

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En: Télécommunications

Spécialité: Réseaux et systèmes de Télécommunications

Par: Khettab Mohammed Khalil
Lazzoun Nabil

Sujet

**Réalisation d'un serveur IPBX pour les petites structures à
base de Raspberry Pi**

Soutenu publiquement, le 28 / 09 / 2020 , devant le jury composé de :

M MEGNAFI Hicham	MCB	ESSA. Tlemcen	Président
M ABDELLAOUI Ghouti	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M MENZLA Faissal	MAA	Univ. El bayadh	Examineur

2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère Yamina, qui s'est consacré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence au cours de ma vie, doit recevoir à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments de reconnaissance et de mon éternelle gratitude.

Mon père Ali, que dieu bénisse son âme, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent et la confiance reçus de lui.

Mes frères Bachir et Said et mes sœurs Nabila et Souad qui n'ont cessé d'être à mes côtés.

À mon cher oncle khettab abderrahman Cela m'a aidé depuis que j'étais petit jusqu'à ce que je devienne un homme je te remercierai Bq

A mes oncles et tantes

A Mon binôme << Lazzoun Nabil >> et toute sa famille

A Mes ami(e)s ilyes ,fethallah, ibrahim, Mohamed, Noureddine, fabienne

A Mes professeurs de l'Université AbouBakr BELKAID de Tlemcen qui doivent trouver dans ce travail l'accomplissement d'avoir transmis un savoir bien acquis.

Khettab mohammed khalil

DEDICACE

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 et ma

chère mère , que dieu bénisse leurs âmes , qui peuvent être fières et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent et la confiance reçus d'eux.

A ma belle belle-mère pour ses encouragements permanents, et son soutien moral

A mes chères sœurs (hiba et chiraz)

A mes chers frères (imed et yassine)

A mes oncles et tantes

A tout ma famille

A mon binôme « Khettab Mohamed Khalil» et toute sa famille.

A tous mes amis (Azzeddine, Toufik, Amina, Anfel, Abir, Wafae, Feryel, Selma).

A mes camarades (Ilyes, Mohamed, Houssam ,Hamza, Karim)

A toute la promotion Télécom

A tout ce qui me connaît de loin ou de proche et à tout ce qui occupe une place dans mon cœur.

A tous mes collègues sans exception.

LAZZOUN NABIL

Remerciements

Ce jour marque la fin d'une longue période d'étude à l'université Abou bakr Belkaïd Tlemcen.

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 notre encadreur Mr G.Abdellaoui Pour l'orientation, la confiance, la patience qui à constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas être mené au bon port.

Nous remercions beaucoup notre cher professeur Monsieur Megnafi.H

Pour avoir accepté d'être le Président de notre Thème et pour leur intérêt dans notre travail et a Monsieur Menzla .F l'honorable professeur d'être le examinateur de notre projet de fin d'étude.

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.

Annexes (liste des abréviations)

APP :Fonctions spécifiques à une application
BYE :Message de fin de participation à une session
DecNet :Protocole DEC
DOS : Deny Of Service
FXO :Foreigne Xchange Office
FXS :Foreigne Xchange Subscriber
HTTP : HyperText Transfer Protocol
HUB :Historically Underutilized Business
IAX :Inter-Asterisk Xchange
ICMP : Internet Control Message Protocol
IETF : Internet Engineering Task Force
IP : Internet Protocol
IPBX :Internet Protocol Privat Branche Xchange
LAN : Local Area Networks
MAN :Métropolitain AreaNetwork
NAT :Network Address Translation
NetBeui : Protocole Microsoft
O.S :Operating System
OSI :Open Systems Interconnexion
PABX : Privat Automatic Branch Echange
PAN : Personal Area Network
PBX : Privat Branch Echange
PSTN : Public Switched Telephone Network
RNIS :Integrated Services Digital Network
RR : Receiver Report
RSVP : Resource Réserveation Protocol
RTC :Réseau Transmission Commute
RTCP :Real-time Transport Control Protocol
RTP :Real-Time Transport Protocol
SAP :Systems Application sand Products for data processing
SD :Secure Digital
SDES : Source Description
SDP : Session Description Protocol
SIP : Session Initiation Protocol
SR : Sender Report
SRTP :Secure Realtime Transport Protocol
SSH : Secure Shell
TCP : Transmission Control Protocol
TOIP :Telephony Over Internet Protoco
UDP : User Datagram Protocol

