président</b>	<b>Mr. TOUNSI M.</b>
<b>Examinateur</b>	<b>Mr. BENAMIROUCHE N.</b>
<b>Encadrant</b>	<b>Mr. BERRAH S.</b>
<b>Co-Encadrante</b>	<b>Mme. MEZHOUD N.</b>

**Année Universitaire : 2018/2019**

# *Remerciements*

*Ce jour marque la fin d'une longue période d'étude à l'université de Bejaia. Au terme de notre formation en générale et notre projet de fin d'étude en Particulier.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier nos deux encadrants Mr. BERRAH Smail et Mme. MEZHOUD Naima, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*Nos remerciements vont aussi à Monsieur TOUNSI M. et Monsieur BENAMIROUCHE N. pour avoir accepté d'être les examinateurs de notre thème et pour leur intérêt dans notre travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux deux personnes qui me sont les plus chères au monde, mon cher père (Belkacem) et ma chère mère (Karima), auxquels je tiens à exprimer ma profonde gratitude de leur soutien incessant, de leur patience incommensurable, de leurs sacrifices inestimables, et surtout leur tendresse*

*A ma très chère sœur (Emillie)*

*A ma chère tante (Saida), tout en lui espérant la guérison de sa maladie*

*A tout ma famille*

*A mon binôme « CHABANA Djahid » et toute sa famille.*

*A tous mes amis*

*A toute la promotion Télécom*

*A toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**BOUZID REDOUANE**

## *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux deux personnes qui me sont les plus chères au monde, mon cher père (Moukhtar) et ma chère mère (Nadia), auxquels je tiens à exprimer ma profonde gratitude de leur soutien incessant, de leur patience incommensurable, de leurs sacrifices inestimables, et surtout leur tendresse*

*A mes très chers frères (Dahman, Nadir, Foudil, Mounir)*

*A mes très chères sœurs (Merieme, Sabiha, Nassima)*

*A ma chère grande mère (Tassadit)*

*A mes neveux*

*A tout ma famille « CHABANA »*

*A mon binôme « BOUZID Redouane » et toute sa famille.*

*A tous mes amis et amies*

*A toute la promotion Télécom*

*A toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**CHABANA DJAHID**

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I Les réseaux téléphoniques publics</b> .....	3
I.1. Introduction .....	3
I.2. Historique de la téléphonie.....	3
I.3. Les réseaux publics .....	4
I.3.1 Définition.....	4
I.3.2 Les types des réseaux publics .....	4
I.3.2.1 Réseau téléphonique commuté (RTC).....	4
I.3.2.1.1 Définition.....	4
I.3.2.1.2 Principe de fonctionnement .....	5
I.3.2.1.3 Gestion du réseau RTC.....	6
I.3.2.1.4. Architecture traditionnelle du RTC .....	7
I.3.2.1.5 Avantages et inconvénients du RTC.....	8
I.3.2.2 Réseau Numérique à Intégration de Service (RNIS).....	8
I.3.2.2.1 Définition.....	8
I.3.2.2.2 Fonctionnement du RNIS .....	9
I.3.2.2.2.1 Les canaux logiques RNIS.....	9
I.3.2.2.2.2 Les interfaces standards RNIS.....	10
I.3.2.2.4 Avantages et inconvénients .....	12
I.4 Conclusion .....	12
<b>Chapitre II La téléphonie et la voix sur IP</b> .....	15
II.1. Introduction.....	13

II.2. Théorie de la ToIP.....	13
II.2.1. Définition.....	13
II.2.2. Etapes de déroulement d'une communication téléphonique sur IP.....	13
II.2.2.1 Mise en place de la communication.....	14
II.2.2.2 Établissement de la communication.....	14
II.2.2.3 Transport de l'information téléphonique.....	15
II.2.2.4 Changement de réseau.....	15
II.2.2.5 Arrivée au destinataire.....	15
II.2.3 Avantages de la ToIP.....	15
II.3. La voix sur IP.....	17
II.3.1 Définition .....	17
II.3.2 Principe de la commutation de paquets.....	17
II.3.3 Principe de fonctionnement de la VoIP.....	28
II.3.4 Codecs.....	20
II.3.4.1 Définition .....	20
II.3.4.2 Objectifs des codecs.....	20
II.3.4.3 Codeurs audio utilisés en VoIP.....	21
II.3.5 Architecture de VOIP.....	22
II.3.6 Les contraintes de la VoIP .....	24
II.3.6.1 La gigue.....	24
II.3.6.2 Perte de paquets.....	25
II.3.6.3 Le délai de transit.....	26
II.3.7 Avantages de la VoIP.....	26
II.4. La différence entre VoIP et ToIP.....	27
II.5. Les protocoles associés à la VoIP.....	28

II.5.1	Transport de la voix et de la vidéo sur IP avec les protocoles RTP et RTCP.....	28
II.5.1.1	Le protocole RTP .....	29
II.5.1.1.1	Définition.....	29
II.5.1.1.2	Fonctionnalités.....	29
II.5.1.1.3	Format des paquets RTP .....	30
II.5.1.2	Le protocole RTCP.....	31
II.5.1.2.1	Définition.....	31
II.5.1.2.2	Les catégories de paquets RTCP.....	31
II.5.2	Protocoles de signalisations .....	32
II.5.2.1	Protocol H.323.....	32
II.5.2.1.2	Définition .....	32
II.5.2.1.3	L'Architecture H.323.....	33
II.5.2.1.4	Famille de protocoles H.323.....	35
II.5.2.1.5	Avantages de la technologie H.323.....	36
II.5.2.2	protocole SIP.....	36
II.5.2.2.1	Définition.....	36
II.5.2.2.2	Entités SIP.....	37
II.5.2.2.3	Les messages SIP.....	38
II.6	Conclusion.....	39
<b>Chapitre III</b>	<b>Réalisation d'un environnement VoIP à l'aide d'Asterisk.....</b>	<b>40</b>
III.1	Introduction .....	40
III.2	Notre projet.....	40
III.3	Présentation d'Asterisk .....	41
III.3.1	Définition.....	41
III.3.2	Les fonctions assurées par Asterisk.....	42

III.4 Réalisation de l’environnement virtuel.....	42
III.4.1 Présentation de VMware WORKSTATION.....	43
III.4.2 Installation des clients.....	43
III.4.3 Installation de DEBIAN 9 .....	45
III.5 Installation proprement dite d’Asterisk .....	48
III.5.1 Acquisition et installation des prérequis.....	48
III.5.1.1 Mise à jour du système.....	48
III.5.1.2 DAHDI et LIBPRI.....	49
III.5.1.2.1 Téléchargement, décompression et installation des paquets DAHDI et LIBPRI.....	49
III.5.2 Téléchargement, installation d’Asterisk.....	51
III.5.2.1 Lancement et vérification du bon fonctionnement du service Asterisk .....	56
III.5.3 Configuration d’Asterisk.....	56
III.5.3.1 Modification du fichier sip.conf.....	57
III.5.3.2 Personnalisation du fichier extensions.conf .....	58
III.5.3.3 Implémentation d’un service de boîte vocale .....	59
III.6 Configuration des softphones pour les clients.....	61
III.6.1 Définition de 3CX.....	61
III.6.2 Configuration du softphone 3CX.....	61
III.6.3 Test final de la communication .....	63
III.7 Conclusion.....	64
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>65</b>



# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Communication entre les téléphones .....	4
<b>Figure I.2</b> : Principe de RTC .....	4
<b>Figure I.3</b> : Gestion du réseau RTC .....	5
<b>Figure I.4</b> : Organisation du réseau téléphonique.....	6
<b>Figure II.1</b> : les équipements à traverser par une communication téléphonique sur IP.....	14
<b>Figure II.2</b> : Principe de la commutation de paquets.....	17
<b>Figure II.3</b> : Le multiplexage des sources dans le réseau.....	18
<b>Figure II.4</b> : le multiplexage statique et ses effets sur le transport de la voix.....	19
<b>Figure II.5</b> : Echantillonnage G.711.....	21
<b>Figure II.6</b> : Architecture voix sur IP.....	24
<b>Figure II.7</b> : Effet de la gigue sur la voix .....	25
<b>Figure II.8</b> : La différence entre VoIP et ToIP .....	28
<b>Figure II.9</b> : Zone H.323. ....	33
<b>Figure II.10</b> : passerelles qui relient différents réseaux.....	33
<b>Figure II.11</b> : MCU centralisé.....	34
<b>Figure II.12</b> : La pile protocolaire H.323.....	35
<b>Figure II.13</b> : Entités d'un réseau SIP.....	37
<b>Figure III.1</b> : Architecture de notre projet VoIP.....	41
<b>Figure III.2</b> : Fenêtre VMware.....	43
<b>Figure III.3</b> : Insertion de l'image ISO de 'Windows 7'.....	44
<b>Figure III.4</b> : Installation du client1 réussite.....	45
<b>Figure III.5</b> : Création d'une nouvelle machine virtuelle pour DEBIAN 9.....	46
<b>Figure III.6</b> : Menu d'installation DEBIAN 9.....	46

<b>Figure III.7:</b> Installation de DEBIAN 9.....	47
<b>Figure III.8:</b> Mise à jour du système.....	48
<b>Figure III.9:</b> Téléchargement des paquets DAHDI et LIBPRI.....	50
<b>Figure III.10:</b> Décompression des paquets DAHDI et LIBPRI.....	50
<b>Figure III.11:</b> Installation de DAHDI.....	51
<b>Figure III.12:</b> Installation de LIBPRI.....	51
<b>Figure III.13:</b> Téléchargement et extraction du paquet d'Asterisk.....	51
<b>Figure III.14:</b> Installation des prérequis du paquet Asterisk.....	52
<b>Figure III.15:</b> Construction du menuselect.....	52
<b>Figure III.16:</b> Bon déroulement de l'installation.....	52
<b>Figure III.17:</b> Faire apparaître le menuselect.....	52
<b>Figure III.18:</b> Le menuselect.....	53
<b>Figure III.19:</b> Sélection de 'core-sound-fr-ulaw'.....	54
<b>Figure III.20:</b> Choix de 'MOH- OPSOUND-ULAW'.....	54
<b>Figure III.21:</b> Opter pour le choix de 'EXTRA-SOUNDS-FR-ULAW'.....	55
<b>Figure III.22:</b> Finalisation de l'installation d'Asterisk.....	55
<b>Figure III.23:</b> Lancement et vérification du service d'Asterisk.....	56
<b>Figure III.24:</b> Fichier sip.conf.....	57
<b>Figure III.25 :</b> Fichier extensions.conf.....	58
<b>Figure III.26 :</b> Fichier voicemail.conf.....	59
<b>Figure III.27 :</b> Fichier 'extensions.conf' incluant un service de boîte vocale.....	60
<b>Figure III.28 :</b> Adresse IP du serveur Asterisk.....	62
<b>Figure III.29 :</b> Configuration des softphones 3CX.....	62
<b>Figure III.30 :</b> Déroulement d'un appel entre le client 1 et le client 2.....	63

**Figure III.31:** Visualisation des étapes d'un appel en temps réel.....64

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Principales structures des interfaces de raccordement au RNIS.....	10
<b>Tableau II.1</b> : Format de l'en-tête RTP.....	30
<b>Tableau II.2</b> : Liste des requêtes SIP.....	38
<b>Tableau II.3</b> : Liste des réponses SIP.....	39

# Liste des abréviations

## A

ACK	Accusé de réception significatif
ATM	Asynchronous Transfer Mode

## B

BSD	Berkeley Software Distribution
-----	--------------------------------

## C

CAA	Commutateur à Autonomie d'Acheminement
CCF	Fonction de Commande de Connexion
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CL	Commutateur Local
CNAME	Canonical Name
CNG	Comfort Noise Generation
CPU	Central Processing Unit
CSRC	Identificateur de source contributive
CTI	Commutateur de Transit International
CTP	Commutateur de Transit Principal
CTS	Commutateur de Transit Secondaire

## D

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol

DTMF            Dual Tone Multifrequency

DTX            Discontinuous Transmission

## F

FEC            Forward Error Correction

## G

GPL            General Public License

GSM            Global System for Mobile communications

## H

HTTP            HyperText Transfer Protocol

IETF            Internet Engineering Task Force

## I

IP              Internet Protocol

IPBX            Internet Protocol Private Branch eXchange

ISDN            Integrated Service Digital Network

ITA             L'Installation Terminale d'Abonné

ITU-T            International Telecommunications Union – Telecommunications Sector

## K

Kbps            Kilo-bits par second

Khz             Kilo-hertz

## L

LAN IP            Local Area Network Internet Protocol

## M

MC	Multipoint Controller
MCU	Multipoint Control Unit
MIC	Modulation par Impulsion et Codage
MOS	Mean Operatinal Score
MP	Multipoint Processor

## P

PABX	Private Automatic Branch eXchange
PBX	Private Branch EXchange
PC	Personal Computer
PSTN	Public Switched Telecommunication Network
PT	Payload Type

## Q

QoS	Qualité de Service
-----	--------------------

## R

RAS	Registration, Admission and Status
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
RR	Receiver Report
RTC	Réseau téléphonique commuté
RTCP	Real-time Transport Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol

## S

SDES	Source Description
SDH	hiérarchie numérique synchrone
SIP	Session Initiation Protocol
SMTP	Simple Mail Transport Protocol
SR	Sender Report
SSRC	Identificateur de source de synchronisation
SVI	Serveur Vocal Interactif

## T

TDM	Time Division Multiplexing
TE	Terminal utilisateur
TNA	Terminaison Numérique d'Abonné
TNR	Terminaison Numérique de Réseau
ToIP	Téléphonie over Internet Protocol

## U

UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
URL	Uniform Resource Locator

## V

VAD	Voice Activity Detection
VM	Virtual Machine
VoIP	Voice over Internet Protocol



## Z

ZAA	Zone à Autonomie d'Acheminement
ZTP	Zone de Transit Principal
ZTS	Zone de Transit Secondaire

Depuis la nuit des temps, l'être humain n'a cessé d'élaborer des stratégies et des moyens de communication dans le but de transmettre un message à son semblable, cela grâce à des efforts intellectuels et physique remarquables, à un point qu'il en est arrivé à mettre en place un réseau de téléphonie classique assez satisfaisant. Néanmoins, ce réseau présente des inconvénients majeurs en matière de coût et d'infrastructure. Le monde de la téléphonie a connu, depuis une vingtaine d'années, une évolution considérable d'où l'émergence de la voix sur IP (VoIP), qui représente un progrès technologique mémorable dans le domaine de la télécommunication. S'appuyant sur une technologie de transmission en mode paquet, la voix sur IP doit son bon fonctionnement à des protocoles complémentaires qui supervisent le transport de données en temps réel, afin de resynchroniser les paquets. Ces protocoles sont essentiellement : RTP, RTCP, H.323 et SIP.

Plus qu'une nouvelle technique de transport de l'information, c'est un nouveau mode de communication qui est inventé avec la téléphonie sur IP (ToIP). Les fonctionnalités étant accrues, une communication ne se limite plus qu'à la parole téléphonique, mais peut s'enrichir de multiples facettes, qui facilitent son usage, comme la vidéo associée à la parole téléphonique ou le service de présence des softphones, qui indique en temps réel la disponibilité de ses contacts [1]. Parallèlement, profitant notamment de l'interface IP (Internet Protocol) vers la téléphonie comme canal de développement d'applications, le monde des logiciels libres de télécommunications connaît depuis la même période un essor important. Plusieurs logiciels libres ont constitué autour d'eux des communautés très actives. Parmi eux, le plus célèbre et le plus riche est sans aucun doute Asterisk, notamment grâce à sa compatibilité avec les différents protocoles (RNIS, SIP, H.323, etc.) et la diversité des fonctions qu'il assure (standard téléphonique, messagerie vocale, etc.) [2].

Le but principal de notre travail consiste dans l'étude d'un système de communication VoIP, ces mécanismes de fonctionnement ainsi que les différents protocoles utilisés en VoIP. Comme nous allons, aussi, réaliser un environnement virtuel, basé sur la VoIP, afin de mettre en communication deux individus.

Dans le premier chapitre nous allons exposer brièvement l'évolution de la téléphonie à travers le temps, puis on détaillera les différents mécanismes de la téléphonie classique analogique (RTC) et numérique (RNIS), ainsi leurs inconvénients qui ont engendré l'apparition de la téléphonie sur IP (ToIP) et de la voix sur IP. Ces deux technologies seront abordées en

détail tout au long du deuxième chapitre, ainsi que la différence entre elles et les différents protocoles associés à la VoIP, qui permettent le transport de données et la signalisation. Par la suite, à travers le troisième chapitre, nous allons procéder au déploiement d'un environnement virtuel, dans le but de simuler une communication VoIP entre deux clients, principalement à l'aide du serveur Asterisk, de la machine virtuelle VMware et du softphone 3CX. Et pour finir, notre mémoire se clôturera par une conclusion et quelques perspectives d'avenir.

## I.1. Introduction

Autres fois la communication entre des individus éloignés n'était pas assez satisfaisante en matière de temps et d'efficacité de transmission, c'est pourquoi la téléphonie a été conçue pour transmettre la voix tout en assurant la liaison en temps réel.

Ce chapitre illustre l'évolution de la téléphonie à travers le temps et les techniques qui ont favorisé ces développements, en passant par la téléphonie classique analogique, puis numérique.

## I.2. Historique de la téléphonie

Dès la fin du XVIII siècle l'histoire de la communication a connu des innovations majeures dues aux avancées technologiques de certains savons. En a pris en compte quelques dates importantes telles que :

- 1794 : L'ingénieur Français Claud Chappe crée le premier télégraphe.
- 1837 : Premier télégraphe électrique inventé par Samuel Morse.
- 1876 : Le téléphone est inventé par Graham Bell.
- 1892 : Apparition du téléphone Mildé, durant la même année Almon B. Strowger invente le premier « sélecteur » automatique et donne ainsi naissance à la commutation téléphonique automatique.
- 1910 : Le téléphone Marty fait son apparition : le récepteur et le microphone sont liées sur le combiné.
- 1920 : Naissance du téléphone à cadran : les chiffres de 0 à 9 permettent de composer directement le numéro du correspondant, sans avoir à passer par un intermédiaire.
- 1930 : Création du combiné en Bakélite par le Suédois Ericsson.
- 1938 : Dépôt du brevet des systèmes à modulation par impulsion et codage (MIC) par le Français Alec Reeves.
- 1962 : Lancement des premiers systèmes de transmission multiplex de types MIC aux Etats-Unis qui permettent une liaison à 24 voies entre centraux téléphoniques, en même temps en France on installe des MIC à 32 voies.

- 1970 : La mise en œuvre des centraux téléphoniques publics en commutation électronique temporelle.
- 1987 : Développement du Réseau Numérique à Intégration de Service (RNIS) en France.
- 1990 : Apparition de nouveaux concepts tels que la commutation temporelle asynchrone (ATM) et la hiérarchie numérique synchrone (SDH).

### I.3. Les réseaux publics

#### I.3.1. Définition

Les réseaux téléphoniques publics représentent l'ensemble d'infrastructures électroniques déployées pour la fourniture des services téléphoniques au grand public ; son rôle consiste dans l'émission et la réception entre les extrémités du réseau de la voix et d'autres formes de communications telles que la télécopie et la transmission de données.

#### I.3.2. Les types des réseaux publics

On distingue deux types de réseaux publics selon le mode de transmission utilisé: les réseaux analogiques (RTC) et les réseaux numériques (RNIS).

##### I.3.2.1. Réseau téléphonique commuté (RTC)

###### I.3.2.1.1. Définition

En anglais PSTN (Public Switched Telecommunication Network), le réseau téléphonique commuté (RTC) est le réseau du téléphone fixe, dans lequel un poste d'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils alimentée en batterie centrale. Ce réseau achemine des signaux analogiques où la voix est représentée par un signal électrique continu.[3]

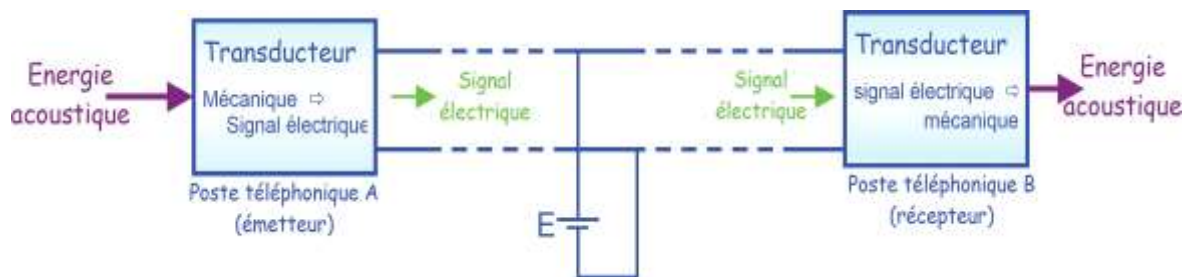


**Figure I.1 :** Communication entre les téléphones. [4]

### I.3.2.1.2. Principe de fonctionnement

Utilisant le principe de la commutation de circuits, un canal de communication est ouvert entre deux abonnés et l'intégralité de cette bande passante est réservée à ces deux interlocuteurs même s'ils ne parlent pas, il nécessite donc l'établissement d'une connexion permanente cela à l'aide de commutateurs. Il utilise comme support des lignes électriques sur lesquelles transite un courant analogue aux signaux sonores comme suit :

- L'émetteur produit un son (énergie acoustique), qui est transformé en un signal électrique à l'aide d'un transducteur (un microphone).
- Le signal électrique est alors amplifié et transmis via une paire torsadée jusqu'à un second transducteur (un haut-parleur) qui convertit à l'inverse ce signal en énergie acoustique comme le montre le schéma suivant : [5]



**Figure I.2 :** Principe de RTC.

Le routage des appels, l'interconnexion des réseaux et la gestion des services téléphoniques est réalisable grâce à l'autocommutateur téléphonique privé PABX (Private Automatic Branch eXchange), aussi appelé PBX, ce dernier est considéré comme une entité logique qui possède sa propre intelligence pour la commutation des appels, cette intelligence est gérée par un équipement physique qui se trouve être une unité centrale (CPU). Le PBX est le seul élément du réseau à connaître la localisation de chaque terminal téléphonique. C'est le PBX

qui centralise l'intelligence du réseau et effectue les tâches de connectivité, de mise en relation des interlocuteurs et de gestion des communications locales au réseau. Il fait office en outre de passerelle téléphonique pour les communications locales.

**I.3.2.1.3 Gestion du réseau RTC**

Il existe trois fonctions principales dans ce réseau qui s'occupent de gérer la communication :

- **La distribution**

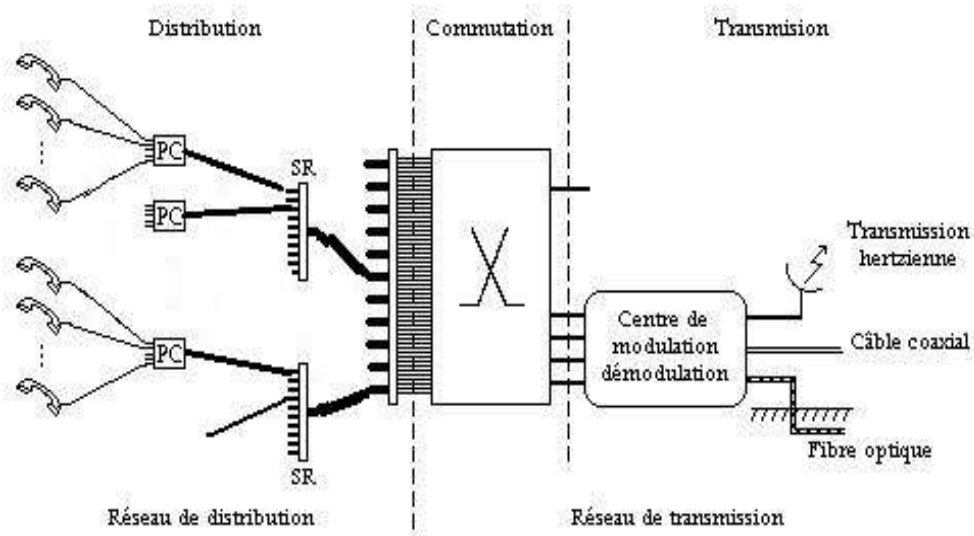
Constituée essentiellement de la liaison de l'abonné au centre de transmission de rattachement à travers une paire torsadée.

- **La commutation**

Considérée comme la partie essentielle du réseau, son rôle consiste dans la mise en place d'une liaison entre deux abonnés, le maintien de celle-ci tout au cours de l'échange et la libération des ressources matérielles à la fin de la communication.

- **La transmission**

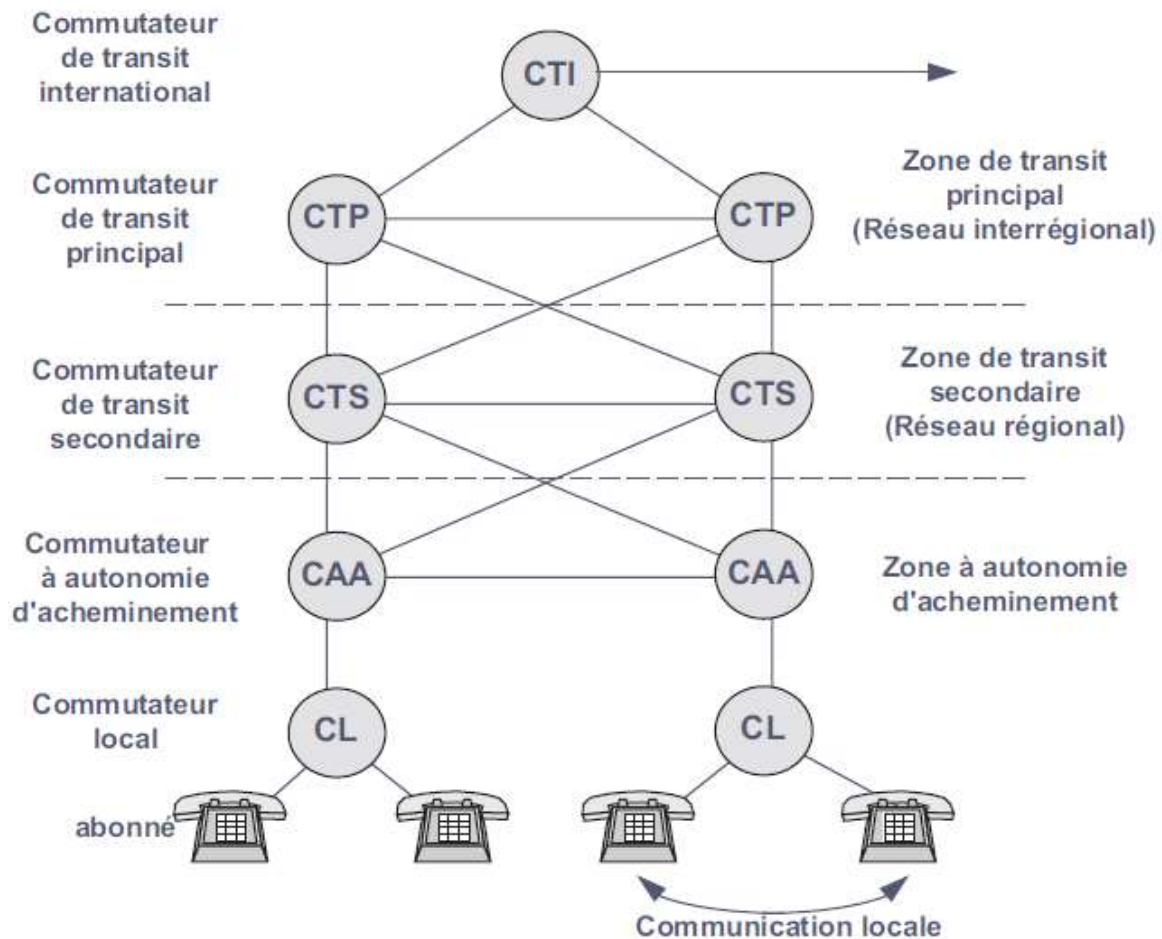
Représente la partie support de transmission dans lequel transitent les données, cette fonction est assurée soit par voie filaire, comme la paire torsadée ou la fibre optique, soit par voie hertzienne.



**Figure I.3 :** Gestion du réseau RTC.

### I.3.2.1.4. Architecture traditionnelle du RTC [6]

Le réseau téléphonique commuté a une organisation hiérarchique à trois niveaux. Il est structuré en zones, chaque zone correspond à un niveau de concentration comme le montre la figure :



**Figure I.4 :** Organisation du réseau téléphonique.

On distingue trois zones :

- **Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA)**

Cette zone, la plus basse de la hiérarchie, comporte un ou plusieurs Commutateurs à Autonomie d'Acheminement (CAA) qui eux-mêmes desservent des Commutateurs Locaux (CL). Les commutateurs locaux ne sont que de simples concentrateurs de lignes auxquels sont raccordés les abonnés finals. La ZAA (Zone à Autonomie d'Acheminement) est un réseau étoilé, elle constitue le réseau de desserte.



- **Zone de Transit Secondaire (ZTS)**

Cette zone comporte des Commutateurs de Transit Secondaires (CTS). Il n'y a pas d'abonnés reliés directement aux CTS. Le réseau étant imparfaitement maillé lorsqu'un CAA ne peut atteindre directement le CAA destinataire, ils assurent le brassage des circuits.

- **Zone de Transit Principal (ZTP)**

Cette zone assure la commutation des liaisons longues distances. Chaque ZTP (Zone de Transit Principal) comprend un Commutateur de Transit Principal (CTP), Au moins un Commutateur de Transit Principal (CTP) est relié à un Commutateur de Transit International (CTI).

### **I.3.2.1.5. Avantages et inconvénients [2]**

➤ **Avantages**

- Le RTC est très pratique pour la communication vocale grâce à la transmission point à point ;
- Le RTC public est très étendu ;
- Le RTC est full duplex, c'est-à-dire on peut émettre et recevoir en même temps, cette fonctionnalité est utilisée par les modems ;
- Le RTC est relativement peu coûteux pour des courtes distances ;
- On peut le sécuriser en utilisant le cryptage sur les lignes téléphoniques.

➤ **Inconvénients**

- Il ne transporte pas les données numériques ;
- Les équipements analogiques perturbent le signal transmis : un transistor grillé ou une résistance ayant mal vieilli dans un équipement ajoutent du bruit au signal lors de sa transmission.

### **I.3.2.2. Réseau Numérique à Intégration de Service (RNIS) [7]**

#### **I.3.2.2.1. Définition**

En anglais ISDN (Integrated Service Digital Network), RNIS est l'abréviation de « Réseau Numérique à Intégration de Service ». Un RNIS est un réseau qui fournit ou contribue à fournir plusieurs services de télécommunications différents en établissant des connexions

numériques entre interfaces usager-réseau. Le C.C.I.T.T. (Comité consultatif international télégraphique et téléphonique) a donc défini le réseau RNIS ainsi : *"Un Réseau Numérique à Intégration de Services est un réseau développé en général à partir d'un réseau téléphonique numérisé, qui autorise une connectivité numérique de bout en bout assurant une large palette de services, vocaux ou non, auquel les usagers ont accès par un ensemble limité d'interfaces polyvalentes."*

### I.3.2.2.2. Fonctionnement du RNIS

Dans un réseau téléphonique analogique, une boucle sur une paire torsadée de fils de cuivre entre le commutateur central de la compagnie de télécommunication et l'abonné supporte un canal de transmission unique. Ce canal ne traite qu'un seul service simultanément : la voix ou les données. Avec un Réseau Numérique à Intégration de Services, la même paire torsadée est divisée en plusieurs canaux logiques. [8]

#### I.3.2.2.2.1. Les canaux logiques RNIS

Le CCITT a défini la notion de « canal de communication » associé à une interface d'accès usager-réseau. Un canal représente une capacité de transfert d'information à travers l'interface d'accès. Une même ligne de raccordement physique va pouvoir transporter des informations relatives à différentes communications.

Les canaux sont regroupés en différentes classes présentant des caractéristiques communes :

- **Les canaux B**

Le canal B est un canal à 64 Kbps permettant de transmettre, tout type de "train d'information" comme :

- l'information vocale numérisée à 64 Kbps (ou à des débits inférieurs) ;
- l'information de données à commutation de circuits ou de paquets à des débits inférieurs ou égaux à 64 Kbps.

Les canaux B sont des canaux à commutation de circuits (ce qui n'interdit pas leur utilisation en mode paquets) par lesquels les abonnés peuvent communiquer.

- **Les canaux D**

Les canaux D peuvent proposer différents débits (16 Kbps en accès de base et 64 Kbps en accès primaire); ils sont à l'origine destinés au transfert de la signalisation nécessaire à la gestion des circuits mis en œuvre par la communication sur le RNIS tel que : appels, établissement des connexions, demandes de services, routage des données sur les canaux B et enfin libération des connexions. Il est aussi possible de transmettre des données utilisateur à travers les canaux D, mais comme le débit de ces canaux est limité ce type d'utilisation est rare.

Les canaux D sont des canaux à commutation de messages par lesquels peuvent aussi transiter des informations émises par les applications de l'utilisateur comme des données utilisateurs en commutation de paquets.

- **Les canaux H**

Ces canaux à moyen et haut débit ont des caractéristiques identiques à celles des canaux B ; ils offrent néanmoins un débit de  $n \times 64$  Kbps Le CCITT a retenu les structures H0 (384 Kbps), H11 (1536 Kbps) et H12 (1920 Kbps).

### **I.3.2.2.2. Les interfaces standards RNIS**

Le CCITT a défini plusieurs types de structures d'interfaces usager-réseau polyvalentes dont en particulier l'interface de base et l'interface à débit primaire.

➤ **L'interface de base**

Aussi appelée interface S/T, elle est caractérisée par :

- un débit utile de 144 Kbps réparti sur deux canaux B à 64 Kbps et un canal D à 16 Kbps pour la signalisation (on parle d'interface d'accès  $2B + D$ ) ;
- une utilisation suivant une topologie point à point ou multipoint ;
- un connecteur de raccordement normalisé à 8 plots (RJ45).

➤ L'interface à débit primaire

Elle a les caractéristiques suivantes :

- un débit utile de 1984 Kbps réparti sur 30 canaux B à 64 Kbps et un canal D à 64 Kbps (30 B + D) ;
- un débit utile de 1536 Kbps réparti sur 23 canaux B à 64 Kbps et un canal D à 64 Kbps (23 B + D).

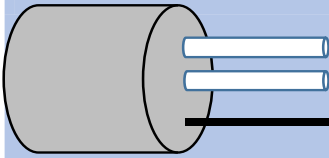
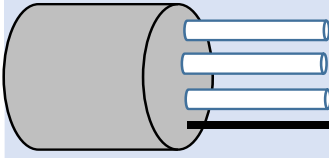
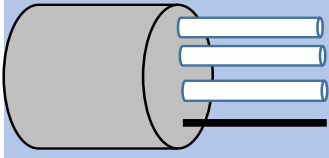
Type	Débit utile		Structure	Débit du canal D	
				16 Kbits/s	64 Kbits/s
Interface de base	144 Kbits/s		2 B + D	16 Kbits/s	64 Kbits/s
				X	
Interfaces à débit primaire	1536 Kbits/s		23 B + D		X
	1984 Kbits/s		30 B + D		X

Tableau I.1 : Principales structures des interfaces de raccordement au RNIS. [7]

I.3.2.2.3. Avantages et inconvénients

➤ Avantages

- L'utilisation de données numériques sur la boucle locale (liaison numérique de bout en bout) ;
- Offre de meilleurs débits aux utilisateurs distants ;
- Une latence moins élevée ;

- Les réseaux RNIS acheminent différents signaux de trafic (voix, données, vidéo).

### ➤ Inconvénients

- L'information passe par le réseau téléphonique commuté, et subit les tarifs du téléphone, ce qui est particulièrement pénalisant pour la longue distance ;
- Le débit d'information peut s'avérer insuffisant, surtout si l'on transfère des fichiers déjà ripés (CTP) ;
- Les constructeurs ne sont pas d'accord au niveau des normes d'agrégation des canaux.

## I.4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la téléphonie classique, en commençant par un bref historique de la téléphonie, puis nous avons illustré les deux réseaux classiques RTC et RNIS tout en présentant leurs différentes fonctions, architectures, avantages et inconvénients.

Néanmoins la téléphonie classique présente des inconvénients majeurs en matière de coût et d'infrastructure, c'est pourquoi la ToIP est apparue. Le chapitre qui suit est consacré à la ToIP et en grande partie à la VoIP, son fonctionnement et ses différents protocoles.

## **II.1. Introduction**

L'apparition d'internet due au développement continu des domaines de télécommunication et de l'informatique se trouve être à la source de l'émergence de la ToIP (Telephony over Internet Protocol). Cette dernière vise le transport de la voix sur le réseau IP (Internet Protocol), en mode paquet, par le biais de la technique VoIP (Voice over IP) qui présente des avantages majeurs en matière de réduction des coûts et de flexibilité.

Ce chapitre vise dans un premier lieu à appréhender les mécanismes de ces deux technologies et à comprendre la différence entre elles. Dans un second lieu nous allons présenter les protocoles, associés à la VoIP, qui permettent la signalisation et le transport de données.

## **II.2. Théorie de la ToIP**

### **II.2.1. Définition**

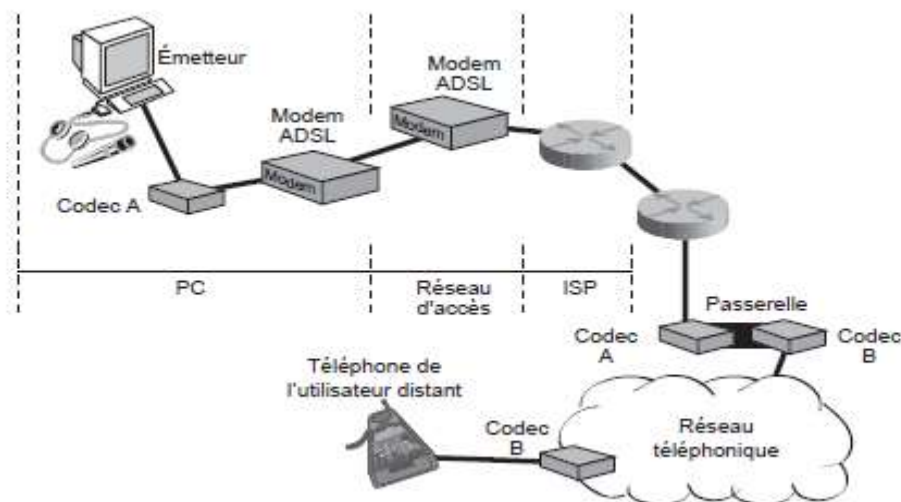
Tout d'abord, il convient de préciser que le terme téléphonie sur internet ou téléphonie IP correspond à la téléphonie utilisant la communication par paquets et les technologies liées à l'internet [9]. La téléphonie sur IP est un service de téléphonie fourni sur un réseau de télécommunication ouvert au public ou privé. Cette technologie permet d'utiliser une infrastructure existante de réseau IP pour raccorder des terminaux IP que l'on nomme IP-PHONE, ainsi que des logiciels sur PC raccordés sur le même réseau IP que l'on nomme SOFTPHONE [10]. S'appuyant principalement sur la technique de VoIP, la téléphonie sur IP définit l'utilisation du réseau IP, pour mettre en œuvre une communication entre des individus, de telle sorte à avoir un seul réseau pour la voix et les données.

### **II.2.2. Etapes de déroulement d'une communication téléphonique sur IP [1]**

Le déroulement d'une communication téléphonique sur IP parcourt les cinq grandes étapes suivantes :

### II.2.2.1. Mise en place de la communication

Une signalisation démarre la session. Le premier élément à considérer est la localisation du récepteur (User Location). Elle s'effectue par une conversion de l'adresse du destinataire (adresse IP ou adresse téléphonique classique) en une adresse IP d'une machine qui puisse joindre le destinataire (qui peut être le destinataire lui-même). Le récepteur peut être un combiné téléphonique classique sur un réseau d'opérateur télécoms ou une station de travail (lorsque la communication s'effectue d'un combiné téléphonique vers un PC). Le protocole DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) et les passerelles spécialisées (gatekeeper) sont employés à cette fin.



**Figure II.1 :** les équipements à traverser par une communication téléphonique sur IP.

### II.2.2.2. Établissement de la communication

Cela passe par une acceptation du terminal destinataire, que ce dernier soit un téléphone, une boîte vocale ou un serveur Web. Plusieurs protocoles de signalisation sont utilisés pour cela, en particulier le protocole SIP (Session Initiation Protocol). Comme son nom l'indique, SIP est utilisé pour initialiser la session. Une requête SIP contient un ensemble d'en-têtes, qui décrivent l'appel, suivis du corps du message, qui contient la description de la demande de session. SIP est un protocole client-serveur, qui utilise la syntaxe et la sémantique de HTTP. Le serveur gère la demande et fournit une réponse au client.

Trois types de serveurs gèrent différents éléments : un serveur d'enregistrement (Registration Server), un serveur relais (Proxy Server) et un serveur de redirection (Redirect Server). Ces

serveurs travaillent à trouver la route : le serveur proxy détermine le prochain serveur (Next-Hop Server), qui, à son tour, trouve le suivant, et ainsi de suite. Des champs supplémentaires de l'en-tête gèrent des options, comme le transfert d'appel ou la gestion des conférences téléphoniques.

### **II.2.2.3. Transport de l'information téléphonique**

Le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) prend le relais pour transporter l'information téléphonique proprement dite. Son rôle est d'organiser les paquets à l'entrée du réseau et de les contrôler à la sortie de façon à reformer le flot avec ses caractéristiques de départ (vérification du synchronisme, des pertes, etc.). C'est un protocole de niveau transport, qui essaye de corriger les défauts apportés par le réseau.

### **II.2.2.4. Changement de réseau**

Un autre lieu de transit important de la ToIP est constitué par les passerelles, qui permettent de passer d'un réseau à transfert de paquets à un réseau à commutation de circuits, en prenant en charge les problèmes d'adressage, de signalisation et de transcodage que cela pose. Ces passerelles ne cessent de se multiplier entre FAI et opérateurs télécoms.

### **II.2.2.5. Arrivée au destinataire**

De nouveau, le protocole SIP envoie une requête à la passerelle pour déterminer si elle est capable de réaliser la liaison circuit de façon à atteindre le destinataire. En théorie, chaque passerelle peut appeler n'importe quel numéro de téléphone. Cependant, pour réduire les coûts, mieux vaut choisir une passerelle locale, qui garantit que la partie du transport sur le réseau téléphonique classique est le moins cher possible.

## **II.2.3. Avantages de la ToIP [11]**

La téléphonie n'a jamais été une application simple. Les contraintes temps réel et de synchronisation pèsent lourdement sur sa mise en œuvre, et la téléphonie par paquet ne fait que compliquer le transport. Cependant, plusieurs raisons expliquent le succès de la téléphonie par paquet, et plus spécifiquement de la téléphonie sur IP :

- **Convergence**

Quel que soit le type de données véhiculées, le réseau est unique : les flux de voix, de vidéo, de textes et d'applicatifs transitent sur le même réseau. Les communications deviennent plus



riches. Les utilisateurs peuvent, par exemple, envoyer un compte rendu d'activité en même temps qu'ils téléphonent à leur correspondant. En entreprise, la productivité est améliorée. Pour les administrateurs, un seul réseau est à administrer, ce qui simplifie grandement la gestion ;

- **Optimisation des ressources**

Le réseau IP utilisant un transfert de paquets, l'utilisation des ressources est optimisée en comparaison des solutions de type commutation de circuits. Dans le réseau RTC, qui est à commutation de circuits, des ressources sont dédiées pour toute la durée de la communication, qu'elles soient utilisées ou non. Or les très nombreux silences d'une conversation téléphonique rendent le dimensionnement du canal réservé systématiquement trop grand. Pour que la voix supporte simultanément la superposition des deux paroles correspondant aux deux intervenants d'une communication téléphonique (full-duplex), les réseaux RTC doivent allouer pour chaque intervenant des canaux différents, l'un en émission, l'autre en réception. Dans la pratique, lors d'une conversation téléphonique, une seule personne parle en même temps. Les ressources sont donc globalement gaspillées. C'est pourquoi la réservation effectuée dans les réseaux RTC représente un coût nettement supérieur à celui des réseaux IP ;

- **Coût de transport quasiment nul**

Grâce à l'intégration de la téléphonie parmi de nombreuses autres applications, le coût du transport devient pratiquement nul. Le réseau permettant d'effectuer le transport est le réseau cœur des opérateurs, celui qui effectue tous les transports de données. Ces opérateurs, qui étaient auparavant obligés de maintenir au moins deux réseaux, celui de téléphonie et celui de données, n'en ont plus qu'un seul à maintenir ;

- **Services exclusifs**

Certains services sont propres aux réseaux IP. Par exemple, le service de présence, consistant à détecter si un utilisateur est connecté au réseau ou non, ne nécessite aucune réservation de ressources dans un réseau IP, à la différence du réseau RTC ;

- **Disparition des commutateurs locaux**

Liée à la précédente, cette nouvelle donne résulte de la possibilité de gérer les téléphones depuis le réseau de l'opérateur. Des solutions intermédiaires, comme les PBX-IP, permettent de passer petit à petit des circuits numériques aux liaisons paquet IP.

## II.3. La voix sur IP

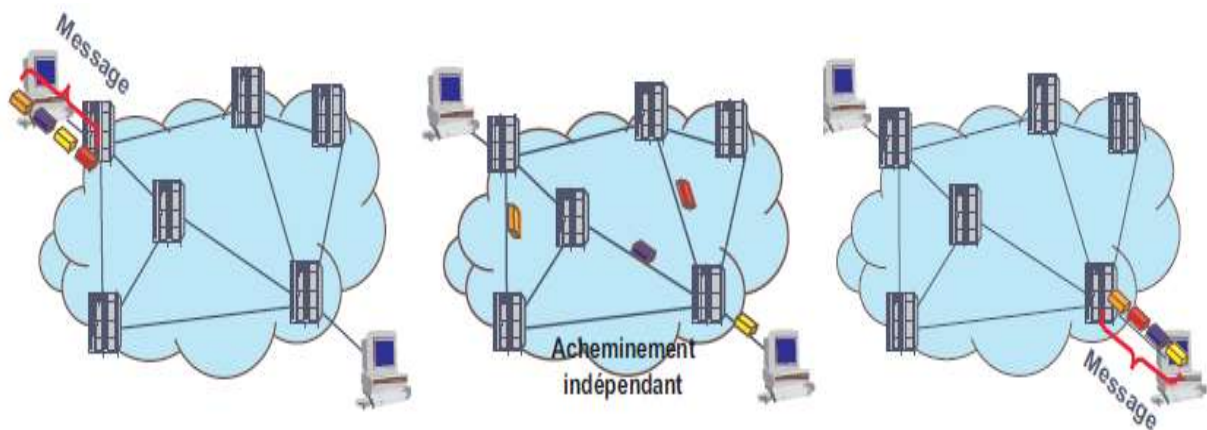
### II.3.1. Définition

La voix sur IP, comme son nom l'indique, est le fait de transmettre de la voix sur un réseau IP qui transporte les données sous forme de paquets. La voix est soumise à des traitements spécifiques afin qu'elle puisse être envoyée sur un réseau IP, elle est digitalisée, compressée puis envoyée au récepteur par paquets de données. Les données reçues par le destinataire sont décompressées et converties en voix audible. [12]

Dans les réseaux à commutation de circuits comme le RTC traditionnel ou le RNIS numérique plus récent, une connexion physique est établie et maintenue pendant toute la durée d'une communication. En revanche, aucune connexion physique permanente n'est établie dans les réseaux par paquets. Pour la VoIP, cependant, les périphériques en communication aux points finaux établissent une connexion en utilisant les protocoles correspondants. [13]

### II.3.2. Principe de la commutation de paquets [14]

La commutation de paquets utilise une technique dans laquelle le message est découpé en fragments (paquets) de petite taille. Chaque paquet est acheminé dans le réseau indépendamment du précédent. Dans la transmission en mode paquet il n'y a pas de stockage d'information dans les nœuds intermédiaires. Chaque nœud, recevant un paquet, le réémet immédiatement sur la voie optimale. De ce fait, le séquençement des informations n'est plus garanti. Pour reconstituer le message initial, le destinataire devra, éventuellement, réordonner les différents paquets avant d'effectuer le réassemblage.



**Figure II.2 :** Principe de la commutation de paquets.

Ce mode de transfert optimise l'utilisation des ressources, les paquets de différentes sources sont multiplexés sur un même circuit. Cependant, chaque paquet doit contenir les informations nécessaires à son acheminement. La ressource offerte est banalisée et non attribuée à une communication particulière comme dans la commutation de circuits.

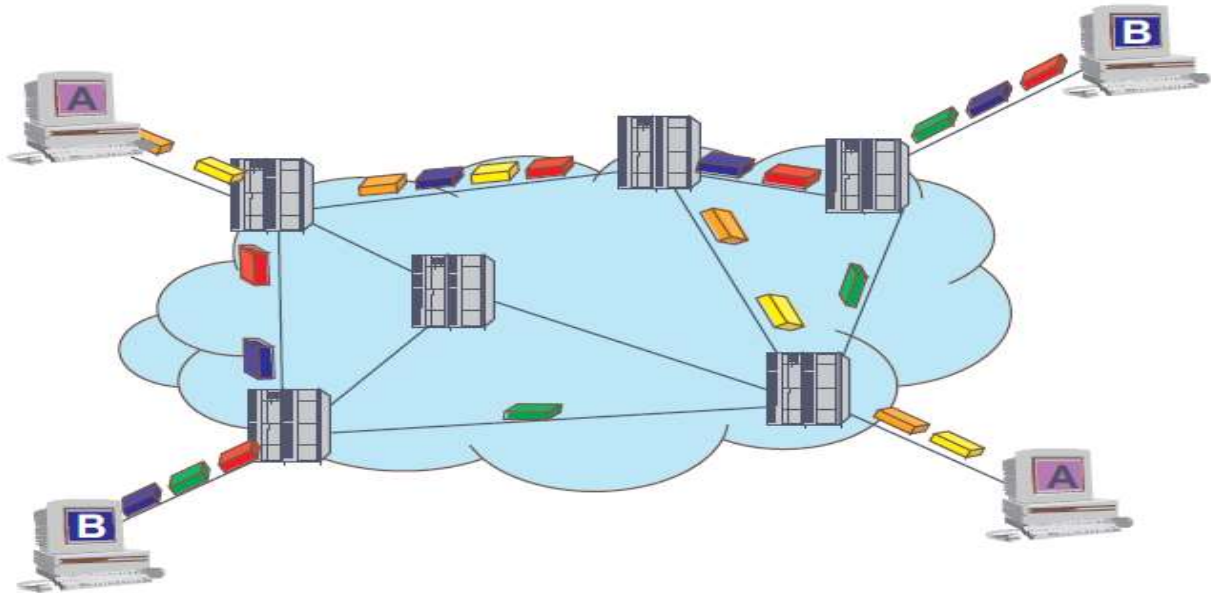


Figure II.3. Le multiplexage des sources dans le réseau.

### II.3.3. Principe de fonctionnement de la VoIP

Contrairement à la téléphonie classique, la voix sur IP repose sur deux principes fondamentaux :

❖ **Transmission asynchrone et multiplexage statistique [15]**

A moins que vous ayez quelque chose de vraiment important à dire, vous ne parlez que la moitié du temps dans une conversation. En fait, comme nous avons tous besoin de réfléchir un peu avant de répondre, chaque locuteur ne parle en moyenne que 35% du temps au cours d'une conversation.

La plupart des techniques utilisées pour transformer la voix en données (les codeurs-décodeurs ou codecs) savent en fait détecter automatiquement les périodes de silence. Vous pouvez ne transmettre l'information que lorsque vous parlez, c'est-à-dire de manière asynchrone au lieu de transmettre de l'information toutes les 125  $\mu$ s, voix ou silence, comme c'est le cas aujourd'hui sur les réseaux TDM.

Ainsi, lorsque plusieurs conversations empruntent un même canal de transmission de données, au lieu d'occuper tout le temps une fraction de la capacité de transmission disponible,

chacune ne l'occupe que lorsque l'un des interlocuteurs parle, une autre conversation peut utiliser cette capacité le reste de temps. C'est ce que l'on appelle le multiplexage statistique, par opposition au multiplexage temporel.

Le principal avantage du multiplexage statistique est bien sûr l'utilisation plus efficace de la capacité de transmission lorsque plusieurs conversations sont multiplexées sur la même ligne.

Tous les futures réseaux de télécommunication utiliseront le multiplexage statistique, et mêleront les données issues de conversations vocales, de vidéo et celle provenant d'applications informatiques sur un seul réseau. De nombreuses technologies sont candidates, comme la voix sur relais de trames (Frame Relay), la voix sur cellules ATM, et bien sûr... la voix sur paquets IP.