UMTS : Universal Mobile Telecommunications Service

VOIP :Voice Over Internet Protocol

WAN: Wide Area Network

ملخص

نقل الصوت عبر بروتوكول الإنترنت هي تقنية اتصالات صوتية ناشئة بسرعة. إنه جزء من نقطة تحول في عالم الاتصالات. في الواقع ، يعد تقارب اللعب الثلاثي (الصوت والبيانات والفيديو) أحد التحديات الرئيسية للاعبين الاتصالات. في هذا الموجز ، اعتمدنا بشكل خاص على استخدام عنوان IP الصوتي في الشبكات المحلية باستخدام Raspberry pi من خلال إتباع عدة خطوات لضمان تكوين إشعار جانب العميل مع خادم Sip.

الكلمات الرئيسية: شبكة المنطقة المحلية ، نقل الصوت عبر

كولبروتو الإنترنت ، Asterisk ، Freepbx ، عملاء SIP .

Résumé

La voix sur IP (Voice over IP) est une technologie de communication vocal en pleine émergence.

Elle fait partie d'un tournant dans le monde de la communication. En effet, la convergence du triple Play (voix, données et vidéo) fait partie des enjeux principaux des acteurs de la télécommunication. Dans ce mémoire, nous nous basé spécialement sur l'utilisation de la voix IP dans les réseaux locaux en utilisant Raspberry pi en suivant plusieurs étapes afin d'assurer la configuration la notification de coté client avec un serveur Sip

Mots-clés: Lan, VoIP, Raspberry pi, Astérisk, freepbx , clients SIP.

summary

Voice over IP is a rapidly emerging voice communication technology.

It is part of a turning point in the world of communication. Indeed, the convergence of triple play (voice, data and video) is one of the main challenges for telecommunications players . In this brief, we have based ourselves specifically on the use of voice IP in local networks using Raspberry pi by following several steps in order to ensure the configuration of the client side notification with a Sip server

Keywords: LAN, VoIP, Raspberry pi, Asterisk, freepbx, SIP clients.

Table des matières

Introduction général.....	1
Chapitre I : Les Réseaux Locaux.....	2
I.1 Introduction	3
I.2 Définition du réseau	3
I.3 Types de réseaux	4
I.3.1 Réseaux locaux LAN.....	4
I.4 Les principales topologies réseaux	5
I.4.1 Topologie des mailles	6
I.4.1.1 Topologie maillée complète.....	6
I.4.1.2 Topologie maillée partielle	6
I.4.2 Topologie en étoile.....	7
I.4.3 Topologie en bus.....	7
I.4.4 Topologie en anneau	8
I.4.5 Topologie de l'arbre	8
I.5 Conclusion.....	8
Chapitre II : étude générale de la voix sur IP	
II.1 Introduction.....	13
II.2 Présentation de la Voix sur IP (VoIP).....	13
II.2.1 Définition.....	13
II.2.1.1 Internet Protocol (IP).....	13
II.2.1.2 La voix sur IP (VoIP).....	14
II.2.2 Fonctionnement.....	14
II.2.2.1 Acquisition du signal	15
II.2.2.2 Numérisation.....	16
II.2.2.3 Compression.....	17
II.2.2.4 Habillage des en-têtes.....	17
II.2.2.5 Emission et transport.....	17
II.2.2.6 Réception.....	17
II.2.2.7 Conversion numérique analogique	18
II.2.2.8 Restitution.....	18
II.2.3 Avantages.....	18
II.2.4 Inconvénients.....	18
II.3 Protocoles de la Voix sur IP.....	19
II.3.1 Le protocole SIP.....	20
II.3.1.1 Serveur Registrar	21
II.3.1.2 Location Serveur	22
II.3.1.3 Serveur Proxy.....	22
II.3.1.4 Serveur Redirect	23
II.3.1.5 Fixation d'un compte SIP.....	23
II.3.2 Le protocole H323	24
II.3.2.1 Pile protocolaire	24
II.3.2.2 Application de l'H323	24
II.3.2.3 Comparaison entre H.323 et SIP	26