Il est maintenant assez clair que la voix sur IP est la solution la plus flexible, car elle ne demande pas, à la différence des technologies ATM ou de relais de trames, l'établissement de canaux virtuels (virtual channels) permanents entre locuteurs potentiels. Grâce à cette propriété, elle s'adapte bien mieux aux grands réseaux reliant des millions de points de communications potentiels. Le marché très dynamique s'est établi autour de la technologie IP rend aussi possible des communications vocales IP de bout en bout : il existe aujourd'hui de nombreux commutateurs privés utilisant la voix sur IP, et l'on trouve aussi des téléphones purement IP. De tels équipements n'existent ni pour les réseaux ATM ni pour les réseaux relais de trames.

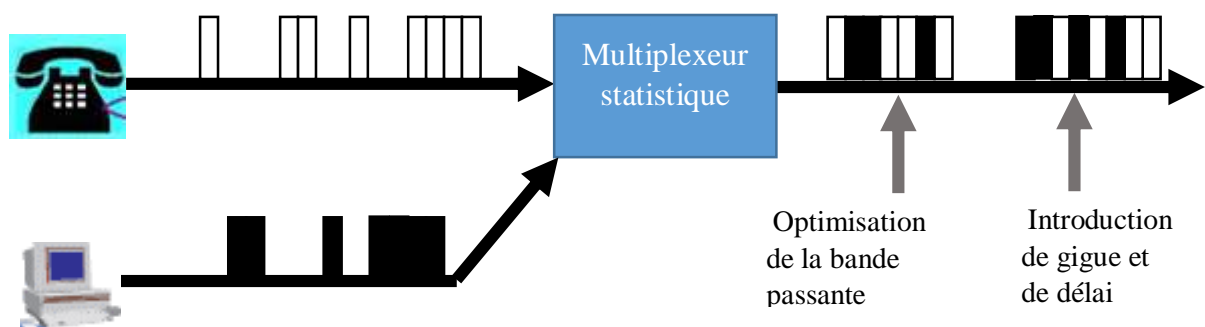


Figure II.4 : le multiplexage statique et ses effets sur le transport de la voix.

## II.3.4. Codecs

### II.3.4.1. Définition

Tous les types de flux média, sous forme de données, peuvent transiter par le biais du réseau IP, mais il faut auparavant convertir ces données analogiques sous forme de données digitales. C'est là le rôle des codecs.

### II.3.4.2. Objectifs des codecs

Quelques-uns des paramètres importants des codecs sont présentés ci-dessous :

#### ➤ Compression de silence

Pendant une conversation, nous ne parlons en général que 35 % du temps, et par conséquent il est très utile de pouvoir supprimer ces périodes de silence. Dans les conversations de point à point, cela permet d'économiser jusqu'à 50 % de la bande passante, et beaucoup plus pour des conversations multipoint. La compression de silence comprend trois composants principaux :

- La détection d'activité vocale (Voice Activity Detection, VAD), responsable de la discrimination des périodes d'activité vocale et de silence. Elle doit avoir un temps de réponse court (sinon le premier mot d'une période d'activité vocale risque de se perdre, et des périodes de silence inutile risquent de rester attaché à la fin des périodes actives), sans toutefois risquer d'être activée aléatoirement par du bruit de fond ;
- La transmission discontinue (Discontinuous Transmission, DTX) est la capacité d'un codec à stopper la transmission d'information quand le module VAD a détecté une période de silence ;
- La génération de bruit de confort (Comfort Noise Generation, CNG) qui vise, lorsque l'un des participants ne s'exprime pas et que la transmission est donc stoppée, à recréer une ambiance sonore au niveau de l'autre participant.

#### ➤ Robustesse en présence de pertes des paquets

La perte de paquets est inévitable, à des degrés divers, sur les réseaux IP, et les délais de latence courts imposés par la voix et la vidéo interactive ne permettent pas de demander des réémissions. Puisque les paquets contiennent des trames de codecs, cela cause des pertes de trames vu du codec. Cela dit les pertes de paquets et les pertes de trames ne sont pas directement corrélées, de nombreuses techniques de redondance permettant de diminuer les pertes de trame

pour une perte de paquets donnée. Ces techniques comme le FEC (Forward Error Correction), répliquent l'information utile sur plusieurs paquets afin que la perte d'un seul paquet ne provoque pas de perte d'information.

### II.3.4.3. Codeurs audio utilisés en VoIP

#### ➤ G.711

Approuvé en 1965, le G.711 est le grand-père des codeurs audio. Il est utilisé par le réseau d'accès RNIS et dans tous les cœurs de réseaux téléphoniques modernes.

Un flux audio codé en G.711 produit un flux de données de 64 Kbps, où chaque échantillon est codé sur un octet indépendant, en conséquence la taille de trame est de seulement 125  $\mu$ s. Bien sûr, toutes les applications VoIP mettent plus d'un échantillon par paquet, en général l'équivalent de 10 ms de parole (soit 80 échantillons). Le score MOS habituellement attribué à G.711 est de 4,2.

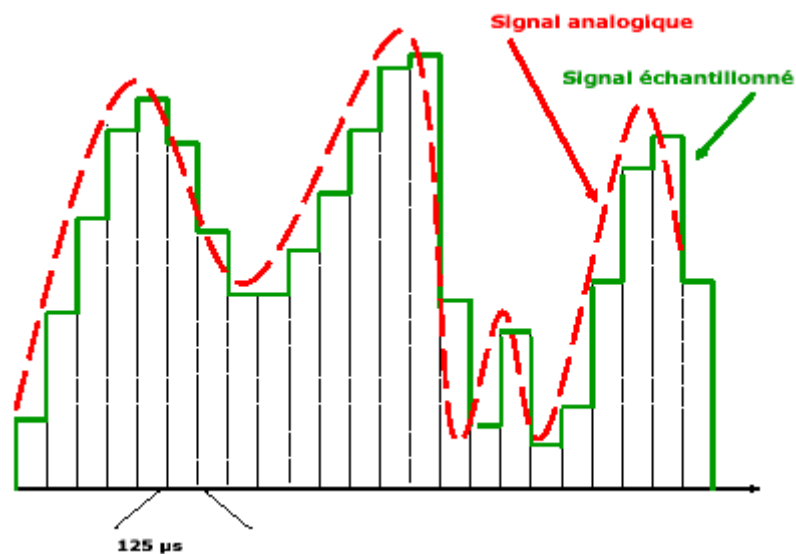


Figure II.5 : échantillonnage G.711 [16].

#### ➤ G.722

G.711 restitue une bonne qualité de parole, mais la partie du spectre au-delà de 4 kHz reste coupée. G.722 fournit un codage large bande de meilleure qualité incluant le spectre jusqu'à 7 kHz. Les débits disponibles sont de 48, 56 ou 64 Kbps. Ce codeur permet de commuter à tout instant entre ces débits. G.722 est un codeur tout à fait adapté pour les applications de conférence professionnelles.

### ➤ G.722.1

Ce codeur plus récent, également large bande, fonctionne à 24 Kbps ou 32 Kbps. Il en existe également une version à 16 Kbps qui est supportée par Windows Messenger. Le G.722.1 génère des trames de 20 ms.

### ➤ G.723.1

Au début de la voix sur internet, ce codeur a été choisi par le Forum VoIP comme le codeur par défaut en communication faible débit sous H.323.

G.723.1 utilise une taille de trame de 30 ms. Il fonctionne sur deux modes, l'un à 6,4 Kbps sur 24 octets, et l'autre à 5,3 Kbps sur 20 octets.

G.723.1 obtient un score MOS de 3,7 en mode 5,3 Kbps, et 3,9 en mode 6,4 Kbps. Ce codeur possède une détection d'activité vocale (VAD), un mode de transmission discontinue (DTX) et une génération de bruit de confort (CNG).

Le silence est codé dans des trames de seulement 4 octets, pour un débit de 1,1 Kbps. Au cas où l'information de silence n'a pas besoin d'être mise à jour, la transmission s'arrête complètement.

### ➤ G.729

Il est devenu, avec G.723, l'un des codeurs les plus utilisés en voix sur IP. G.729 n'est pas conçu pour la musique, et ne transmet pas les tonalités DTMF de manière fiable.

G.729 code des trames de 10 ms de parole. Chaque trame compte 80 bits, le débit d'information produit est donc de 8 Kbps. G.729 obtient un score MOS de 4,0.

### II.3.5. Architecture de VoIP [10]

La VoIP étant une nouvelle technologie de communication, elle n'a pas encore de standard unique. En effet, chaque constructeur apporte ses normes et ses fonctionnalités à ses solutions.

Le schéma ci-dessous, décrit de façon générale la topologie d'un réseau de téléphonie IP dit VoIP. Elle comprend toujours des terminaux, un serveur de communication et une passerelle vers les autres réseaux. L'intelligence du réseau est aussi déportée soit sur les terminaux, soit sur les passerelles/Gatekeeper (contrôleur de commutation). On retrouve généralement les éléments suivants :

- **Le routeur** : Il permet d'aiguiller les données et le routage des paquets entre deux réseaux.
- **Le PABX** : C'est le commutateur du réseau téléphonique classique. Il permet de faire le lien entre la passerelle ou le routeur et le réseau RTC. Une mise à jour du PABX est

aussi nécessaire. Si tout le réseau devient IP, il n'y a plus besoin de ce matériel, on parle alors de IPBX.

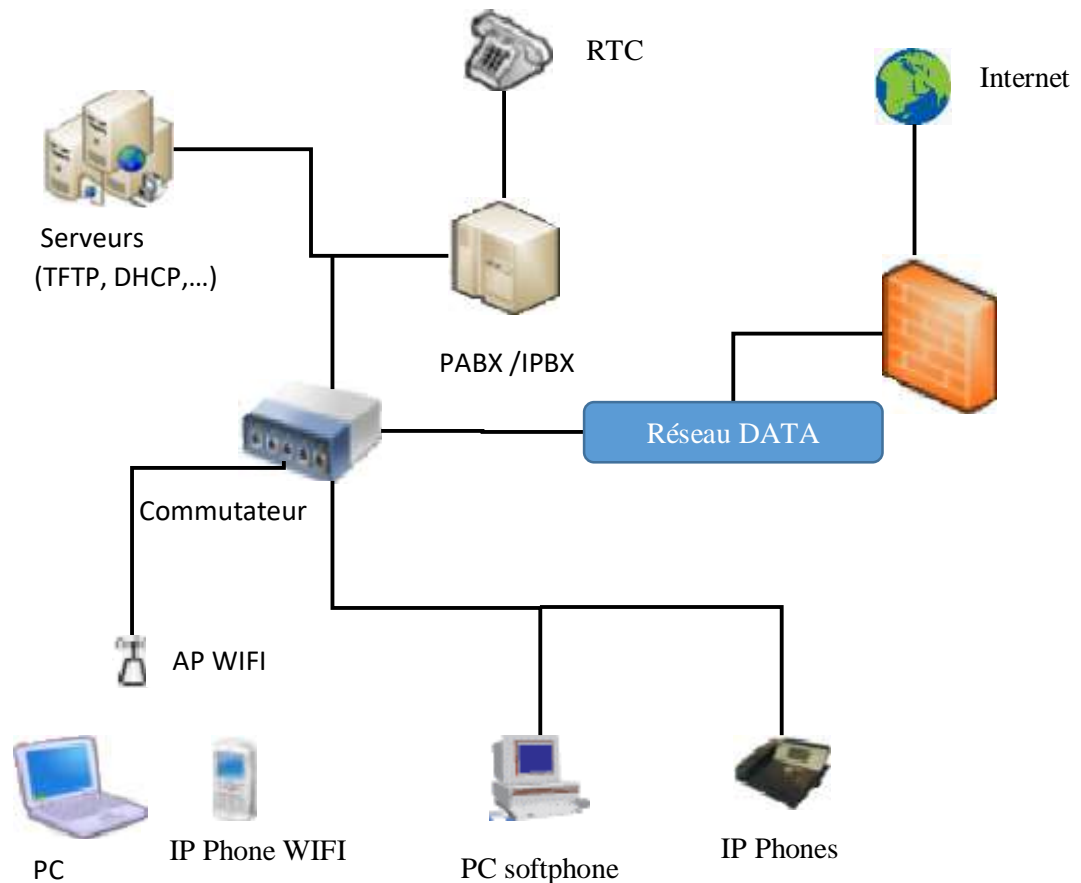
- **Les Terminaux** : On compte généralement deux types de terminaux :
  - Type logiciel (software phone) qui s'installe dans le PC de l'utilisateur ;
  - Type matériel (hardphone) qui se trouve être un téléphone IP utilisant la technologie de la Voix sur IP pour permettre le passage des données à travers le réseau IP au lieu des réseaux traditionnels.

- **Gateway et Gatekeeper**

Les passerelles ou gateways en téléphonie IP sont des ordinateurs qui fournissent une interface où se fait la convergence entre les réseaux téléphoniques commutés (RTC) et les réseaux basés sur la commutation de paquets, assurent les fonctions de codage, décodage et la mise en paquet de la voix et disposent d'interface d'interconnexion analogique et numérique. C'est une partie essentielle de l'architecture du réseau de téléphonie IP. Le gatekeeper est l'élément qui fournit de l'intelligence à la passerelle. Le gatekeeper est le compagnon logiciel de la Gateway. Le gatekeeper répond aux aspects suivants de la téléphonie IP :

- Le routage des appels : en effet, le gatekeeper est responsable de la fonction de routage. Non seulement, il doit tester si l'appel est permis et faire la résolution d'adresse mais il doit aussi rediriger l'appel vers le bon client ou la bonne passerelle ;
- Administration de la bande passante : le gatekeeper alloue une certaine quantité de bande passante pour un appel et sélectionne les codecs à utiliser ;
- 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 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.





**Figure II.6 :** Architecture voix sur IP.

### II.3.6. Les contraintes de la VoIP

Les réseaux IP basés principalement sur la transmission en temps réel, se démarquent progressivement des réseaux du meilleur effort en convergeant vers les réseaux avec qualité de service (QoS) [13]. Le seul souci est d'acheminer les paquets de données d'un point à un autre au travers du réseau, sans erreur et sans rien perdre. Les paquets d'une même transaction peuvent emprunter des chemins différents, ce qui peut se traduire par un déséquencement des paquets, les plus anciens arrivant après les plus récents dans les cas extrêmes [16]. Les principaux paramètres qui caractérisent la qualité de service d'un réseau de transport de données en mode paquet sont :

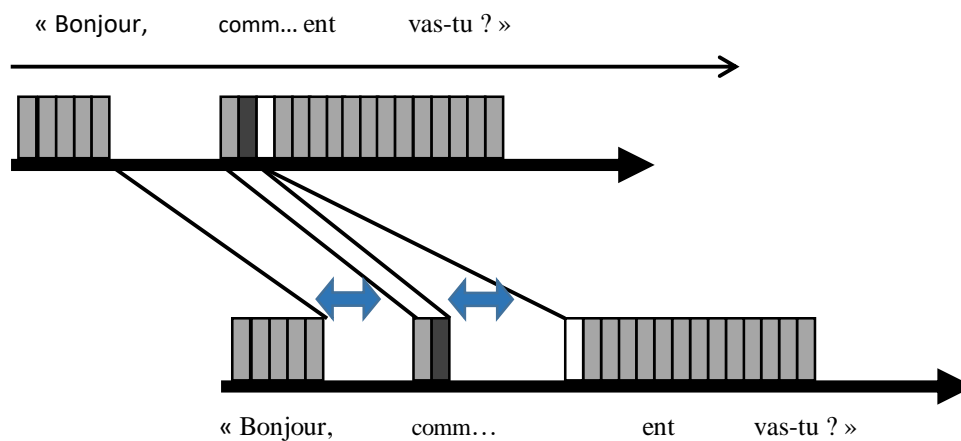
#### II.3.6.1. La gigue

Les réseaux utilisant la commutation temporelle introduisent un délai constant dans la conversation. La situation est totalement différente dans les réseaux utilisant le multiplexage

statistique : si la ligne de transmission est vide lorsque vous devez émettre les données, vous pouvez les transmettre immédiatement, par contre si elle est déjà occupée, vous devrez attendre que de la capacité soit de nouveau disponible.

Ce délai variable est appelé la gigue, et doit bien sûr être compensé au niveau de récepteur. Si, au contraire, on relie les signaux de parole dès qu'on les reçoit, le flux de parole original peut devenir intelligible, comme cela est illustré dans la figure II.7.

Le contrôle de la gigue est important principalement pour les applications temps réel qui nécessitent l'utilisation de mémoires tampons (buffer de gigue) afin de restituer de manière régulière une information qui arrive de manière irrégulière. Plus il y a de gigue, plus ces mémoires tampons doivent être importantes, et par conséquent plus elles introduisent des délais supplémentaires dans le flux d'information de bout en bout.



**Figure II.7 :** Effet de la gigue sur la voix.

### II.3.6.2. Perte de paquets

Pour réaliser une transmission de la voix sur IP, le signal vocal doit être compressé à l'aide d'algorithmes spéciaux beaucoup plus élaborés qu'en téléphonie classique. Ensuite, l'information à transmettre est découpée en paquets, à raison de 20 à 30 ms de parole par paquet, avant l'envoi sur le réseau IP [17]. Les pertes de paquet IP se traduisent par des ruptures au niveau de la conversation avec des dégradations du signal de la parole [8]. La perte d'un paquet se produit en effet généralement lorsqu'il y a une congestion sur un lien de transmission, qui provoque un débordement des mémoires tampons d'un routeur. [19]

### II.3.6.3. Le délai de transit [20]

Le délai de transit (ou end-to-end delay dans la dénomination anglo-saxonne) est un des paramètres critiques influençant fortement la QoS d'un service de voix sur IP. C'est le temps que va mettre en moyenne un paquet IP contenant un échantillon de voix pour traverser l'infrastructure entre deux interlocuteurs. Ce temps de transit comporte quatre composantes :

➤ **Le délai d'échantillonnage**

Est la durée de numérisation de la voix à l'émission puis de conversion en signal voix à la réception. Ce temps dépend du type de codec choisi et varie de quelques millisecondes avec le codec G.711 (échantillonnage 64 kbps) à plus de 50 ms en G.723 (échantillonnage 6,3 ou 5,3 kbps). C'est une des raisons pour laquelle le choix du codec impacte le score MOS d'appréciation de la clarté de la voix, indépendamment des autres caractéristiques de l'infrastructure. [17]

➤ **Le délai de propagation**

Est la durée de transmission en ligne des données numérisées. Cette durée est normalement très faible par rapport aux autres composantes du délai de transit, de l'ordre de quelques millisecondes.

➤ **Le délai de transport**

Est la durée passée à traverser les routeurs, les commutateurs et les autres composants du réseau et de l'infrastructure de téléphonie IP. L'ordre de grandeur est de plusieurs dizaines de millisecondes, voir centaines de millisecondes.

➤ **Le délai des buffers de gigue**

Est le retard introduit à la réception en vue de lisser la variation de temps de transit, et donc de réduire la gigue de phase. L'ordre de grandeur est de 50 ms. Les éléments d'infrastructure, notamment les routeurs, peuvent également mettre en œuvre des buffers de gigue.

### II.3.7. Avantages de la VoIP [21]

On avait prédit la fin de la téléphonie traditionnelle et la seule option disponible à ce jour et de qualité égale (voir supérieure) est la téléphonie VoIP. Nous citons quelques avantages de la technique VoIP :

- Elle permet de regrouper, sur un même réseau, toutes les données et outils nécessaires aux besoins en communications de la société moderne. Une combinaison parfaite entre

mode de communication traditionnel, nouvelles technologies et technologies de demain ;

- Grace à la VoIP, plus besoin de s'encombrer de terminaux divers et variés. Toutes les données de l'utilisateur seront mises à jour sur le même réseau. Vous pourrez accéder à toutes vos applications comme le téléphone, la messagerie, les fax... facilement tout en gagnant en sécurité et en simplifiant vos infrastructures ;
- On parle aussi de la mobilité infinie des utilisateurs de la téléphonie VoIP. Plus besoin de rester scotché à un téléphone filaire pour recevoir ou passer des appels depuis son numéro de fixe. Désormais, depuis n'importe quel dispositif connecté à internet et surtout, depuis n'importe quel endroit dans le monde, l'utilisateur peut utiliser sa ligne téléphonique VoIP ;
- L'atout majeur, est l'économie réalisée sur les factures téléphoniques. Passer à la téléphonie VoIP représente un investissement personnel mais pas financier. Grâce à la baisse des tarifs des abonnements internet et aux forfaits d'appels vers de nombreux pays, cette solution est beaucoup plus économique que la téléphonie filaire.

#### **II.4. La différence entre VoIP et ToIP**

Les deux approches doivent être distinguées (figure II.8). La première, consiste à transporter la voix traditionnelle sur un réseau IP, nous l'appellerons voix sur IP (VoIP, Voice over IP). La seconde utilise le protocole IP de bout en bout, les téléphones (IP phone) sont directement connectés à un LAN IP, c'est la téléphonie sur IP (ToIP, Telephony over IP). [6]

C'est au niveau de leur champ d'action que les différences sont à rechercher. La VoIP exerce son action sur les transmissions de signal vocal entre l'entreprise et le standard central de l'opérateur téléphonique. La ToIP est quant à elle un système de téléphonie qui se limite au réseau IP local. [22]

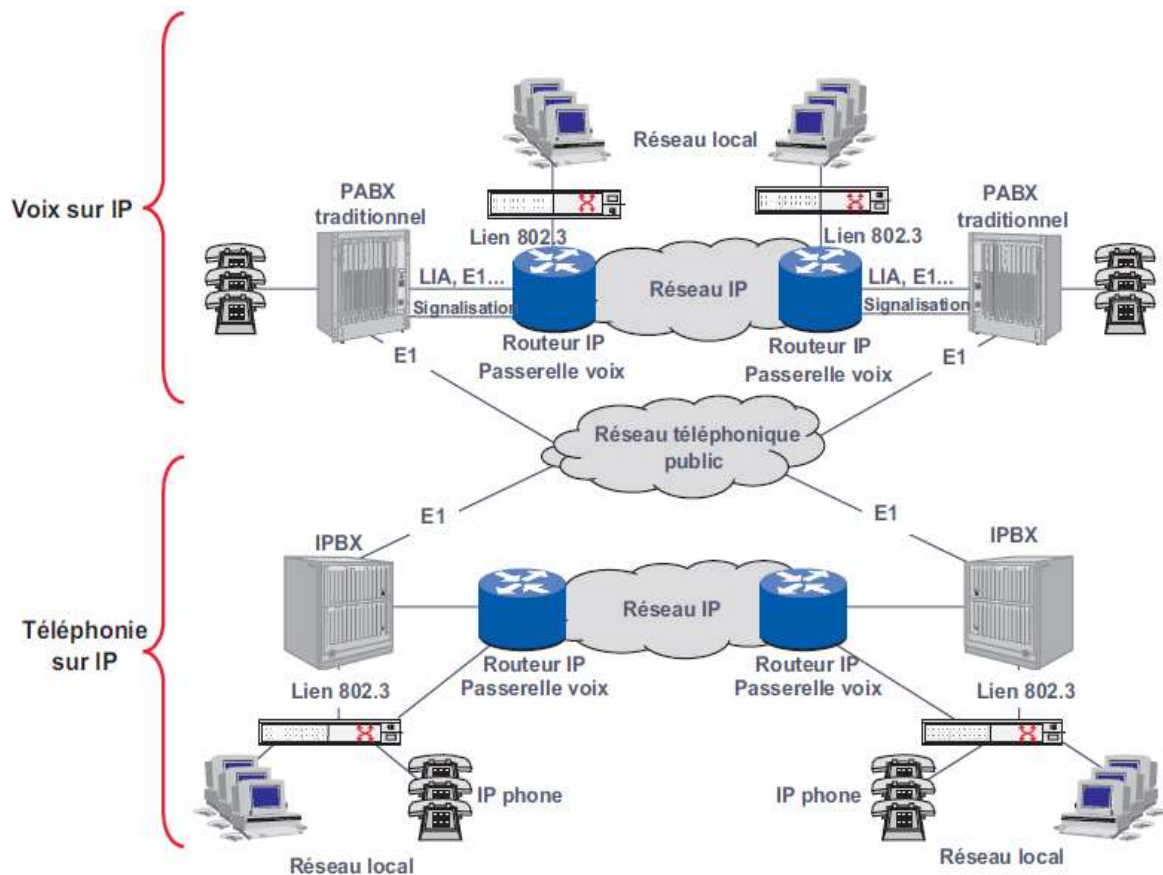


Figure II.8 : La différence entre VoIP et ToIP. [6]

## II.5. Les protocoles associés à la VoIP

Le facteur majeur qu'on doit prendre en compte lorsqu'on veut transporter la voix est le respect des contraintes temporelles. Il faut alors penser à implémenter un mécanisme de signalisation et de transport pour assurer la connexion entre les utilisateurs. Plusieurs protocoles de VoIP ont vu le jour. Les protocoles les plus utilisés à nos jours sont répartis selon le besoin, d'une part on a ceux de la signalisation comme le H.323 et SIP, d'autre part ceux du transport comme le RTP et RTCP. Le protocole H.323 a été élaboré dans le milieu des Télécommunications à l'inverse du protocole SIP qui a été développé dans le milieu informatique. On s'intéressera alors dans ce qui suit à étudier ces protocoles.

### II.5.1. Transport de la voix sur IP avec les protocoles RTP et RTCP

RTP, littéralement « protocole de transport temps réel » (Real-Time Transport Protocol) et RTCP (Real-Time Transport Control Protocol) sont deux protocoles qui ont été utilisés pour le

transport de flux média sur réseau IP depuis les premières applications de conférence disponibles sur internet [15]. Le protocole RTP a été proposé dans le but de la reconstitution de l'ordre du flux d'origine. Pour sa part, RTCP a été conçu pour offrir une vision de l'état du réseau et permettre à une application d'adapter les flux en conséquence. [1]

### **II.5.1.1. Le protocole RTP**

#### **II.5.1.1.1. Définition**

Le protocole RTP a été conçu pour permettre aux logiciels de réception de compenser la gigue et les éventuels changements d'ordre de paquets introduits par le réseau de transport IP. RTP peut être utilisé pour n'importe quel type de données temps réel, comme la voix ou la vidéo. Le protocole RTP permet le transport de données isochrones à travers un réseau de paquets qui introduit de la gigue et peut également changer l'ordre d'émission des paquets [19]. RTP est utilisé pour le transport de bout en bout de flux ayant des contraintes temporelles fortes, typiquement pour les flux multimédias avec interactivité, tel le service de téléphonie sur IP. [11]

#### **II.5.1.1.2. Fonctionnalités [1]**

RTP permet de reconstituer les propriétés temps réel des flux médias en opérant sur deux niveaux, la synchronisation des flux d'un côté et la reconstitution de l'ordre des paquets émis et la détection des pertes de paquets de l'autre. Nous citons les principales fonctionnalités :

- **Synchronisation des flux**

Si l'audio et la vidéo sont transmis séparément, le destinataire doit jouer la séquence audio de façon que cette dernière coïncide avec la séquence vidéo. Pour cela, RTP ajoute aux paquets émis une estampille de date, appelée horodatage, ou timestamp. Cette estampille indique le moment où le paquet a été émis, ce qui permet de reproduire les mêmes délais interpaquet et de jouer les paquets audio et vidéo de manière synchronisée.

- **Reconstitution de l'ordre des paquets émis et détection des pertes de paquets**

Les paquets IP sont transmis indépendamment les uns des autres. En conséquence, leur ordre d'arrivée chez le destinataire n'est pas forcément conforme à leur ordre d'émission. Or cet ordre est indispensable pour reconstituer le message initial et le rendre intelligible à un auditeur. En recevant plusieurs paquets, le destinataire doit savoir lequel jouer avant les autres. Pour cela, un numéro de séquence qui s'incrémente progressivement est affecté à chaque paquet. Ce

numéro permet de déterminer un ordre de préséance des paquets. Par effet de bord, il permet de déterminer quels sont les paquets qui ont été perdus. Si les paquets numérotés  $i$  et  $i + 2$  sont reçus, passé un délai d'attente maximal, le terminal récepteur en déduit que le paquet numéroté  $i + 1$  est manquant.

### II.5.1.1.3. Format des paquets RTP

Voici une courte description de chaque champ d'un paquet au format RTP :

V=2	P	X	CC	M	Type de contenu	Numéro de séquence
Marqueur temporel (horodatage)						
Identificateur de source de synchronisation (SSRC)						
Identificateur de source contributive (CSRC pas utilisé en H.323 ou SIP)						

**Tableau II.1** : Format de l'en-tête RTP. [11]

Voici des courtes descriptions de chaque champ de l'en-tête RTP :

- V pour version (sur 2 bits) : indique la version du protocole RTP utilisée ;
- P pour padding (sur 1 bit) : bit indiquant si un bourrage est effectué dans les champs de données du flux multimédia ;
- X pour extension (sur 1 bit) : indique si l'en-tête possède une extension d'en-tête à sa suite ;
- CC pour CSRC Count (sur 4 bits) : nombre de sources ayant contribué à la génération du paquet ;
- M pour marker (sur 1 bit) : indique si des descriptifs sont associés ;
- Type de Contenu (PT) (sur 7 bits) : décrit le format de données ;
- Numéro de séquence (sur 16 bits) : compteur incrémenté d'une unité entre chaque paquet ;

- Timestamp (sur 32 bits) : estampille temporelle permettant la synchronisation des flux ;
- SSRC pour synchronisation source (sur 32 bits) : identifie la source de la synchronisation ;
- CSRC pour contributing source (optionnel, sur n fois 32 bits) : identifie les contributeurs à la génération du paquet. [11]

### **II.5.1.2. Le protocole RTCP**

#### **II.5.1.2.1. Définition**

RTCP est un protocole de contrôle et de supervision du réseau. Son objectif est d'offrir aux participants d'une session une vision sur l'état du réseau et de s'y adapter de façon dynamique. Tous les participants doivent envoyer des paquets RTCP. Comme il permet aussi de transporter des informations concernant l'identité des participants. [11]

Ce protocole est généralement utilisé avec le protocole RTP. Afin de perfectionner la qualité de distribution, le RTCP fournit un rapport sur cette dernière (gigue mesurée, taux moyen de perte de paquets, délai de bout en bout, etc.). Ce rapport est envoyé périodiquement de telle sorte que les intervenants disposent d'une mise à jour fréquente de l'état du réseau.

#### **II.5.1.2.2. Les catégories de paquets RTCP [1]**

Les paquets RTCP sont classés en cinq catégories :

- **SR (Sender Report)**

Ce type de paquet véhicule un rapport de l'émetteur, sous forme d'un ensemble de statistiques relatives à la qualité de service concernant l'émetteur. On trouve parmi ces informations le nombre de paquets perdus et la gigue mesurée par l'émetteur. On repère ces paquets SR par la valeur du champ PT (Payload Type), qui est mis à la valeur 201.

- **RR (Receiver Report)**

Ce type de paquet véhicule un rapport de récepteur, semblable aux paquets SR mais concernant le récepteur. La valeur du champ PT est 202.

- **SDES (Source Description)**

Ce type de paquet décrit une source, avec un ensemble de paramètres spécifiques parmi lesquels le nom permanent de la source, ou CNAME (Canonical Name), le nom du participant, NAME, son adresse e-mail, EMAIL, son numéro de téléphone (PHONE), sa localisation (LOC), le nom de l'application qu'il utilise, avec si possible sa version (TOOL), et d'autres



paramètres spéciaux (PRIV et NOTE pour ajouter des informations complémentaires). Ce type de paquet porte la valeur 203 dans le champ PT (Payload Type).

- **BYE**

Ce type de paquet est envoyé pour indiquer que l'émetteur quitte une session multimédia. Le champ PT (Payload Type) prend la valeur 204.

- **APP (Application)**

Ce type de paquet est réservé pour transporter des paramètres spécifiques d'une application. Ce type de paquet est indiqué par la valeur 205 du champ PT (Payload Type).

## **II.5.2. Protocoles de signalisations**

Pour le bon déroulement d'une communication sur IP, cette dernière doit respecter un modèle de signalisation. Parmi les plus connus et les plus utilisés on cite le modèle H.323 et le protocole SIP.

### **II.5.2.1. Protocol H.323**

#### **II.5.2.1.2. Définition**

La recommandation H.323 définit un modèle architectural pour assurer le transport de la voix sur un réseau en mode paquets de type IP [6]. Plus qu'un protocole, H.323 ressemble d'avantage à une association de plusieurs protocoles différents et qui peuvent être regroupés en trois catégories : la signalisation, la négociation de codec, et le transport de l'information.

La recommandation H.323 a été spécifiée par l'ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunications Sector) [23]. H.323 est aujourd'hui le protocole dominant pour les communications voix et multimédia sur IP, en cœur de réseau et à l'accès des IP-PBX. La majorité des équipements de voix sur IP supportent le protocole H.323 [19].

II.5.2.1.3. L'Architecture H.323

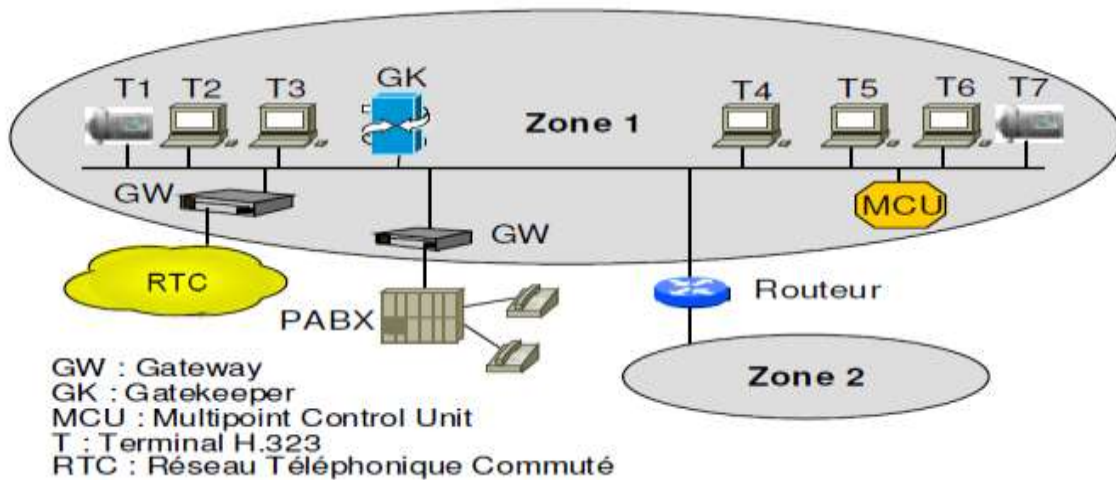


Figure II.10 : Zone H.323. [23]

Une architecture H.323 est généralement composée des quatre catégories d'entités suivantes :

➤ **Terminal**

Est un endpoint permettant des communications temps réels avec d'autres endpoints. Il s'agit d'un équipement utilisateur tel qu'un PC ou un téléphone IP qui supporte au moins un codec audio et éventuellement d'autres codecs audio et vidéo. [23]

➤ **Passerelle**

Ou gateway, c'est l'équipement permettant à des utilisateurs du réseau IP de joindre les utilisateurs qui sont actifs sur d'autres types de réseaux téléphoniques (RTC, RNIS,... etc.). On peut avoir autant de passerelles différentes que nécessaire, suivant la nature des réseaux non-IP à interconnecter. [1]

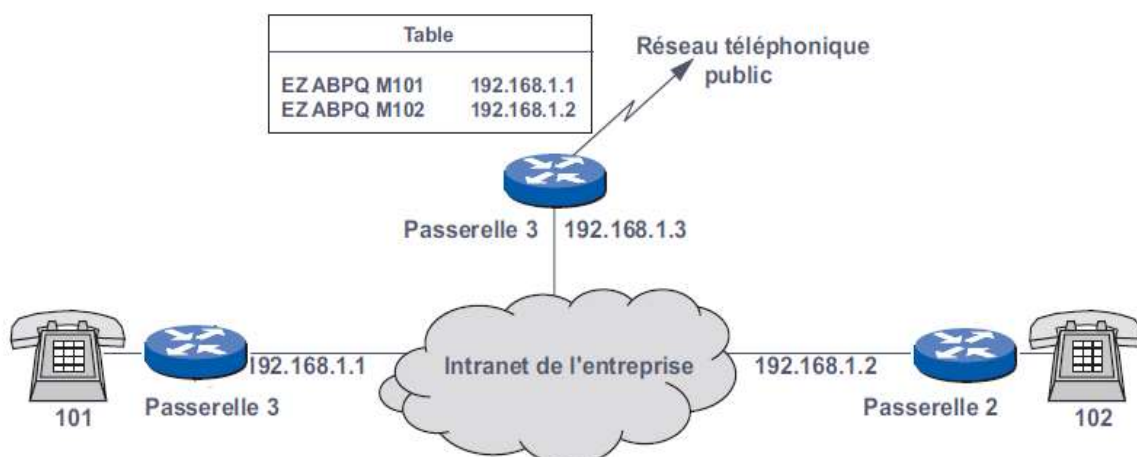


Figure II.10 : passerelles qui relient différents réseaux. [6]

➤ **Gatekeeper**

Un Gatekeeper est le composant le plus important d'un réseau H.323. Il agit comme étant le point central pour tous les appels dans sa zone et contrôle les endpoints. Un Gatekeeper H.323 agit comme un commutateur virtuel. Le Gatekeeper exécute deux fonctions importantes. La première est la translation d'adresse d'un alias LAN d'un terminal ou d'une passerelle (Gateway) vers une adresse IP ou IPX. La deuxième fonction est la gestion de la bande passante.

Le Gatekeeper n'est pas obligatoire dans un réseau H.323 mais lorsqu'il existe, tous les équipements de la zone doivent dialoguer avec lui pour établir des communications. [23]

➤ **Multipoint Control Unit (MCU)**

Est un terminal qui supporte des conférences entre 3 (ou plus) terminaux. Il peut s'agir d'un équipement indépendant (PC) ou peut être intégré dans un Gateway, un gatekeeper ou un terminal. Un MCU consiste en deux fonctions, à savoir, contrôleur multipoint (Multipoint Controller, MC) et processeur multipoint (Multipoint Processor, MP) La fonction MC met en œuvre le contrôle et la signalisation pour le support de la conférence alors que la fonction MP reçoit les flux des terminaux, les traite, et les retourne aux terminaux participant à la conférence. [23]

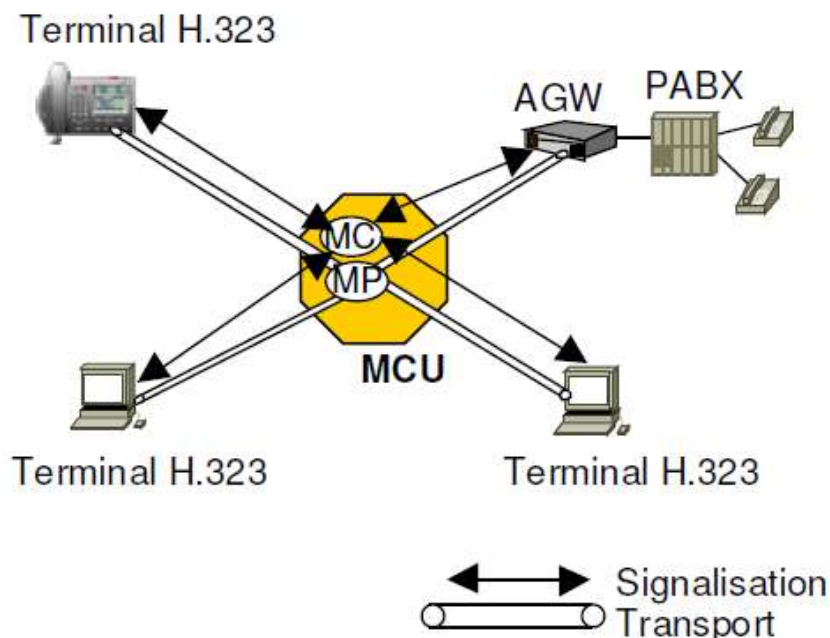


Figure II.11 : MCU centralisé. [23]

**II.5.2.1.4. Famille de protocoles H.323 [23]**

H323 se dessine en 3 grandes parties (Figure 2.14). En effet, pour établir une communication audio ou vidéo sur IP, le signal doit être encodé en utilisant des codecs normalisés définis dans la norme H323. H323 normalise aussi la signalisation à utiliser pour l'établissement d'une communication. La voix ou la vidéo est transmise en utilisant le protocole UDP, associé aux protocoles RTP et RTCP pour le transfert des données en temps réel. La signalisation pour l'établissement des appels est mise en œuvre à l'aide de trois protocoles:

- **H.225 RAS** (Registration, Admission and Status)

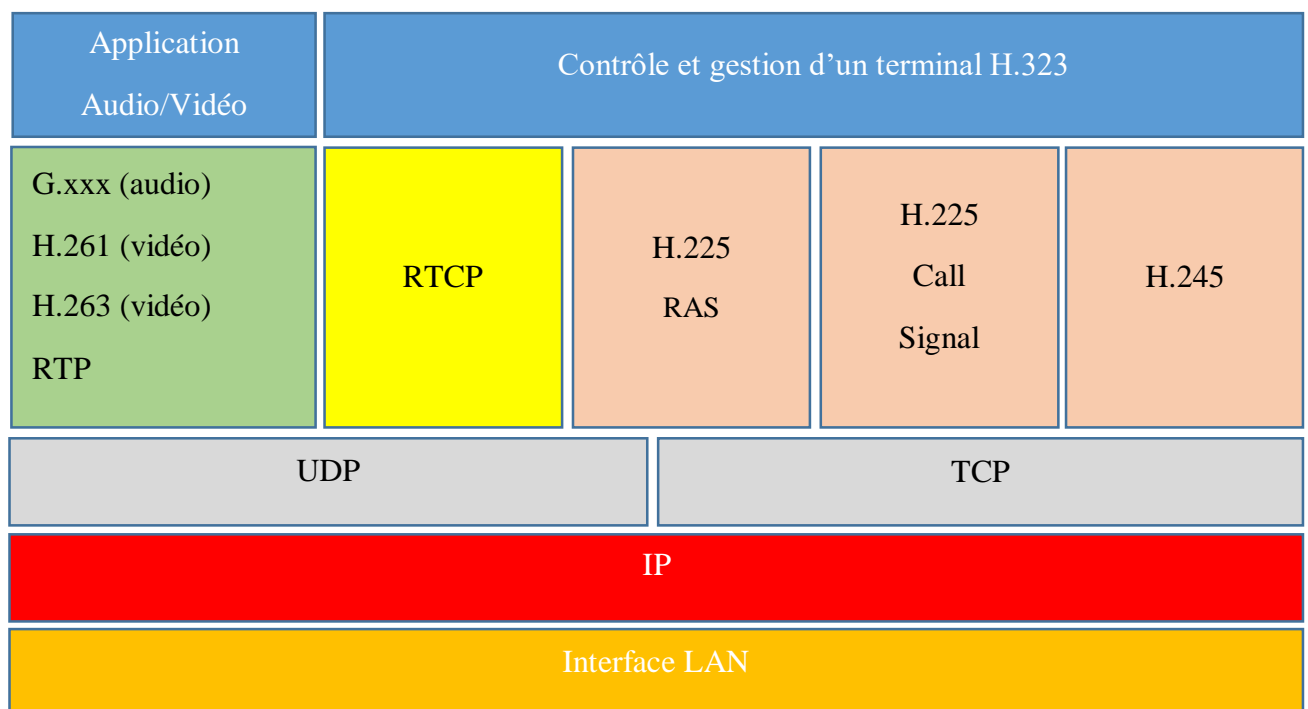
La signalisation RAS est utilisée entre les endpoints et le Gatekeeper qui les contrôle. RAS permet donc au Gatekeeper de contrôler les endpoints présents dans sa zone.

- **H.225 Call signaling**

Cette signalisation permet d'établir et de libérer des connexions entre endpoints H.323. Les messages utilisés sont ceux du protocole de signalisation Q.931 modifiés par la recommandation H.225.

- **H.245**

Lorsque l'appelé décroche, le protocole H.245 permet l'établissement de canaux RTP/RTCP permettant le transfert de données multimédia et le contrôle de ce transfert.



**Figure II.12 :** La pile protocolaire H.323.

### II.5.2.1.5. Avantages de la technologie H.323 [21]

La technologie H.323 possède des avantages du point de vue de l'utilisateur comme aussi du réseau. Parmi les avantages, nous citons :

- **Gestion de de la bande passante**

H.323 permet une bonne gestion de la bande passante en posant des limites au flux audio/vidéo afin d'assurer le bon fonctionnement des applications critiques sur le LAN. Chaque terminal H.323 peut procéder à l'ajustement de la bande passante et la modification du débit en fonction du comportement du réseau en temps réel.

- **Support multipoint**

H.323 permet de faire des conférences multipoints via une structure centralisée de type MCU ou en mode ad-hoc.

- **Interopérabilité**

H.323 permet aux utilisateurs de ne pas se préoccuper de la manière dont se font les communications, les paramètres (les codecs, le débit...) sont négociés de manière transparente.

- **Flexibilité**

Une conférence H.323 peut inclure des terminaux hétérogènes (PC, téléphone...) qui peuvent partager selon le cas, de la voix de la vidéo et même des données.

## II.5.2.2. protocole SIP

### II.5.2.2.1. Définition

SIP (Session Initiation Protocol) est un protocole de signalisation défini par l'IETF (Internet Engineering Task Force) permettant l'établissement, la libération et la modification de sessions multimédias. Il hérite de certaines fonctionnalités des protocoles HTTP (Hyper Text Transport Protocol) utilisé pour naviguer sur le WEB, et SMTP (Simple Mail Transport Protocol) utilisé pour transmettre des messages électroniques (E-mails). SIP s'appuie sur un modèle transactionnel client/serveur comme HTTP. L'adressage utilise le concept d'URL SIP (Uniform Resource Locator) qui ressemble à une adresse E-mail.

Chaque participant dans un réseau SIP est donc adressable par une URL SIP [25]. Les messages SIP sont au format texte et tout comme le H.323, le protocole SIP s'appuie aussi sur les protocoles temps réel (RTP et RTCP).

### II.5.2.2.2. Entités SIP

On distingue principalement deux types d'agent : Les clients ou UAC (User Agent Client) et les agents serveurs ou UAS (User Agent Server).

➤ **Les agents clients (UAC)**

Représente les entités à l'origine des appels, comme le téléphone IP, ou les passerelles voix.

➤ **Les agents serveurs (UAS)**

Constituent l'ensemble des serveurs qui reçoivent et traitent les requêtes :

✓ **Serveur proxy (Proxy server)**

Il reçoit des requêtes de clients qu'il traite lui-même ou qu'il achemine à d'autres serveurs après avoir éventuellement réalisé certaines modifications sur ces requêtes.

✓ **Serveur de redirection (Redirect server)**

Il s'agit d'un serveur qui accepte des requêtes SIP, traduit l'adresse SIP de destination en une ou plusieurs adresses réseau et les retourne au client.

✓ **Serveur d'enregistrement (Registrar)**

Il s'agit d'un serveur qui accepte les requêtes SIP REGISTER. L'utilisateur indique par un message REGISTER émis au Registrar, l'adresse où il est joignable (adresse IP). Le Registrar met alors à jour une base de données de localisation.

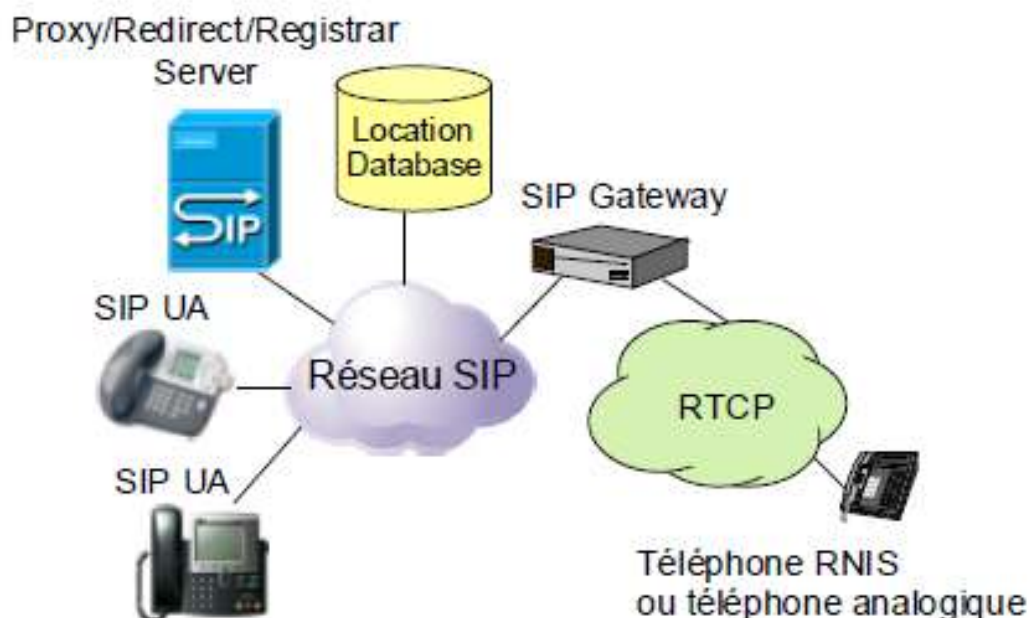


Figure II.13 : Entités d'un réseau SIP. [25]

**II.5.2.2.3. Les messages SIP**

Sont de deux types, les requêtes et les réponses :

✓ **Liste des requêtes SIP**

Le tableau II.2 illustre la liste des requêtes :

Rquete	Description
<b>REGISTER</b>	Ce message est émis par un agent pour informer un serveur SIP <i>Registrar</i> sur sa localisation. Le client fournit une adresse du type Nom@Domaine.
<b>INVITE</b>	Message d'ouverture de session, émis par un UAC. Ce message peut être transmis directement à l'agent appelé ou à un serveur Proxy pour acheminement.
<b>BYE</b>	émis par tout agent client pour mettre fin à une session en cours.
<b>CANCEL</b>	Annule une session, ne peut être utilisé que pendant la phase d'ouverture.
<b>ACK</b>	Acquitte un message INVITE et établit la session d'échange.
<b>OPTIONS</b>	Message d'obtention des capacités (caractéristiques) d'un terminal, similaire à H.245.

**Tableau II.1** : Liste des requêtes SIP.

## ✓ Liste des réponses SIP

Le tableau II.3 présente la liste des réponses SIP :

Réponses	Description
<b>INFORMATIONAL</b>	Simple message de service.
<b>SUCCESSFULL</b>	Message indiquant que l'action a été menée à bien (succès)...
<b>REDIRECTION</b>	Une autre action doit être conduite pour valider la requête.
<b>CLIENT FAILURE,</b>	Message signalant une erreur de syntaxe, la requête ne peut être traitée.
<b>SERVER</b>	Message signalant une erreur sur un agent serveur.
<b>FAILURE,</b>	
<b>GLOBAL</b>	Erreur générale, la requête ne peut être traitée par aucun serveur.
<b>FAILURE</b>	

**Tableau II.3 :** Liste des réponses SIP.

## II.6. Conclusion

A travers ce chapitre, on a tout d'abord présenté la théorie de la ToIP par le biais de ces différentes étapes d'une communication IP et ces avantages. Ensuite on a exposé les mécanismes de la voix sur IP à l'instar de la transmission asynchrone, la commutation de paquets et la transformation du signal de parole dans sa forme analogique à la forme numérique grâce aux codecs. Pour conclure nous nous sommes approfondis dans les protocoles associés à la VoIP qui se départagent en deux fonctions. La première étant le transport dont on distingue principalement les protocoles RTP et RTCP. En ce qui concerne l'autre fonction qui est la signalisation on retrouve le standard H.323 et le protocole SIP. H.323 bénéficie de son ancienneté et l'assurance du fonctionnement, alors que le protocole SIP se trouve être simple à manipuler et évolutif.