II.3.3 Les protocoles de transport.....	26
II.3.3.1 Le protocole RTP	27
II.3.3.2 Le protocole RTCP	28
II.3.3.3 Le protocole ICMP	28
II.3.3.4 Le protocole UDP.....	28
II.3.3.5 Le protocole SRTP	28
II.4 Asterisk	29
II.4.1	29
Définition.....	
II.4.2 Fonctionnalités	29
II.4.3 Le protocole IAX.....	30
II.5 Conclusion.....	32
Chapitre III : Mise en œuvre d'un serveur ipbx embarqué	
III.1 introduction.....	33
III.2 Présentation de la carteRaspberry Pi 3b+.....	33
III.3Installation d'Asterisk sur le Raspberry Pi3b+.....	34
III.3.1 Téléchargement d'Asterisk pour le Raspberry Pi.....	35
III.3.2 Écrire la distribution Asterisk sur notre Raspberry Pi.....	35
III.3.3 Premier démarrage d'Asterisk sur notre Raspberry Pi.....	38
III .3.3.1 Extension du système de fichiers.....	39
III .3.3.2 Correction du fuseau horaire pour Asterisk.....	42
III .3.3.3 Trouvons l'adresse IP de notre Raspberry Pi Asterisk Box..	43
III .4 Présentation de freepbx.....	44
III.5Installation du freepbx sur raspberry pi.....	44
III.5.1Connexion à l'interface Web Asterisk du Raspberry Pi.....	44
III.6 Tests du serveur freepbx avec un cleint sip.....	49
III .6.1Création d'extensions.....	49
III.7 Conclusion	57
III.8 Persperctive du projet	58

Table de figures

Figure I.1 Les différents types de réseaux	4
Figure I.2 Réseau local LAN	5
Figure I.3 Topologie en maille.....	6
Figure I.4 Topologie en étoile.....	7
Figure I.5 Topologie en bus.....	8
Figure I.6 Topologie en anneau.....	8
Figure I.7 Topologie de l'arbre.....	9
Figure II.1 Le modèle OSI et TCP/IP.....	13
Figure II.2 Equipements disponibles pour utiliser la VoIP.....	13
Figure II.3 le fonctionnement d'un PABX.....	15
Figure II.4 Les étapes de la VoIP.....	16
Figure II.5 Protocole de la couche Application de modèle OSI.....	19
Figure II.6 Exemple d'enregistrement SIP.....	20
Figure II.7 Représentation schématique des flux SIP et des flux media lors de l'utilisation d'un serveur proxy.....	21
Figure II.8 Pile protocolaire.....	22
Figure II.9 Les interconnexions avec Asterisk.....	28
Figure II.10 Le protocole IAX.....	29
Figure III.1 Présentation de la carte Raspberry Pi 3b+.....	32
Figure III.2 Système freepbx et carte raspberry pi.....	33
Figure III.3 Sélectionner l'image dans l'outil Etcher.....	35
Figure III.4 Sélectionner un lecteur.....	36
Figure III.5 Flasher l'image sur carte sd.....	36
Figure III.6 Configuration du raspberry pi.....	39
Figure III.7 Menu des options avancées.....	39
Figure III.8 Ouvrir les options avancées.....	40
Figure III.9 Terminer la configuration.....	40
Figure III.10 Configuration du temps.....	41
Figure III.11 Sélectionner la ville.....	42
Figure III.12 Présentation du freepbx.....	43
Figure III.13 Créer et configurer un utilisateur administrateur.....	45
Figure III.14 Freepbx administration.....	45
Figure III.15 Connecter aux freepbx.....	46
Figure III.16 Corriger la langue du système et le fuseau horaire.....	47
Figure III.17 Accès à l'interface Web de FreePBX.....	47
Figure III.18 L'interface Web de FreePBX.....	48
Figure III.19 Créer des extensions.....	48
Figure III.20 Créations du deux user extension 101 et 102.....	48
Figure III.21 Charger les deux extension.....	49