### III.1 Introduction

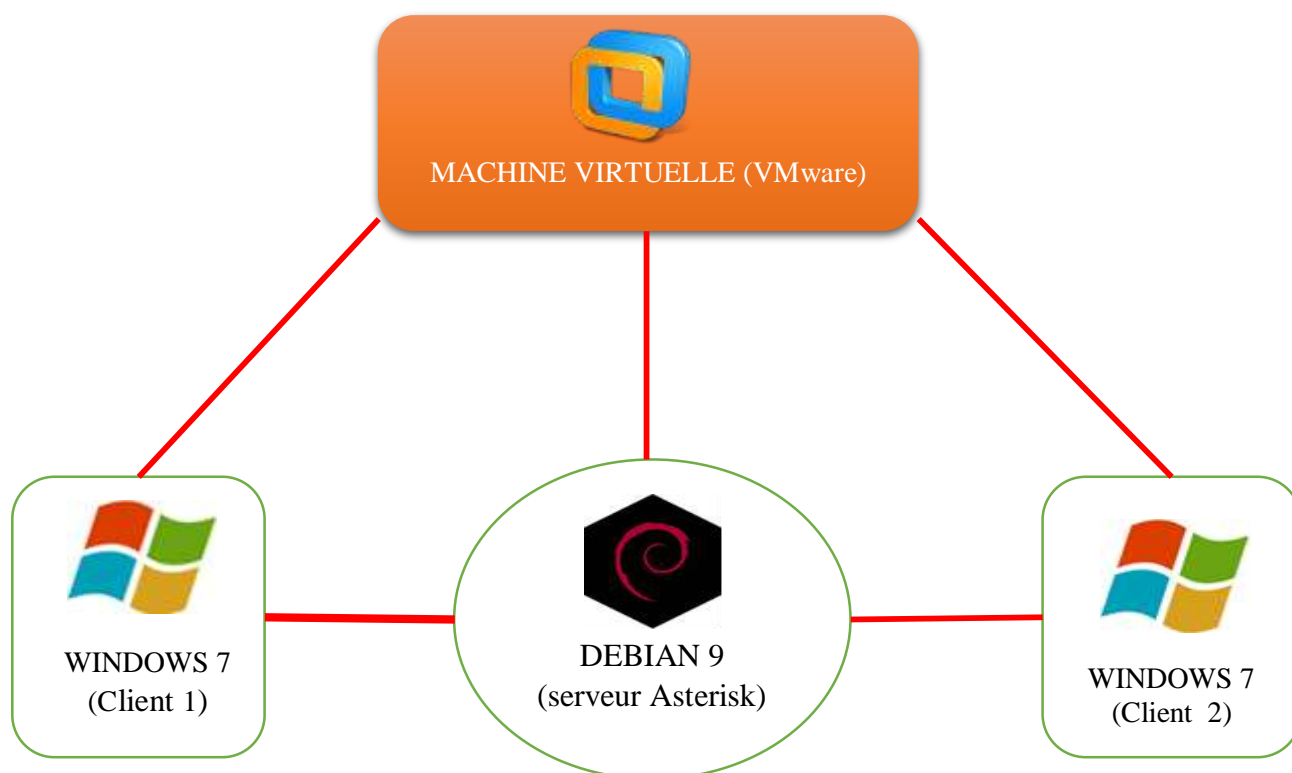
Après avoir passé en revue les deux techniques qui sont la VoIP et la ToIP dans le chapitre précédent, on procède dans ce chapitre à la réalisation d'un environnement VoIP virtuel, principalement à l'aide de VMware, Asterisk et le softphone 3CX. On commence par la présentation de notre projet et d'Asterisk, ensuite nous allons mettre en place notre environnement virtuel et faire une installation proprement dite d'Asterisk. Enfin nous allons configurer les softphones pour que les clients puissent communiquer entre eux.

### III.2 Notre projet

Notre travail consiste à mettre en place un système de communication basé sur la voix sur IP avec l'IPBX Asterisk. Premièrement on va mettre en place une machine virtuelle (VMware) dans laquelle on installera les différents systèmes d'exploitation :

- Windows 7 (1) : celui-ci nous servira comme premier client ;
- Windows 7 (2) : nous l'utiliserons comme deuxième client ;
- Debian 9 (GNU/LINUX) : une distribution LINUX qui nous servira comme plateforme pour installer Asterisk.

En second lieu, nous allons faire une installation proprement dite d'Asterisk avec l'installation des dépendances et une configuration basique nécessaire à l'établissement d'un appel entre nos deux clients. Enfin nous allons installer et configurer les softphones dans l'enceinte des deux clients Windows.



**Figure III.1 :** Architecture de notre projet VoIP.

### III.3 Présentation d'Asterisk

#### III.3.1 Définition

Asterisk est un autocommutateur téléphonique privée (PABX), créée en 1999 par Mark Spencer fondateur de la société Digium. Il est complet et performant, offre une plate-forme personnalisable et modulable pour la mise en œuvre de services de téléphonie et il garantit une très large interconnexion avec plusieurs serveurs PBX.

Asterisk étant un logiciel libre d'utilisation, ses sources sont téléchargeables sous licence GNU GPL (General Public License). Cela permet à une importante communauté de contribuer à son développement. Des forums libres et actifs enrichissent, testent, mettent à jour et améliorent en permanence le logiciel. Bien qu'initialement conçu pour fonctionner sous Linux, il est aujourd'hui multiplate-forme et s'installe aussi bien sur OpenBSD que FreeBSD, Sun Solaris, MacOS X ou Windows. [1]

Asterisk a pour principale fonction celle d'autocommutateur téléphonique. Cela consiste essentiellement à gérer les appels téléphoniques pour un ensemble de postes. Le cadre classique d'installation d'Asterisk est celui de tout PABX : assurer la commutation des appels pour un ensemble donné de postes téléphoniques et relayer les appels de et vers l'extérieur au travers du RTC. Rien de moins. Cependant, et contrairement à certaines solutions de ToIP propriétaires qui se contentent de reproduire ce schéma classique de la téléphonie d'entreprise, Asterisk concrétise les promesses de la technologie ToIP, en proposant de nouveaux services sans pour autant dépenser de l'argent. [2]

### III.3.2 Les fonctions assurées par Asterisk

Asterisk satisfait de nombreux types de besoins. Il peut par exemple devenir un petit gestionnaire du téléphone de son domicile, comme il est également utilisé dans un cadre professionnel, en tant que commutateur téléphonique d'entreprise et de passerelle vers les réseaux traditionnels.

Asterisk compte plusieurs fonctions essentielles qui permettent l'insertion complète pour répondre à la majorité des besoins en téléphonie, parmi ces fonctions nous citons:

- ✓ Transfert d'appel ;
- ✓ Filtrage des appels ;
- ✓ Mise en attente ;
- ✓ Messagerie vocale (répondeur automatique) ;
- ✓ Journalisation des appels ;
- ✓ Enregistrement des appels ;
- ✓ Passerelle vers le RTC, interconnexion de sites ;
- ✓ Serveur vocal interactif (SVI) ;
- ✓ Heure et date d'appels ...

### III.4 Réalisation de l'environnement virtuel

Dans cette partie on installera une machine virtuelle (VMware) dans laquelle on va déployer les différents systèmes d'exploitation.

### III.4.1 Présentation de VMware WORKSTATION

VMware Workstation est la norme du secteur pour l'exécution de plusieurs systèmes d'exploitation en tant que machines virtuelles (VM) sur un seul PC Linux ou Windows.

Après avoir téléchargé et installé le fichier d'installation (VMware-workstation-full-15.0.4-12990004) on visualise la fenêtre suivante :

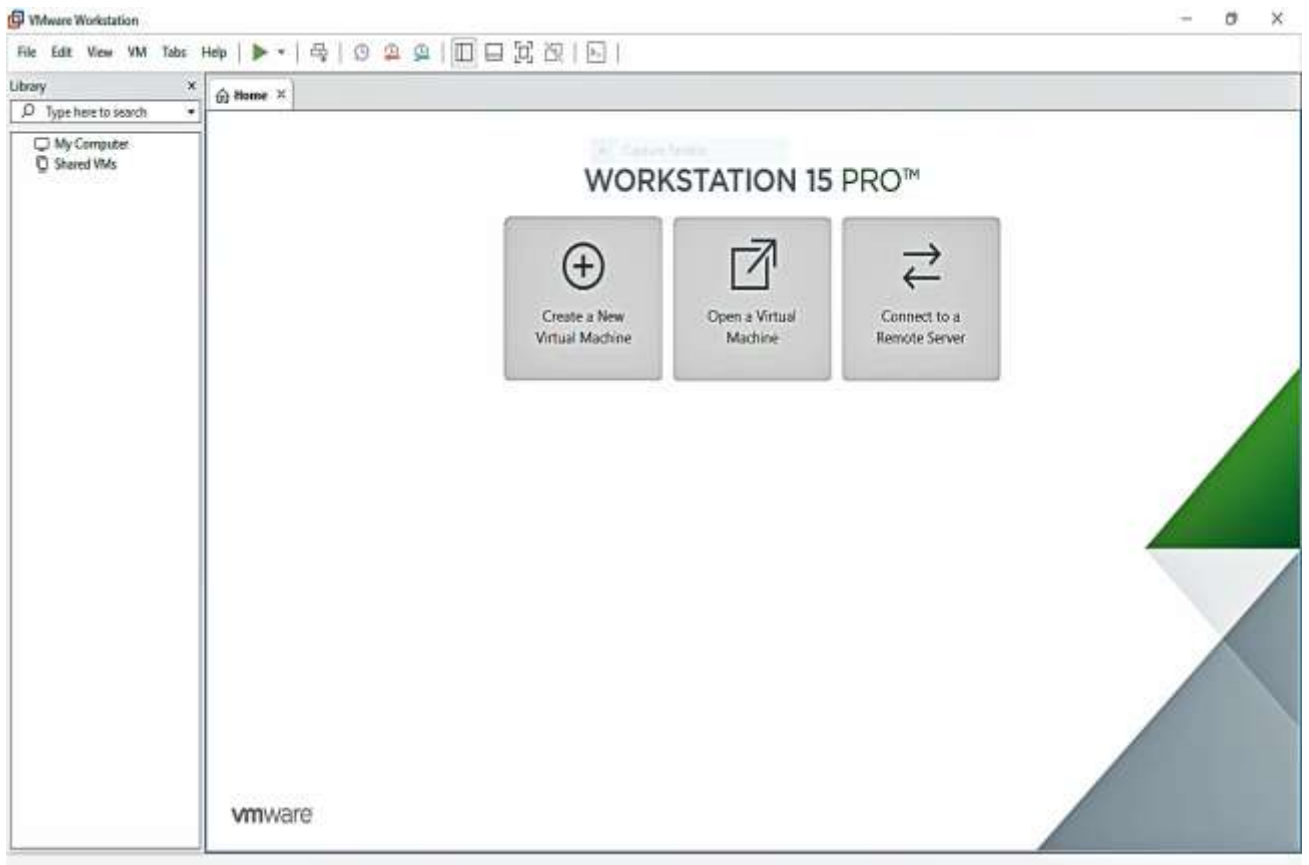
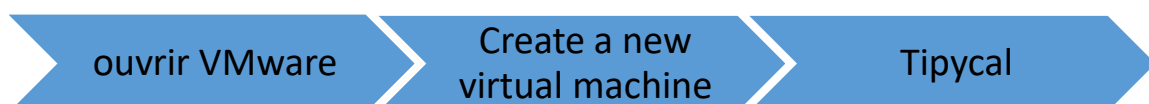


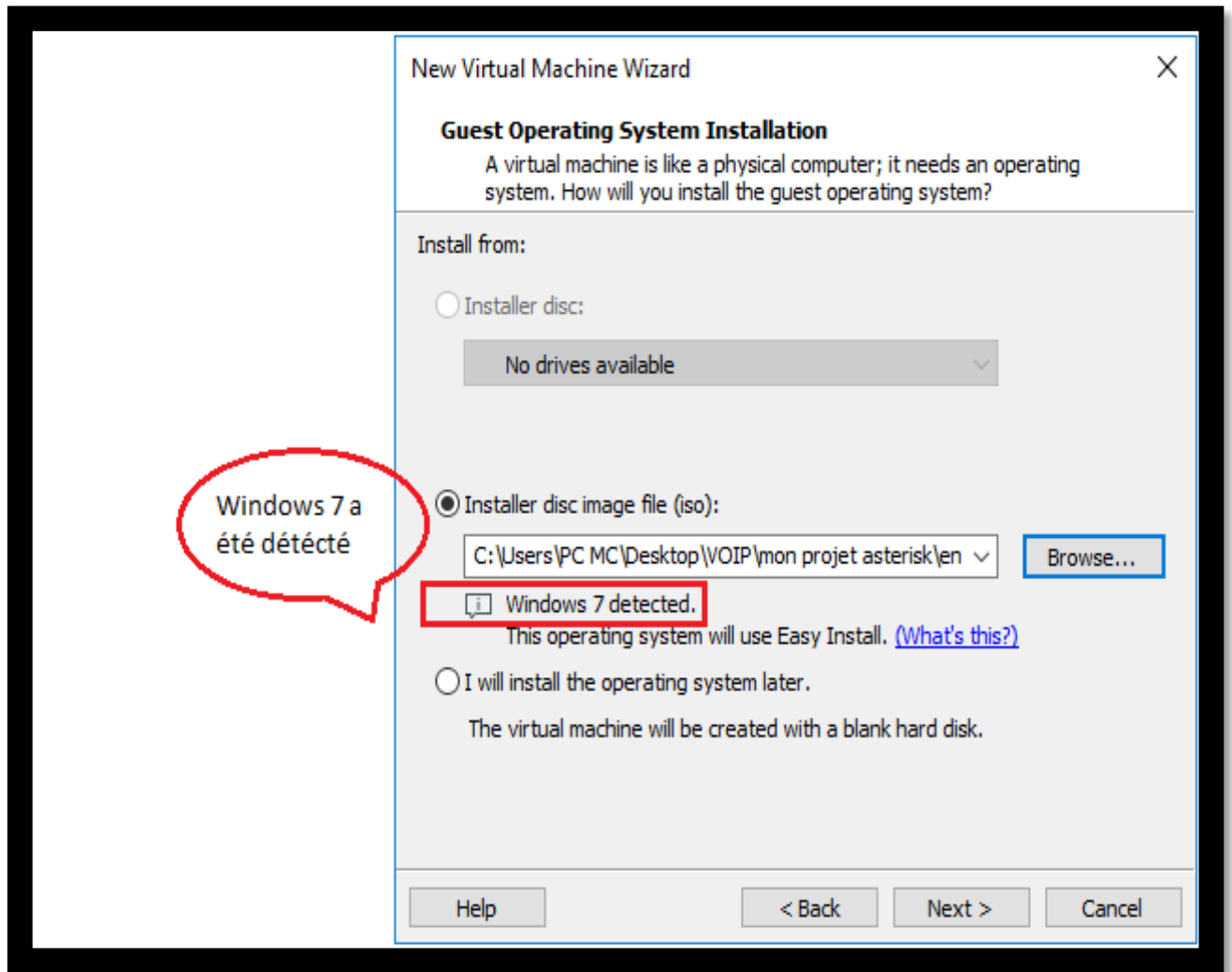
Figure III.2: Fenêtre VMware.

### III.4.2 Installation des clients

Pour l'installation du client (Windows 7), on suit les étapes suivantes :

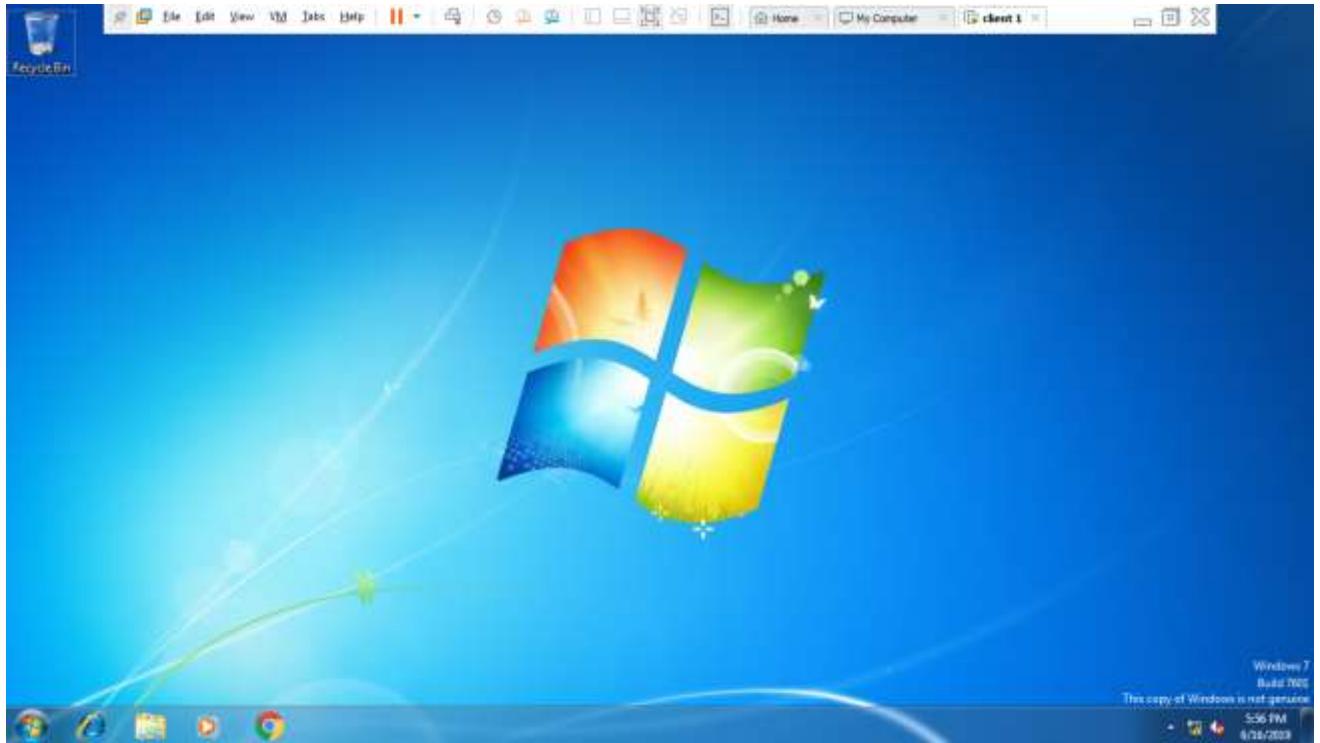


Puis on visualise la fenêtre suivante :



**Figure III.3:** Insertion de l'image ISO de Windows 7.

Ensuite on importe l'image ISO de Windows 7 et on remarque aussitôt que VMware a détecté le type de système à installer. Dans ce qui suit on nous demandera de remplir les champs 'full name' et 'virtual machine name' qui sont respectivement le nom de l'utilisateur et le nom de la machine virtuelle. Dans notre cas on a nommé les deux champs 'BOUZID' et 'client1' respectivement. A partir de là c'est une installation de Windows 7 de ce qu'il y a de plus basique. Par le biais de ces étapes l'installation du client 1 est donc finie :



**Figure III.4:** Installation du client1 réussite.

**Remarque :** Pour ce qui est du client 2 les étapes sont identiques.

### III.4.3 Installation de Debian 9

Le projet Debian est une association d'individus qui ont pour cause commune de créer un système d'exploitation libre. Ce système d'exploitation est appelé Debian. Les systèmes Debian utilisent actuellement le noyau Linux [26].

Afin d'installer Debian, toujours sur la machine virtuelle, on suit les étapes ci-dessous :

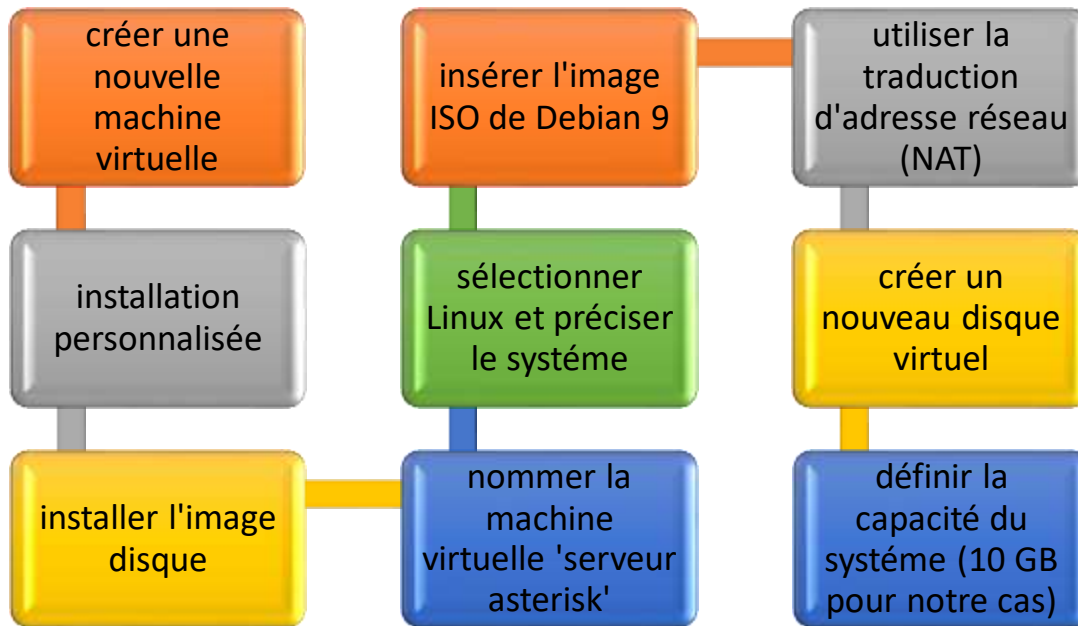


Figure III.5: Création d'une nouvelle machine virtuelle pour Debian 9.

A la fin de ces étapes on visualise la fenêtre suivante :

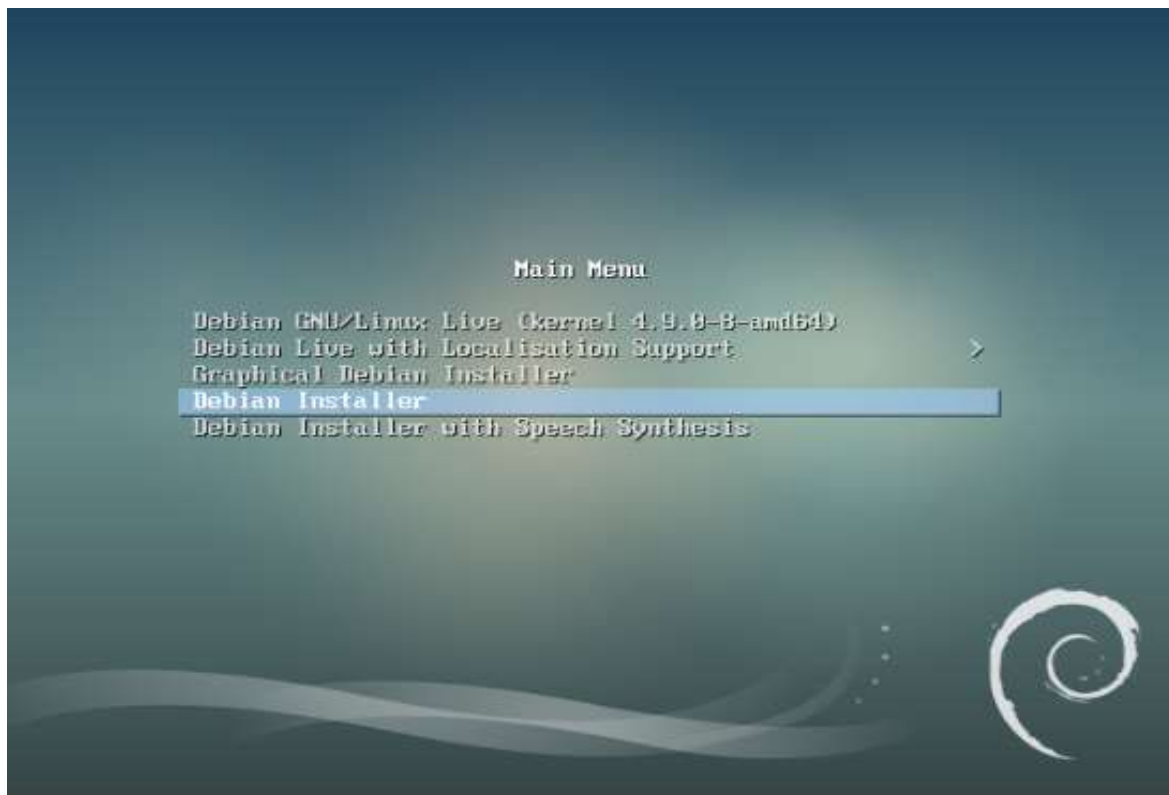


Figure III.6: Menu d'installation Debian 9.

## Chapitre III Réalisation d'un environnement VoIP à l'aide d'Asterisk

Après avoir sélectionné 'Debian Installer' il nous sera demandé de préciser respectivement la langue, de donner un nom à notre machine et de définir un mot de passe super utilisateur. En ce qui nous concerne on a mis **Français** pour la langue, '**serveur**' comme nom de la machine et '**root**' entant que mot de passe et nom d'utilisateur. La suite des étapes est illustrée la figure suivante :

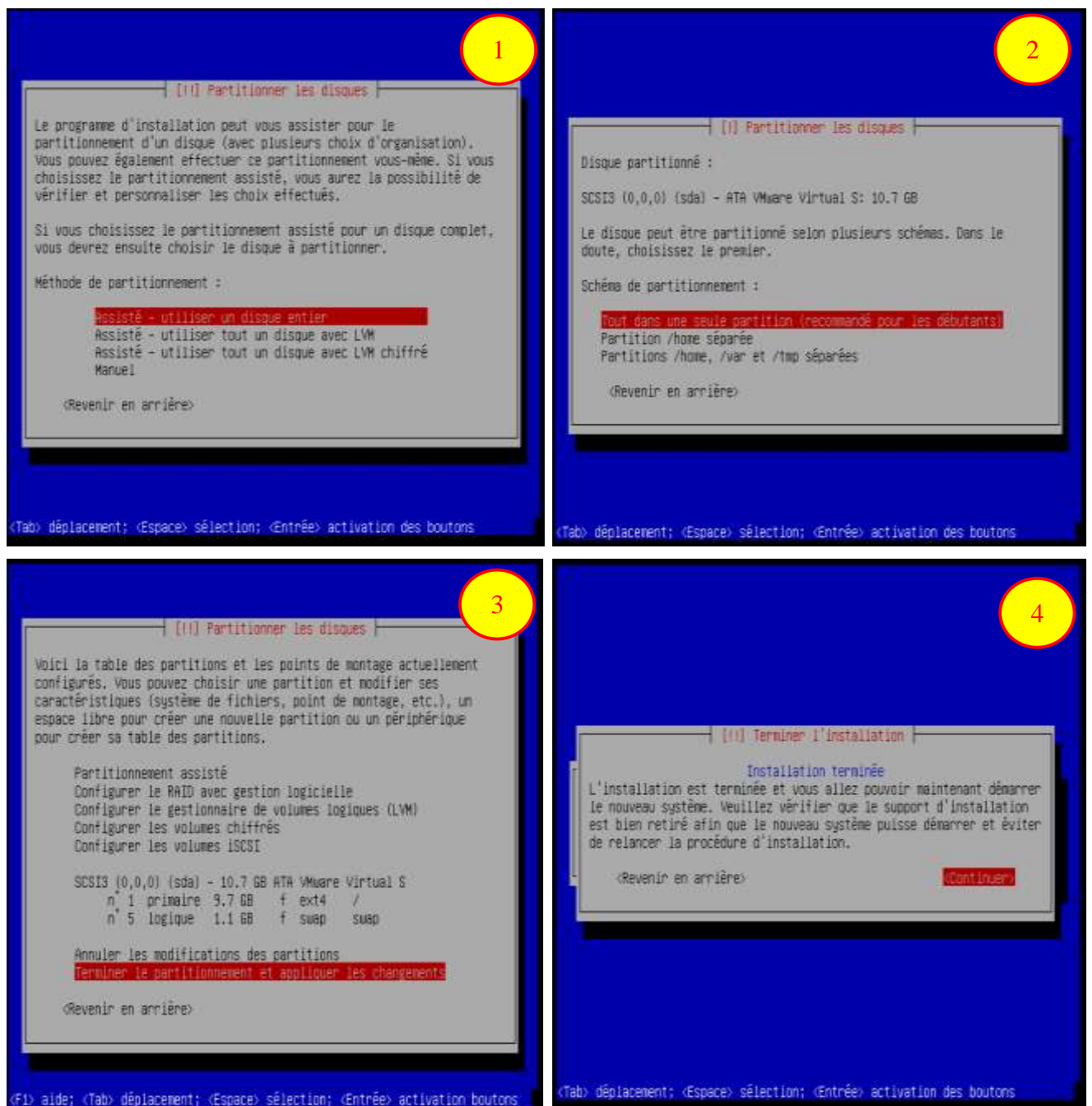


Figure III.7: Installation de Debian 9.



**Commentaire :** Nous allons commenter chaque une des figures ci-dessous :

- 1- Nous allons choisir la méthode de partitionnement Assisté avec l'utilisation complète du disque alloué qu'on a défini auparavant à 10 GB.
- 2- On sélectionne le schéma de partitionnement à 'tout dans une seule partition' (recommandé).
- 3- Cette figure illustre un récapitulatif du partitionnement du disque et nous permet de sauvegarder la configuration et d'appliquer les changements.
- 4- L'installation est terminée, en cliquant sur 'continuer' on accède à Debian 9.

### III.5 Installation proprement dite d'Asterisk

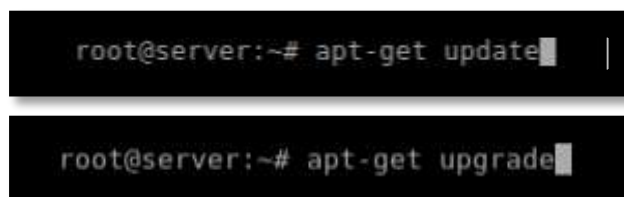
Nous allons maintenant voir comment installer Asterisk sur une distribution Linux Debian 9. Tout d'abord, avant de passer à l'installation d'Asterisk, on se doit de mettre à jour notre système et installer les prérequis nécessaires à la compilation d'Asterisk. Il est à noter qu'une bonne connexion internet est nécessaire pour ces étapes.

#### III.5.1 Acquisition et installation des prérequis

Les prérequis sont nécessaires pour l'installation et le bon fonctionnement du serveur Asterisk.

##### III.5.1.1 Mise à jour du système

Dans un premier temps on va mettre à jour notre système en utilisant les commandes suivantes :



```
root@server:~# apt-get update |
root@server:~# apt-get upgrade |
```

**Figure III.8:** Mise à jour du système.

### III.5.1.2 DAHDI et LIBPRI

Ces logiciels doivent être compilés et installés avant de procéder à l'installation d'Asterisk. Si l'on souhaite par exemple connecter Asterisk directement au réseau téléphonique RNIS, alors DAHDI et LIBPRI sont nécessaires.

#### ➤ DAHDI

Le programme DAHDI est nécessaire à la prise en charge des cartes téléphoniques matérielles et à la gestion des accès RNIS, et même si l'on ne dispose pas de carte d'extension sur le serveur, DAHDI est indispensable dans le cas où l'on souhaiterait utiliser le serveur Asterisk en tant que pont d'audioconférence. [2]

#### ➤ LIBPRI

Est une bibliothèque de gestion des accès RNIS. Elle encapsule les protocoles utilisés pour communiquer sur les interfaces du réseau numérique. Par ailleurs, même si on n'envisage pas de lien avec le RNIS, il est conseillé de compiler et d'installer cette bibliothèque car elle sera utilisée dans l'étape de la compilation d'Asterisk.

#### III.5.1.2.1 Téléchargement, décompression et installation des paquets DAHDI et LIBPRI

Par le biais des deux commandes illustrées dans la figure ci-dessous, on télécharge les dernières versions des paquets DAHDI et LIBPRI compressés, qui sont disponibles sur le site d'Asterisk (<https://downloads.asterisk.org>) :

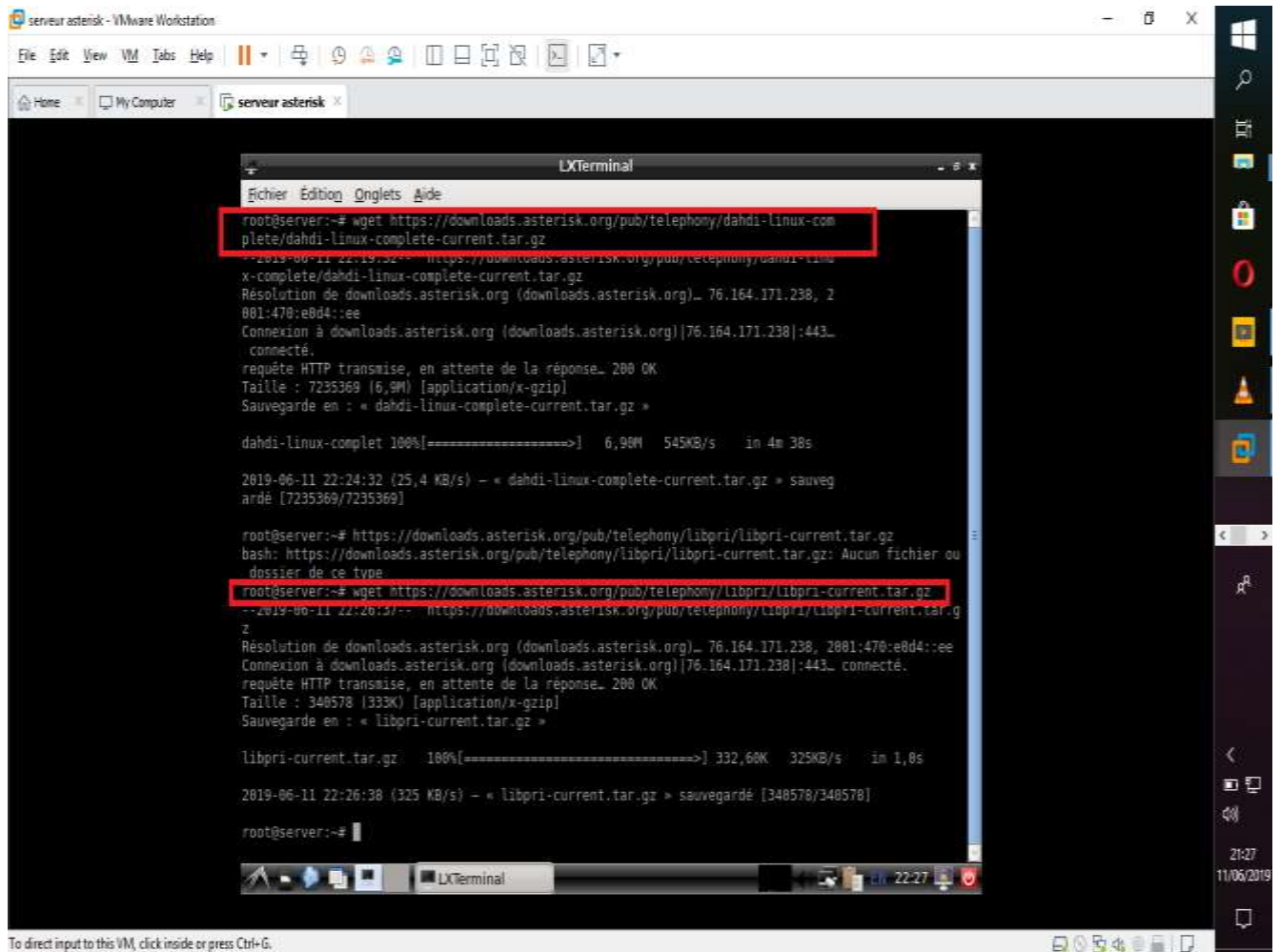


Figure III.9: Téléchargement des paquets DAHDI et LIBPRI.

Ensuite on procède à la décompression des paquets à l'aide des commandes suivantes :

```
root@server:~# tar xzvf dahdi-linux-complete-current.tar.gz
```

```
root@server:~# tar xzvf libpri-current.tar.gz
```

Figure III.10: Décompression des paquets DAHDI et LIBPRI.

L'étape suivante consiste dans l'installation de DAHDI à travers les commandes ci-dessous. Cependant, on doit d'abord se rendre au dossier d'installation '**dahdi-linux-complete-2.11.1+2.11.1**' qui se trouve au niveau du répertoire '**/usr/src**'.

```
root@server:/usr/src/daohdi-linux-complete-2.11.1+2.11.1# make all
root@server:/usr/src/daohdi-linux-complete-2.11.1+2.11.1# make instal
root@server:/usr/src/daohdi-linux-complete-2.11.1+2.11.1# make config|
```

**Figure III.11:** Installation de DAHDI.

De la même manière, on installe la bibliothèque LIBPRI :

```
root@server:~/libpri-1.6.0# make █
root@server:~/libpri-1.6.0# make install█
```

**Figure III.12:** Installation de LIBPRI.

### III.5.2 Téléchargement, installation d'Asterisk

Une fois les prérequis installés, nous allons passer au téléchargement de l'archive '**asterisk-16.4.0.tar.gz**', qui est la dernière version, et l'extraction de son contenu à l'aide des commandes suivantes :

```
root@server:~# wget https://downloads.asterisk.org/pub/telephony/asterisk/asterisk-16.4.0.tar.gz
root@server:~# tar xzvf asterisk-16.4.0.tar.gz
```

**Figure III.13:** Téléchargement et extraction du paquet d'Asterisk.

A partir de là, une petite manœuvre s'impose, elle consiste dans l'installation des prérequis qui se trouvent dans le dossier d'Asterisk. Nous nous placerons donc dans le répertoire où se trouve ces prérequis qui est '**/usr/src/asterisk-16.4.0/contrib/scripts/**', ensuite on introduit la commande suivante :

```
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0/contrib/scripts# ./install_prereq install
```

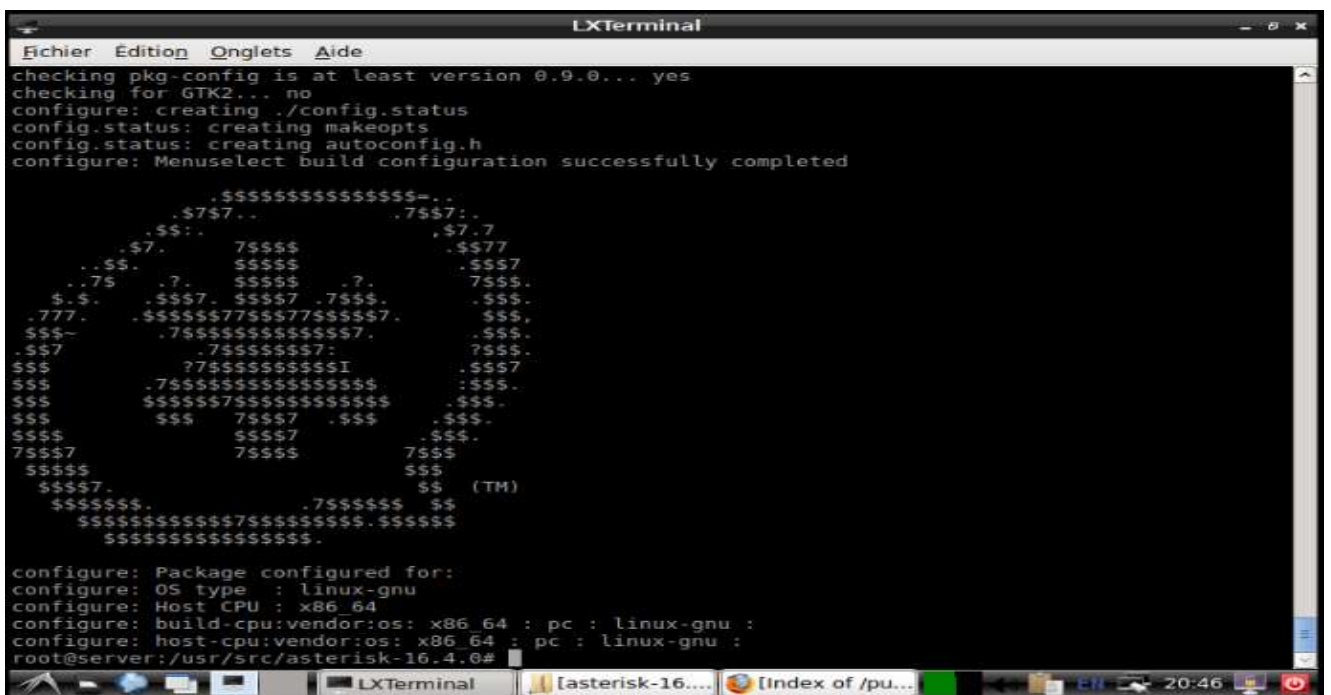
Figure III.14: Installation des prérequis du paquet Asterisk.

Maintenant on procède à l'installation du paquet d'Asterisk. La commande suivante nous permet de construire le **menuselect** :

```
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# ./configure
```

Figure III.15: Construction du menuselect.

A la fin de la commande ci-dessus, on visualise à travers la figure III.16, le logo d'Asterisk qui nous indique que le **menuselect** a bien été établie et que l'installation est en bonne voie (pas d'erreurs).



```
LXTerminal
Fichier Edition Onglets Aide
checking pkg-config is at least version 0.9.0... yes
checking for GTK2... no
configure: creating ./config.status
config.status: creating makeopts
config.status: creating autoconfig.h
configure: Menuselect build configuration successfully completed

      .$$$$$$$$$$$$$$$$$-..
     .7$7..          .7$7:
    .$$:            .7.7
   .7.          7$$$$
  .$.          $$$$$
 .7$ .7.       $$$$$ .7.
$. $.         $$$7. $$$7.7$$$
.777.        $$$$$77$$$77$$$7.
$$$~        7$$$$$$$$$$$$7.
.5$7        .7$$$$$$$7:
$$$         77$$$$$$$$$$$I
$$$         .7$$$$$$$$$$$$$
$$$         $$$$$7$$$$$$$$$
$$$         $$$ 7$$$7 .$$$
$$$$$       $$$$7 .$$$
7$$$$7      7$$$$ 7$$$
$$$$$       $$$  $$$
$$$$7.      $$$ (TM)
$$$$$$$$.   .7$$$$$ $$
$$$$$$$$$$$7$$$$$$$$.
$$$$$$$$$$$$$$$$$

configure: Package configured for:
configure: OS type : linux-gnu
configure: Host CPU : x86_64
configure: build-cpu:vendor:os: x86_64 : pc : linux-gnu :
configure: host-cpu:vendor:os: x86_64 : pc : linux-gnu :
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0#
```

Figure III.16: Bon déroulement de l'installation.

On fait apparaitre le **menuselect** à l'aide de la commande suivante :

```
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# make menuselect
```

Figure III.17: Faire apparaitre le **menuselect**.

On visualise donc le **menuselect** à travers la figure suivante :

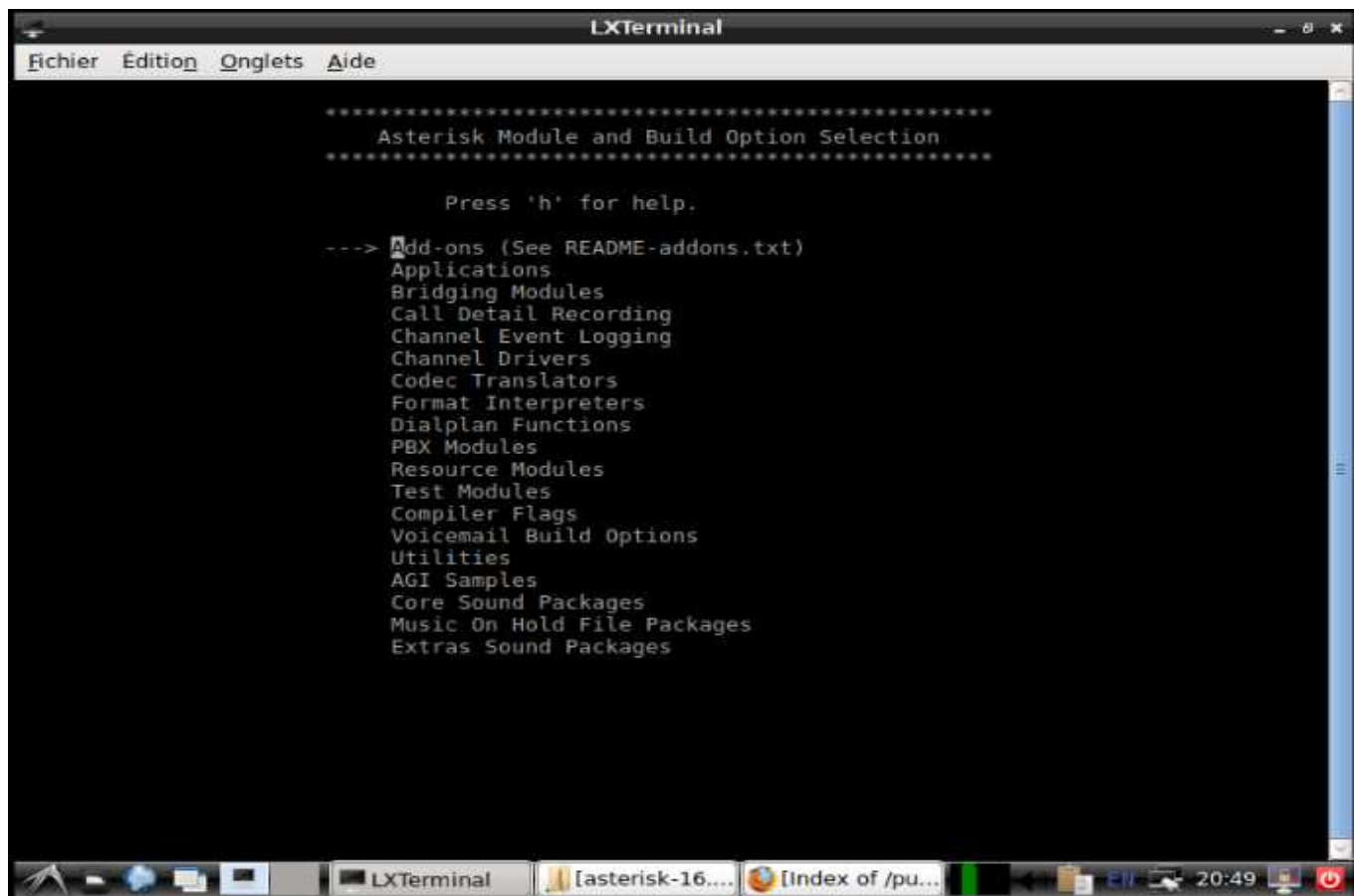


Figure III.18: Le menuselect.

### Remarque

Le menuselect est un menu qui nous permet de télécharger et d'installer les modules souhaités, comme les codecs (G.729, G.722, gsm...), la tonalité d'attente (DTMF) ou encore les paquets sonores. C'est donc en quelque sorte une personnalisation de l'installation d'Asterisk.

Nous allons donc procéder à l'installation des paquets sonores, en Français, pour Asterisk au format 'ulaw'. Dans 'Core Sound Package' on coche la case 'CORE-SOUNDS-FR-ULAW' avec la touche 'Espace' puis on appuie sur 'Echap' pour revenir en arrière.

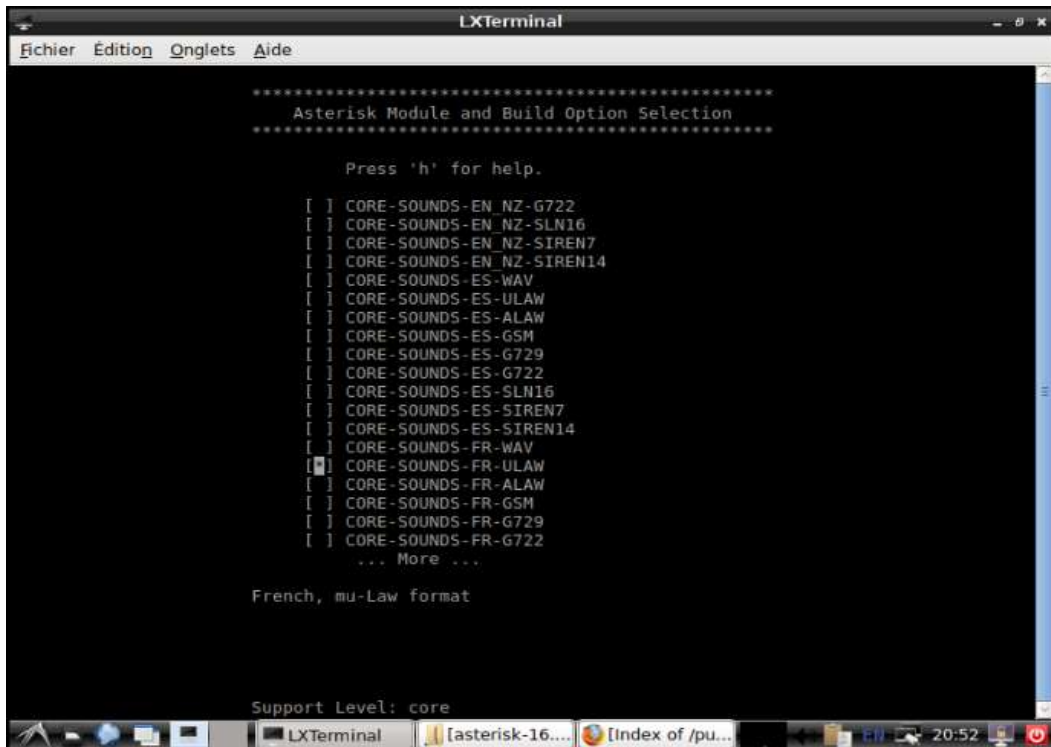


Figure III.19: Sélection de 'core-sound-fr-ulaw'.

Ensuite dans 'Music On Hold File Packages' on sélectionne 'MOH-OPSOUND-ULAW' (Décochez celui en WAV), appuyez sur 'Echap'.

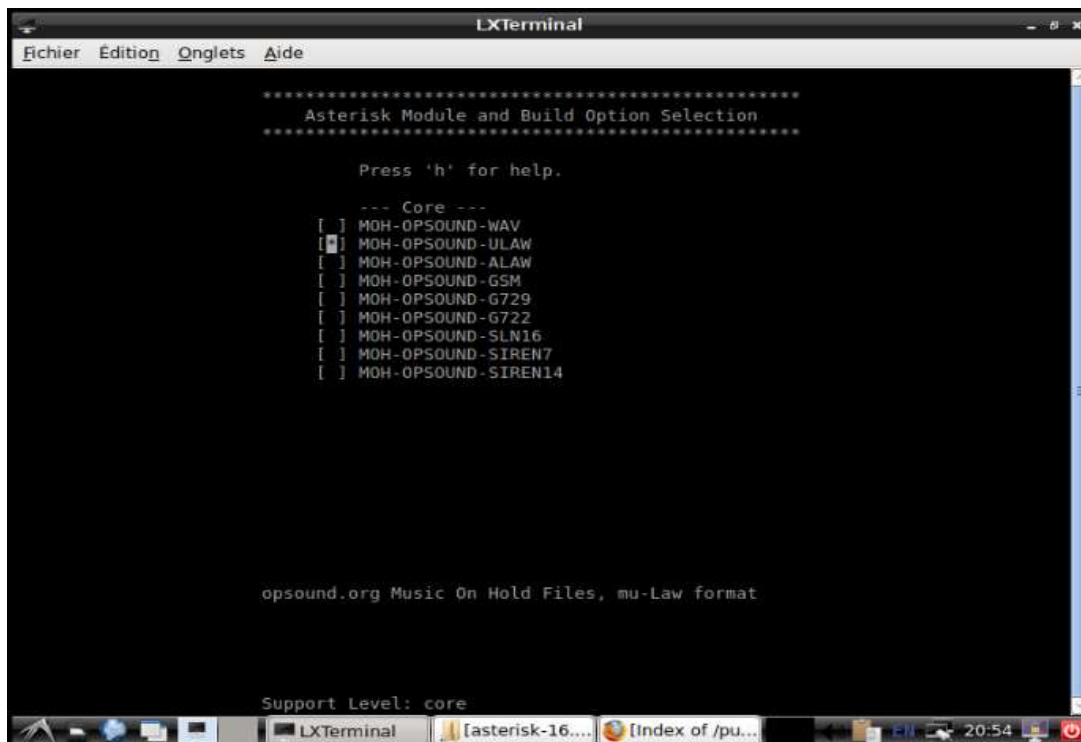
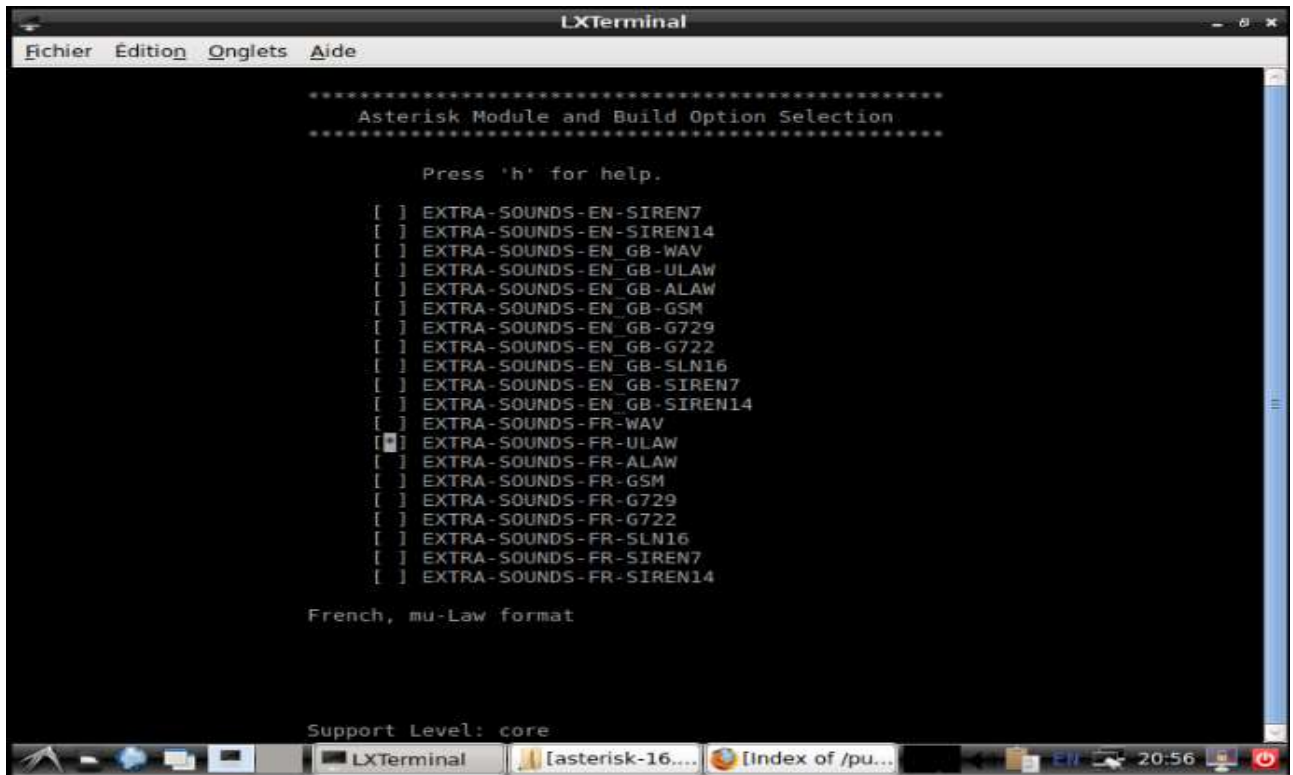


Figure III.20: Choix de 'MOH- OPSOUND-ULAW'.



Par la suite nous allons dans 'Extras Sound Packages' et on choisit 'EXTRA-SOUNDS-FR-ULAW'.



**Figure III.21:** Opter pour le choix de 'EXTRA-SOUNDS-FR-ULAW'.

Enfin on clique sur 'Echap' et une fois à l'écran principal on refait 'Echap' et on appuie sur 'S' pour sauvegarder les changements.

On procède maintenant à la finalisation de l'installation d'Asterisk et l'ensemble des modules sélectionnés au-dessus par le biais des commandes suivantes :

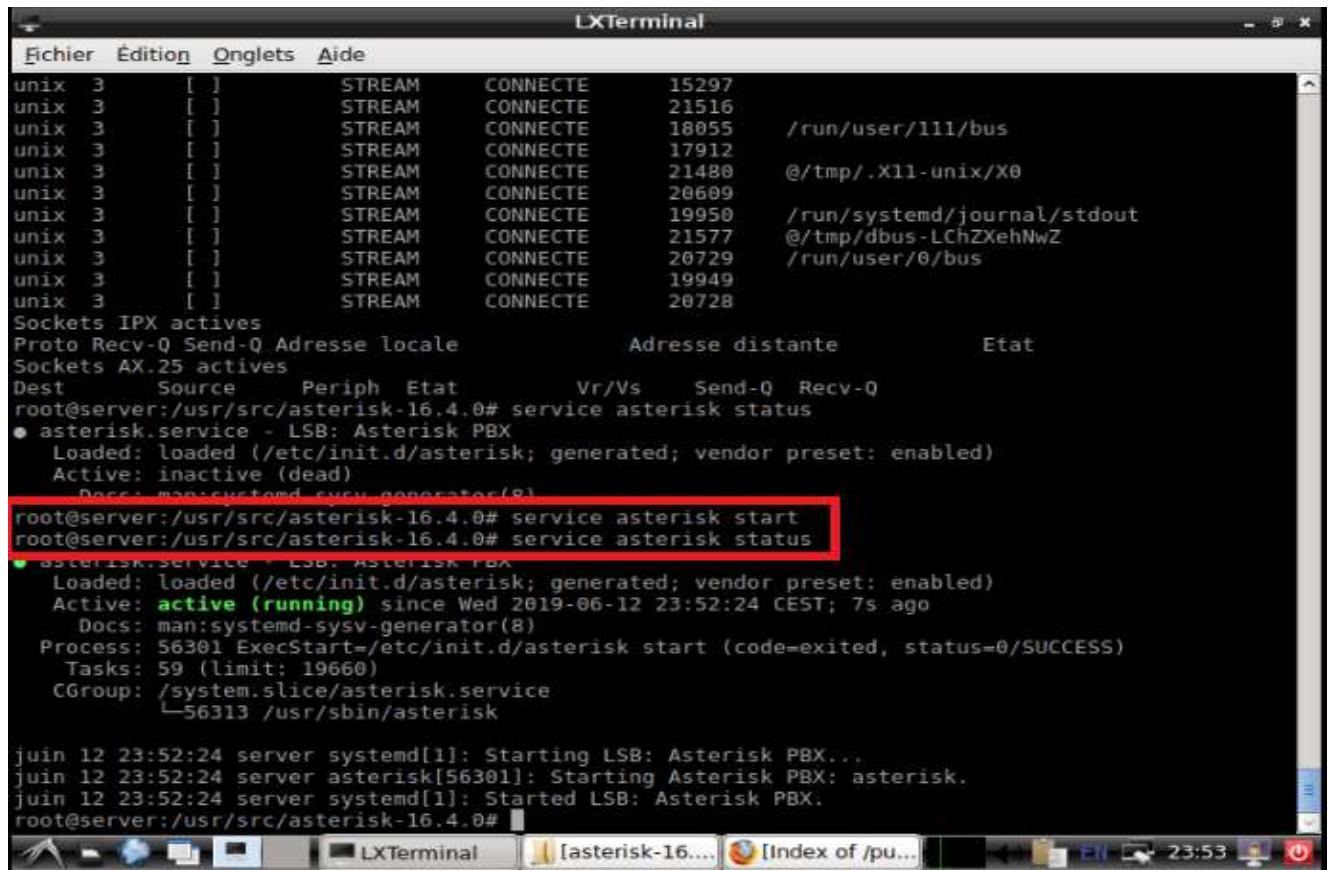
```
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# make
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# make install
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# make samples
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# make config
```

**Figure III.22:** Finalisation de l'installation d'Asterisk.



### III.5.2.1 Lancement et vérification du bon fonctionnement du service Asterisk

Une fois l'installation d'Asterisk terminée, on lance le service et on vérifie qu'il est opérationnel:



```
LXTerminal
Fichier Edition Onglets Aide
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 15297
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 21516
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 18055 /run/user/111/bus
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 17912
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 21480 @/tmp/.X11-unix/X0
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 20609
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 19950 /run/systemd/journal/stdout
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 21577 @/tmp/dbus-LChZXehNwZ
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 20729 /run/user/0/bus
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 19949
unix 3 [ ] STREAM CONNECTE 20728
Sockets IPX actives
Proto Recv-Q Send-Q Adresse locale Adresse distante Etat
Sockets AX.25 actives
Dest Source Periph Etat Vr/Vs Send-Q Recv-Q
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# service asterisk status
● asterisk.service - LSB: Asterisk PBX
  Loaded: loaded (/etc/init.d/asterisk; generated; vendor preset: enabled)
  Active: inactive (dead)
  Docs: man:systemd-sysv-generator(8)
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# service asterisk start
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0# service asterisk status
● asterisk.service - LSB: Asterisk PBX
  Loaded: loaded (/etc/init.d/asterisk; generated; vendor preset: enabled)
  Active: active (running) since Wed 2019-06-12 23:52:24 CEST; 7s ago
  Docs: man:systemd-sysv-generator(8)
  Process: 56301 ExecStart=/etc/init.d/asterisk start (code=exited, status=0/SUCCESS)
  Tasks: 59 (limit: 19660)
  CGroup: /system.slice/asterisk.service
          └─56313 /usr/sbin/asterisk

juin 12 23:52:24 server systemd[1]: Starting LSB: Asterisk PBX...
juin 12 23:52:24 server asterisk[56301]: Starting Asterisk PBX: asterisk.
juin 12 23:52:24 server systemd[1]: Started LSB: Asterisk PBX.
root@server:/usr/src/asterisk-16.4.0#
```

Figure III.23: Lancement et vérification du service d'asterisk.

On voit dans cette fenêtre, indiqué en vert, que le service Asterisk est en cours d'exécution et en parfait fonctionnement.

### III.5.3 Configuration d'Asterisk

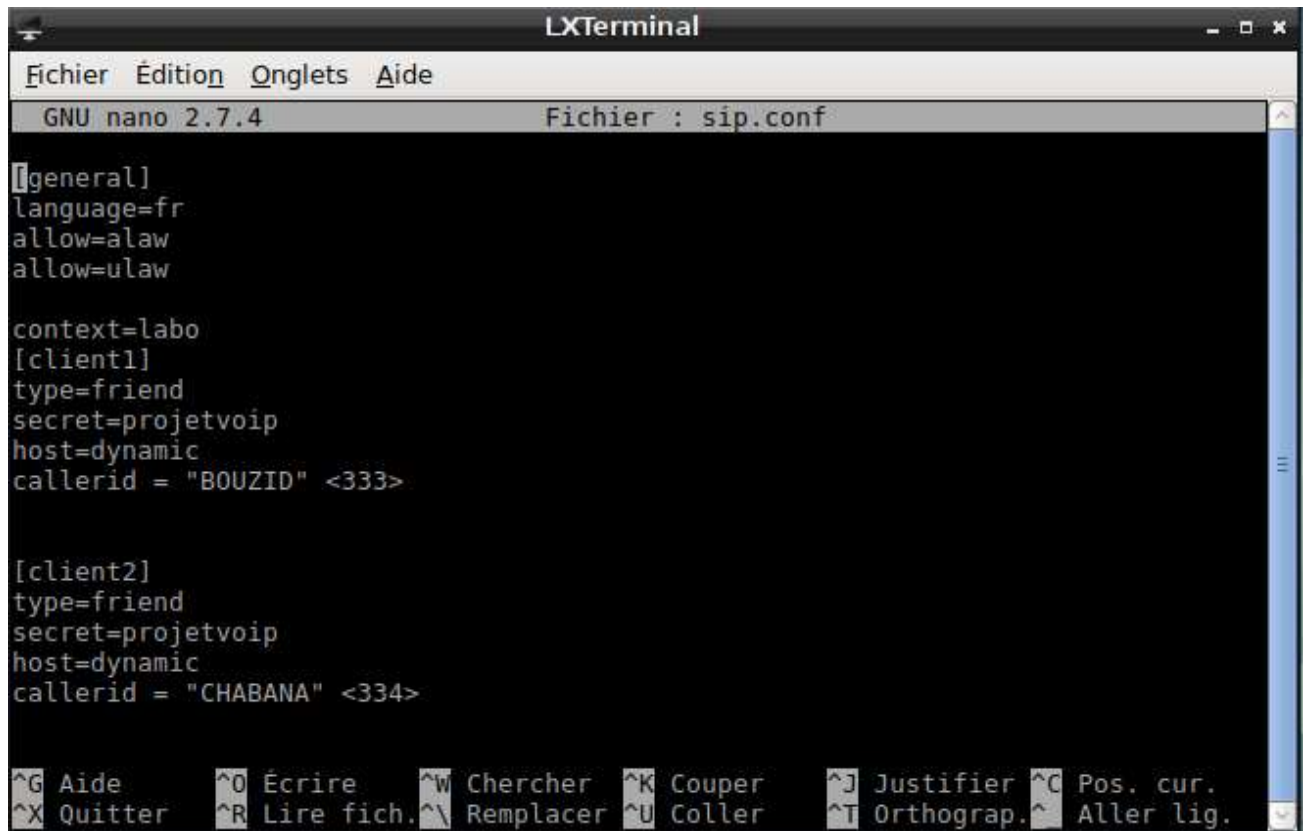
Nous allons faire une configuration des plus simples possible d'Asterisk dans le but de relier nos deux clients virtuels installés auparavant, et cela en modifiant les fichiers suivants :

- **Sip.conf** : C'est à travers ce dossier qu'on déclare et configure les clients SIP ;
- **Extensions.conf** : La configuration du plan d'appel (dialplan).

Ces fichiers se trouvent dans le répertoire `'/etc/asterisk/'`.

### III.5.3.1 Modification du fichier sip.conf

Voici un aperçu de notre fichier 'sip.conf' dont on expliquera les champs au-dessous :



```
LXTerminal
Fichier  Édition  Onglets  Aide
GNU nano 2.7.4  Fichier : sip.conf

[general]
language=fr
allow=alaw
allow=ulaw

context=labo
[client1]
type=friend
secret=projetvoip
host=dynamic
callerid = "BOUZID" <333>

[client2]
type=friend
secret=projetvoip
host=dynamic
callerid = "CHABANA" <334>

^G Aide      ^O Écrire    ^W Chercher  ^K Couper    ^J Justifier ^C Pos. cur.
^X Quitter   ^R Lire fich. ^\ Remplacer ^U Coller    ^T Orthograp. ^_ Aller lig.
```

**Figure III.24:** Fichier sip.conf.

On explique donc la signification de chacun des champs :

- ✓ **[general]** : Cela signifie que toutes les commandes qui suivent, jusqu'au prochain contexte, s'appliqueront à tous les utilisateurs ;
- ✓ **Language=fr** : On définit la langue Française comme langue par défaut ;
- ✓ **Allow=alaw** : Activation du codec 'alaw' ;
- ✓ **Allow=ulaw** : Autorisation du codec 'ulaw' ;
- ✓ **Context=labo** : Définition du contexte 'labo' (qui sera déclaré par la suite dans le fichier 'extension.conf' ;
- ✓ **[client1]** : Toutes les commandes qui suivent ce contexte s'appliqueront au 'client1' ;
- ✓ **Type =friend** : En déclarant le type 'friend', on permet au 'client1' d'émettre et de recevoir des appels ;
- ✓ **Secret=projetvoip** : On indique 'projetvoip' comme mot de passe d'utilisateur ;
- ✓ **Host=dynamic** : Attribution dynamique d'adresse IP pour l'utilisateur par Asterisk ;

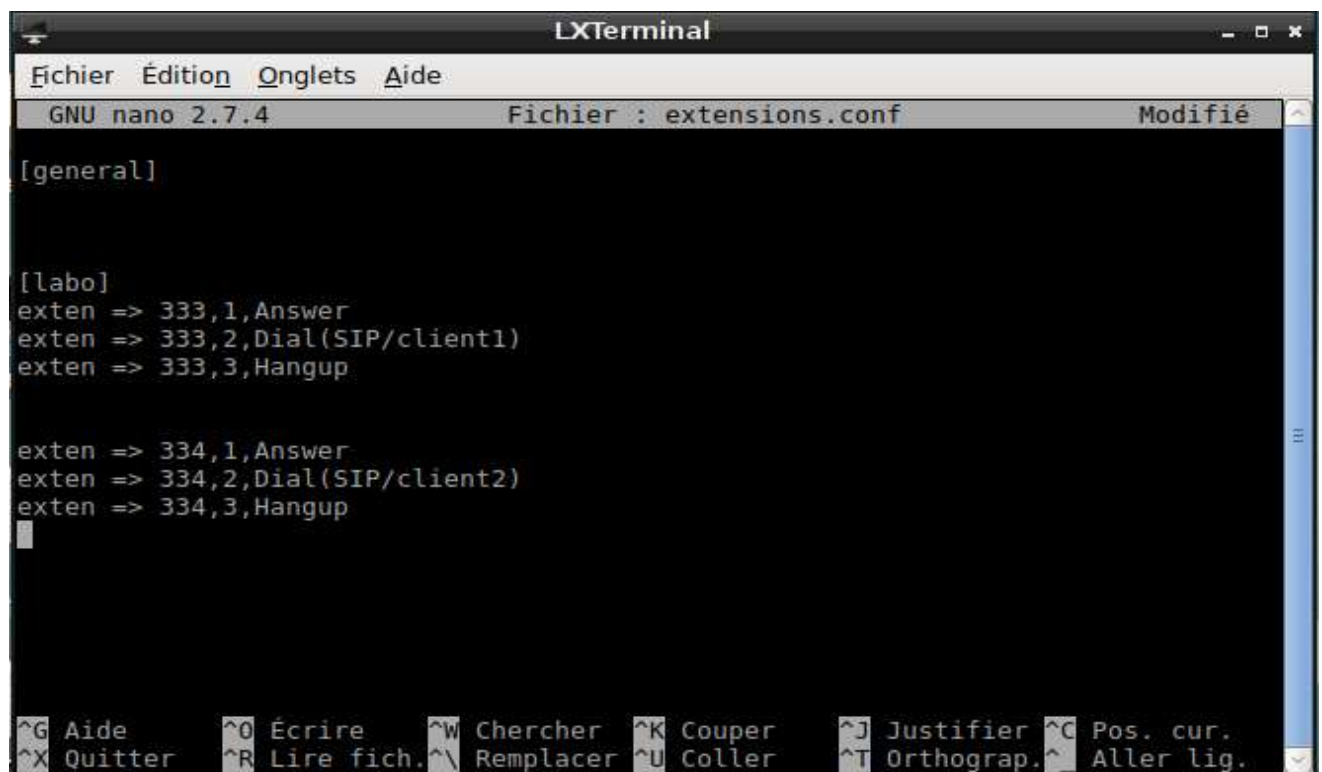
- ✓ **Callerid= "BOUZID" « 333 »** : Attribution du nom 'BOUZID' et du numéro SIP '333' pour le client1.

### Remarque

Les mêmes lignes sont attribuées pour le 'client2'. On donne à ce dernier le nom 'CHABANA' et le numéro '334'.

### III.5.3.2 Personnalisation du fichier extensions.conf

Ci-dessous, un aperçu du fichier '**extensions.conf**' dont on explique les champs par la suite :



```
LXTerminal
Fichier  Édition  Onglets  Aide
GNU nano 2.7.4      Fichier : extensions.conf      Modifié
[general]

[labo]
exten => 333,1,Answer
exten => 333,2,Dial(SIP/client1)
exten => 333,3,Hangup

exten => 334,1,Answer
exten => 334,2,Dial(SIP/client2)
exten => 334,3,Hangup
█

^G Aide      ^O Écrire    ^W Chercher  ^K Couper    ^J Justifier  ^C Pos. cur.
^X Quitter   ^R Lire fich.^_ Remplacer  ^U Coller    ^T Orthograp.^_ Aller lig.
```

**Figure III.25** : Fichier extensions.conf.

On explique donc pour un seul utilisateur :

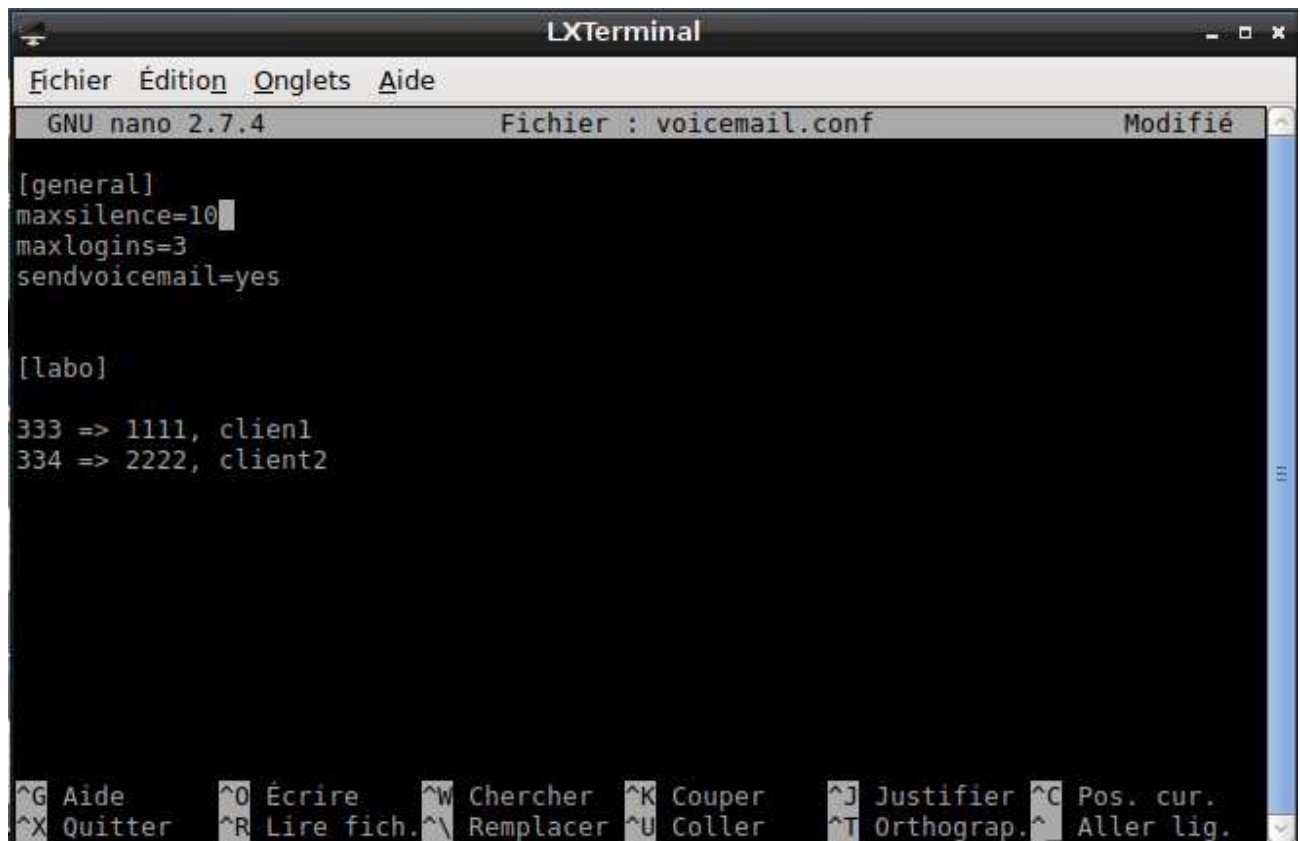
- ✓ **[labo]** : Définition du contexte de travail 'labo' ;
- ✓ **exten= 333,1, Answer** : Numéro '1' de l'ordre de priorité, c'est la commande qui permet de répondre ;

- ✓ **exten= 333,2, Dial (SIP/client1)** : Utilisation du protocole SIP pour la communication ;
- ✓ **exten= 333, 3, Hangup** : c'est la commande qui permet de raccrocher.

Une fois la configuration de base terminée, on passe à l'étape suivante, dans le but d'enrichir un peu notre projet, qui est la création d'un service de messagerie vocale pour les clients.

### III.5.3.3 Implémentation d'un service de boîte vocale

Pour l'implémentation d'un tel service, on va éditer respectivement les deux fichiers 'voicemail.conf' et 'extensions.conf' qui se trouvent dans le répertoire '/etc/asterisk/'. Voici donc un aperçu des deux fichiers après modifications :



```
LXTerminal
Fichier  Édition  Onglets  Aide
GNU nano 2.7.4      Fichier : voicemail.conf      Modifié

[general]
maxsilence=10
maxlogins=3
sendvoicemail=yes

[labo]
333 => 1111, client1
334 => 2222, client2

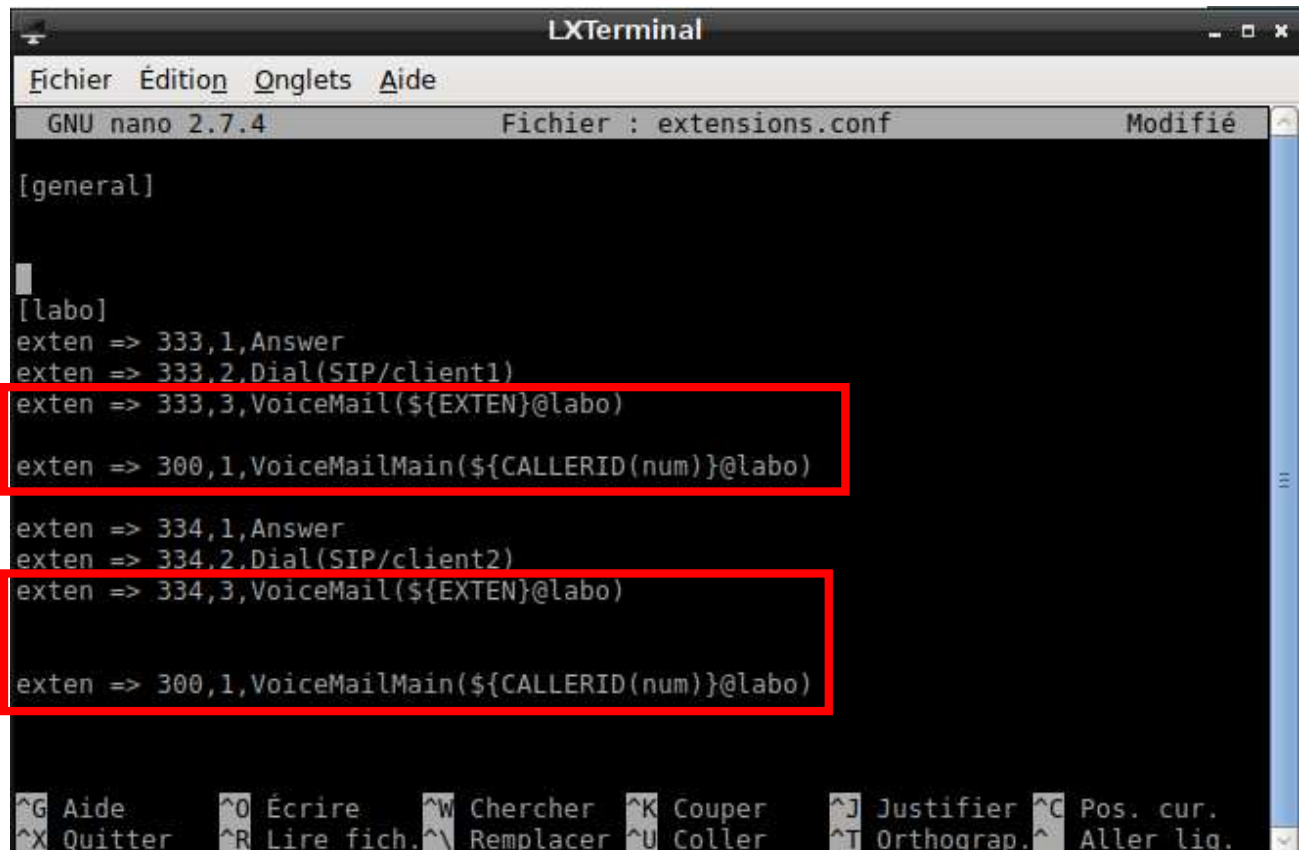
^G Aide      ^O Écrire    ^W Chercher  ^K Couper    ^J Justifier  ^C Pos. cur.
^X Quitter   ^R Lire fich.  ^\ Remplacer  ^U Coller    ^T Orthograp.  ^_ Aller lig.
```

Figure III.26 : Fichier voicemail.conf.

- ✓ **maxsilence=10** : Délais d'attente avant le déclenchement de la boîte vocale (en seconde) ;
- ✓ **maxlogins= 3** : On limite le nombre d'utilisateur simultanés à 3 ;

- ✓ **sendvoicemail=yes** : Autorisation de l'envoi du message vocale ;
- ✓ **333=> 1111, client1** : Définition du mot de passe '1111' pour le client 1 ;
- ✓ **334=> 2222, client2** : Attribution du mot de passe '2222' pour le client 2.

La modification du fichier 'extensions.conf' se fait donc de la sorte :



```
GNU nano 2.7.4      Fichier : extensions.conf      Modifié

[general]

[labo]
exten => 333,1,Answer
exten => 333,2,Dial(SIP/client1)
exten => 333,3,VoiceMail(${EXTEN}@labo)
exten => 300,1,VoiceMailMain(${CALLERID(num)}@labo)

exten => 334,1,Answer
exten => 334,2,Dial(SIP/client2)
exten => 334,3,VoiceMail(${EXTEN}@labo)
exten => 300,1,VoiceMailMain(${CALLERID(num)}@labo)

^G Aide      ^O Écrire    ^W Chercher  ^K Couper    ^J Justifier ^C Pos. cur.
^X Quitter   ^R Lire fich.^_ Remplacer  ^U Coller    ^T Orthograp.^_ Aller lig.
```

**Figure III.27** : Fichier 'extensions.conf' incluant un service de boîte vocale.

On remplace l'ancienne ligne '**exten= 333, 3, Hangup**' par celle-ci :

- ✓ **exten => 333,3,VoiceMail(\${EXTEN}@labo)**: Permet de passer à la boîte vocale de l'appelé au bout de 10 seconde de non réponse ;

Ensuite on rajoute la ligne suivante :

- ✓ **exten => 300,1,VoiceMailMain(\${CALLERID(num)}@labo)**: Cette ligne nous permet d'attribuer le numéro '300' pour la boîte vocale, ainsi un utilisateur pourra consulter sa boîte vocale en composant le '300' puis en introduisant le mot de passe qu'on lui a associé auparavant.

### Remarque

A chaque fois qu'on apporte des modifications à un fichier, qu'il soit '**sip.conf**', '**extensions.conf**' ou '**voicemail.conf**', on se met dans la console d'Asterisk et on tape la commande '**service asterisk restart**' afin de recharger les fichiers.

## III.6 Configuration des softphones pour les clients

Il est nécessaire d'installer un softphone sur son PC pour qu'une personne quelconque puisse communiquer en VoIP. Pour des raisons de simplicité d'installation et d'interfaçage, notre choix s'est porté sur le softphone 3CX.

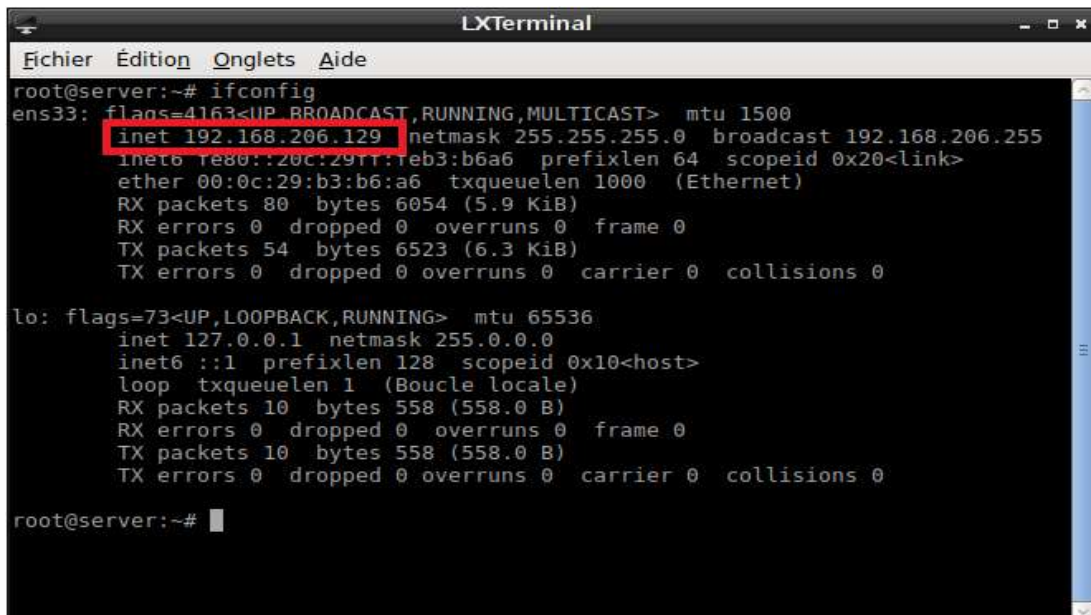
### III.6.1 Définition de 3CX

Le softphone 3CX pour Windows est un softphone gratuit développé par 3CX. Il peut être utilisé pour passer et recevoir des appels téléphoniques VoIP directement depuis votre PC. L'avantage d'utiliser le softphone 3CX pour Windows est que vous pouvez bénéficier d'appels VoIP à prix réduits, voire gratuits. L'interface, facile à utiliser, permet aux utilisateurs de passer et recevoir des appels comme s'il s'agissait d'un véritable téléphone de bureau. [14]

### III.6.2 Configuration du softphone 3CX

Tout d'abord, avant de passer à la configuration du logiciel 3CX, on doit connaître l'adresse IP de notre serveur Asterisk et cela en introduisant la commande '**ifconfig**' comme le montre la figure ci-dessous :





```
root@server:~# ifconfig
ens33: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.206.129 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.206.255
    inet6 fe80::20c:29ff:feb3:b6a6 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether 00:0c:29:b3:b6:a6 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 80 bytes 6054 (5.9 KiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 54 bytes 6523 (6.3 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1 (Boucle locale)
    RX packets 10 bytes 558 (558.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 10 bytes 558 (558.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@server:~#
```

Figure III.28 : Adresse IP du serveur Asterisk.

Au premier lancement de l'application 3CX, après installation, un assistant de configuration nous apparaît. On veille donc à bien remplir les champs comme nous les avons déclarés auparavant. La figure III.28 illustre cela :

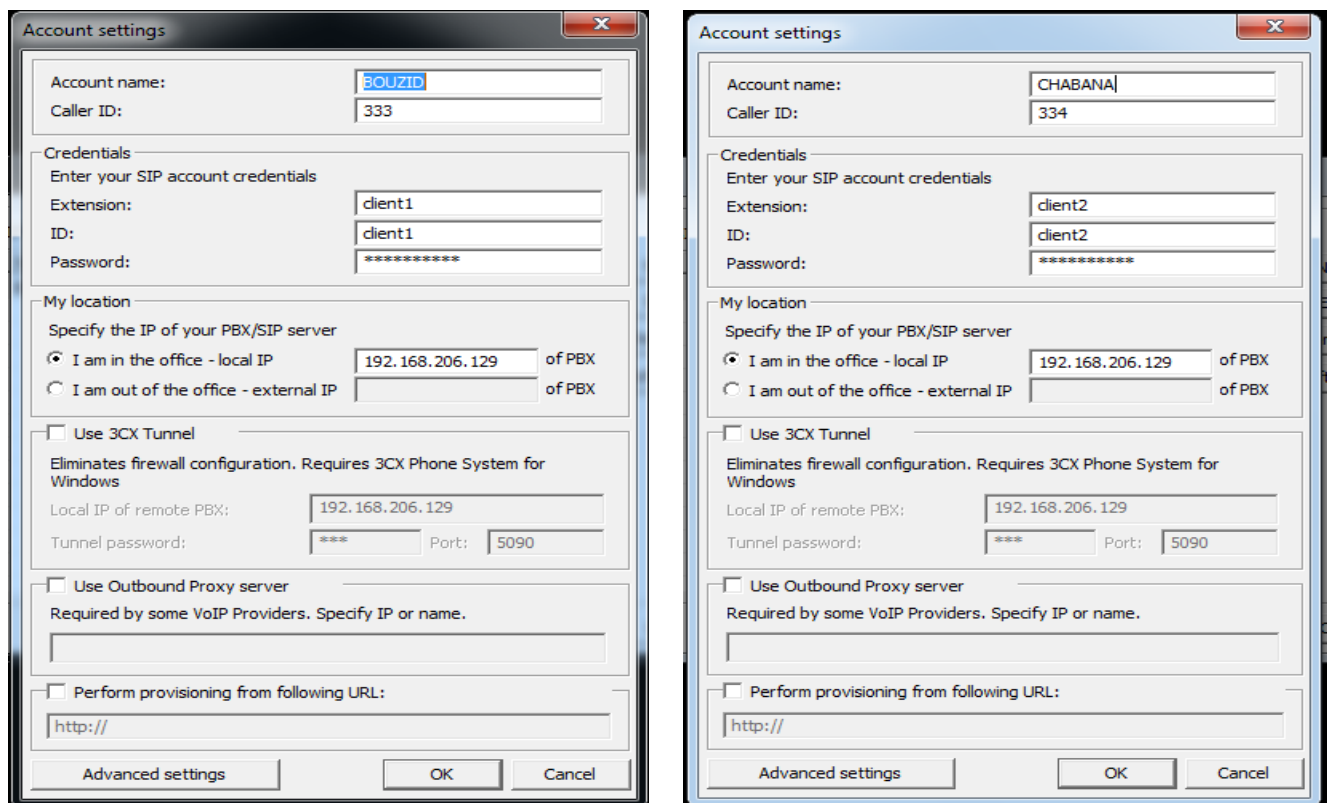


Figure III.29 : Configuration des softphones 3CX.

### III.6.3 Test final de la communication

Comme nous avons terminé l'installation et la configuration de toutes les entités nécessaires, on va procéder au test final, qui consiste d'appeler le client 1 (BOUZID) à partir du client 2 (CHABANA), en composant le '333', on visualise donc la figure suivante :

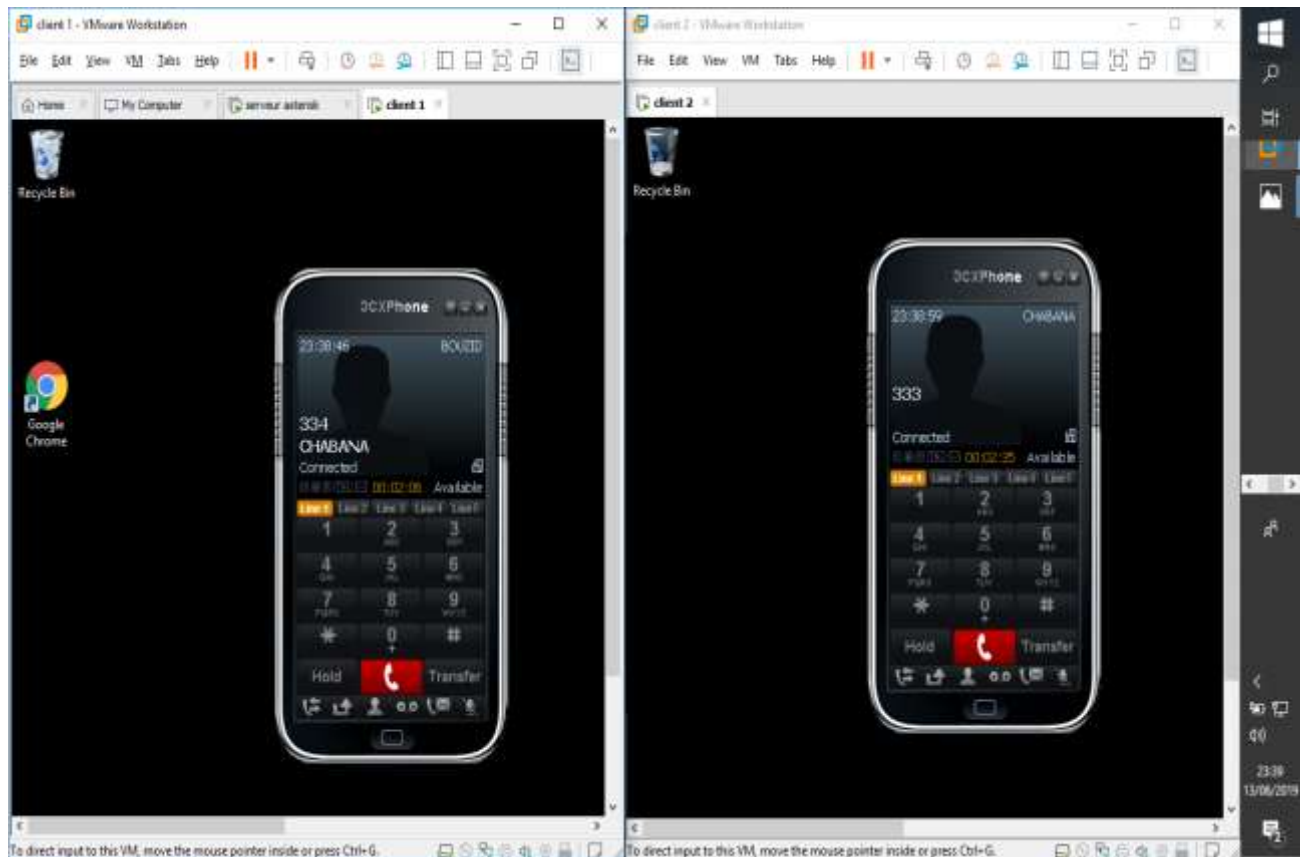
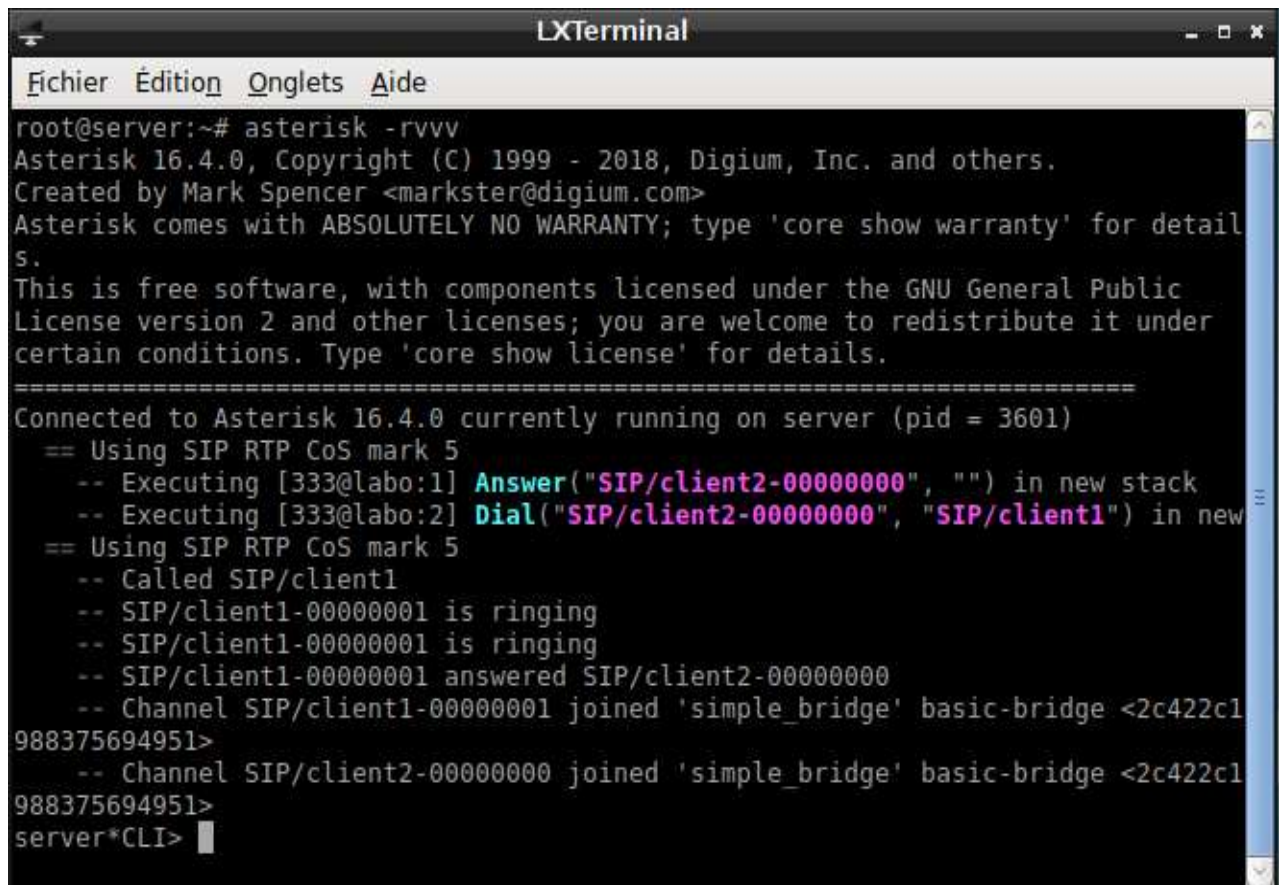


Figure III.30 : Déroulement d'un appel entre le client 1 et le client 2.

On constate bien que l'appel est établi avec succès et que les deux utilisateurs sont entrain de communiquer. Aussi à travers la console Asterisk, en tapant '**asterisk -rvvv**' on visualise la fenêtre suivante :





```
LXTerminal
Fichier Édition Onglets Aide
root@server:~# asterisk -rvvv
Asterisk 16.4.0, Copyright (C) 1999 - 2018, Digium, Inc. and others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for detail
s.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under
certain conditions. Type 'core show license' for details.
=====
Connected to Asterisk 16.4.0 currently running on server (pid = 3601)
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Executing [333@labo:1] Answer("SIP/client2-00000000", "") in new stack
-- Executing [333@labo:2] Dial("SIP/client2-00000000", "SIP/client1") in new
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Called SIP/client1
-- SIP/client1-00000001 is ringing
-- SIP/client1-00000001 is ringing
-- SIP/client1-00000001 answered SIP/client2-00000000
-- Channel SIP/client1-00000001 joined 'simple_bridge' basic-bridge <2c422c1
988375694951>
-- Channel SIP/client2-00000000 joined 'simple_bridge' basic-bridge <2c422c1
988375694951>
server*CLI> █
```

**Figure III.31:** Visualisation des étapes d'un appel en temps réel.

Dans cette figure, on visualise les étapes d'établissement d'un appel d'un point de vue administrateur.

### III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement notre projet et Asterisk, ainsi que ces différentes fonctionnalités. Ensuite on a procédé à l'implantation de l'environnement virtuel, à l'aide de VMware, qui consiste dans l'installation de deux systèmes d'exploitations Windows7 qui nous servent de clients et d'un système Debian 9 qui est une distribution linux. Nous nous avons penché par la suite à l'installation du serveur Asterisk ainsi qu'à la configuration de ce dernier. Et pour finir nous avons configuré les softphones, qui sont installés dans les deux PC's des clients dans le but de mettre en communication nos deux utilisateurs.

Par le biais de ce mémoire, qui s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme de Master en télécommunication, nous avons passé en revue les deux types de réseau public en commençant par le réseau téléphonique commuté (RTC), puis le réseau numérique à intégration de service (RNIS), ainsi que leurs différents inconvénients qui ont poussé à l'émergence de la voix et téléphonie sur IP. Ensuite nous avons détaillé ces concepts, dont la fonction principale est le transport de la voix sur le réseau IP. Comme nous avons aussi présenté les différents protocoles associés à la VoIP, qui se chargent d'assurer et de synchroniser le transport des données en temps réel. Pour finir nous avons déployé un environnement virtuel dans le but de simuler une communication VoIP entre deux clients, principalement à l'aide d'Asterisk.

Plusieurs perspectives peuvent être développées autour d'Asterisk. On peut par exemple le déployer comme un simple standard téléphonique de son domicile ou d'une quelconque administration, voir un département. Asterisk peut également s'insérer dans un cadre professionnel en tant que commutateur téléphonique d'entreprise et de passerelle vers les réseaux téléphoniques classiques.

Tout au long de ce mémoire, nous avons accumulé une masse considérable de connaissances, théoriques et pratiques, dans l'espoir qu'elles nous seront utiles dans le monde professionnel.

# Bibliographie

- [1] L. Ouakil, G. Pujolle, Téléphonie sur IP, 1ère édition, EYROLLES, Paris, 2007, 454 pages.
- [2] P. Sultan, M. Spencer, Asterisk, La téléphonie d'entreprise libre, édition EYROLLES, Paris, 2010, 298 pages.
- [5] S. Irnatene, D. Cheroufa, Service ToIP avec Asterisk pour l'université de Bejaia, Mémoire de fin d'étude en informatique, université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2012.
- [6] C. Servin, Réseaux et télécoms, édition DUNOD, Paris, 2003, 811 pages.
- [7] E. Iris, Le RNIS, présentation et applications pour l'utilisateur, édition DUNOD, Paris, 1989, 188 pages.
- [9] N. Lachachi, Codage paramétrique de la parole en vue de sa transmission sur internet, mémoire Magistère en informatique, université d'Oran, Oran, 2006.
- [11] L. Ouakil, G. Pujolle, Téléphonie sur IP. 2ème édition, EYROLLES, Paris, 2008, 466 pages.
- [12] M. Labidi, Etude et mise en place d'une solution voix sur IP sécurisée, mémoire de fin d'étude, Institut national des sciences appliquées et de technologie, Tunis, 2013.
- [13] A. Raake, Speech Quality of VOIP : Assessment and Prediction, thèse de doctorat, université technique de Ilmenau, Ilmenau, 2007.
- [15] O. Hersent, D. Gurle, J-P. Petit, L'essentiel de la VoIP, 1ère édition, DUNOD, Paris, 2005, 305 pages.
- [16] M. Germain, Introduction à la téléphonie sur IP, Forum ATENA, livre blanc, Paris, 2014.

- [17] T. En-Najjary, Conversion de voix pour la synthèse de la parole, thèse de doctorat en Traitement de signal et télécommunication, université Rennes 1, Rennes, 2005.
- [19] O. Hersent, D. Gurle, J-P. Petit, La VOIX sur IP, 2ème édition, DUNOD, Paris, 2006, 749 pages.
- [24] O. Trablsi, Sécurisation des réseaux de télécommunication et services VOIP par une IDS/IPS open source Snort, Mémoire de fin d'étude en informatique, université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2013.

## Webographie

- [3] <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/R%C3%A9seau%20t%C3%A9l%C3%A9phonique%20commut%C3%A9/fr-fr/>
- [4] J. Ben Salem, Systèmes de communication, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, [http://www.isetn.rnu.tn/archives/fr/images/documents/cours/sys\\_comm.pdf](http://www.isetn.rnu.tn/archives/fr/images/documents/cours/sys_comm.pdf), 2014.
- [8] P. Latu, Technologie RNIS, Université Toulouse III, <https://www.inetdoc.net/pdf/rnis.pdf>.
- [10] <https://www.frameip.com/>
- [14] <https://www.3cx.fr/voip-telephone/softphone/>
- [18] <https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/tip/system-components-of-VoIP>
- [20] accellent, La Qualité de Service de la Voix sur IP, Paris, <https://wallu.pagesperso-orange.fr/VoIP.pdf>
- [21] <https://www.fonvirtual.com/fr/blog/avantages-telephonie-voip/>
- [22] <https://www.elit-technologies.fr/differences-entre-la-toip-et-la-voip/>

- [23] EFORT, H.323 Architecture et Protocoles,  
[http://www.efort.com/r\\_tutoriels/H323\\_EFORT.pdf](http://www.efort.com/r_tutoriels/H323_EFORT.pdf), 2005.
- [25] S. ZNATY, D. Jean-Louis, EFORT, SIP : Session Initiation Protocol,  
[http://www.efort.com/r\\_tutoriels/SIP\\_EFORT.pdf](http://www.efort.com/r_tutoriels/SIP_EFORT.pdf), 2005.
- [26] <https://www.debian.org/intro/about>

## Résumé

La voix sur IP (VoIP) est une technologie qui s'est répandue rapidement du fait de son faible coût par rapport à la téléphonie classique et la facilité de sa mise en place. Cette technologie consiste dans le fait de transmettre de la voix sur le réseau IP sous forme de paquets. La voix est soumise à des traitements spécifiques afin qu'elle puisse être envoyée sur un réseau IP, elle est digitalisée, compressée puis envoyée au récepteur par paquets de données. Les données reçues par le destinataire sont décompressées et converties en voix audible.

Le but principal de notre travail consiste dans l'étude d'un système de communication VoIP, ces mécanismes de fonctionnement ainsi que les différents protocoles utilisés en VoIP (SIP, H.323, RTP, RTCP...). Comme nous avons, aussi, opté pour une réalisation d'un environnement VoIP à l'aide, principalement, de VMware, Asterisk et 3CX.

**Mots clés :** VoIP, ToIP, Asterisk, IPBX, SIP, H.323, RTP, RTCP, RTC, RNIS.

## Abstract

Voice over IP (VoIP) is a technology that has responded quickly because of its low cost compared to traditional telephony and ease of implementation. This technology consists of transmitting voice over the IP network in the form of packets. The voice is subject to specific processing so that it can be sent over an IP network, it is digitized, compressed and sent to the receiver by data packets. The data received by the recipient is uncompressed and converted to an audible voice.

The main goal of our work is the study of a VoIP communication system, these mechanisms of operation as well as the different protocols used in VoIP (SIP, H.323, RTP, RTCP ...). We have, also, opted for a realization of a VoIP environment using, mainly, VMware, Asterisk and 3CX.

**Keywords :** VoIP, ToIP, Asterisk, IPBX, SIP, H.323, RTP, RTCP, RTC, RNIS.

# INTRODUCTION GENERALE

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES



# Chapitre I

## Les réseaux

### téléphoniques publics

# Chapitre II

## La téléphonie et la voix sur IP

# Chapitre III

## Réalisation d'un environnement VoIP à l'aide d'Asterisk