Figure III.22 Créer Sip 101 et sip 102.....	49
Figure III.23 Sip 101.....	50
Figure III.24 Sip 102.....	51
Figure III.25 Appel sortante du sip 101 vers sip 102.....	52
Figure III.26 Mise à jour du freepbx.....	53
Figure III.27 Mise à jour du système.....	53
Figure III.28 Asterisk sip setting.....	54
Figure III.29 Activation support vidéo.....	55

Les tableaux

Tableau II.1 Comparaison entre SIP et H323	23
---	----

Conclusion général

L'objectif de ce projet est de créer un serveur SIP pour VoIP dans les petites structures. Après avoir étudié les différentes étapes pour l'établir.

En premier nous avons vu l'étude générale d'un réseau informatique et ses catégories et en précisément l'un de ses dernières le réseau local (LAN) et ses topologies .En second nous avons vu l'étude générale de la voix sur IP son fonctionnement avec ses différents protocoles Troisièmement nous avons installé et configuré une solution basée sur la carte raspberry pi, et la création des deux clients SIP configuré avec free pbx.

Ce projet nous a permis de découvrir un autre monde tel que le système d'exploitation Linux et la carte Raspberry pi qui sont nouveaux pour nous et qui nous a donné la chance d'ouvrir les yeux sur le milieu professionnel. De plus ça nous à permis d'apprendre à effectuer des recherches spécifiques et de savoir comment gérer leurs travaux dans un intervalle de temps précis.

En somme, la téléphonie sur IP est une technologie révolutionnaire qui défie les règles édictées par la téléphonie RTC. Elle est plus souple, conviviale, ne nécessite pas un investissement lourd, coûte moins chère, propose de nouveaux services et beaucoup d'autres avantages, si bien que toute entreprise qui se veut compétitive et moderne aujourd'hui, jette son dévolu sur la téléphonie sur IP pour gérer ses communications tant internes qu'externes. Elle vise principalement à améliorer le cadre de travail des employés de l'entreprise en libérant l'utilisateur du lieu d'implantation du poste téléphonique.

Chapitre I

Les Réseaux Locaux

I.1 Introduction

Réseau informatiques, est un ensemble de machines relier entre eux. des ordinateurs, des terminaux et des périphériques divers comme des imprimantes. La connexion entre ces différents éléments peut s'effectuer `a l'aide de liens permanents comme des cables, et des supportst sans fil. les dimensions de ces réseaux informatiques sont très variées, depuis les réseaux locaux, reliant quelques éléments dans un même batiment ce que l'on appelle un LAN (Local Area Networks),jusqu'aux ensembles d'ordinateurs disséminés sur une zone géographique importante. Quelle que soit leur étendue, les réseaux informatiques permettent aux utilisateurs de communiquer entre eux et de transférer des informations. Ces transmissions de données peuvent concerner l'échange de messages entre utilisateurs, l'accès a distance a des bases de données ou encore le partage de fichier.

I.2 Définition du réseau

Un réseau est un ensemble d'objets interconnectés les uns avec les autres. Il permet de faire circuler des éléments entre ces objets selon des règles bien définies. [1]

Un réseau en général est le résultat de la connexion de plusieurs machines entre elles, afin que les utilisateurs et les applications qui fonctionnent sur ces dernières puissent échanger des informations. Le terme réseaux en fonction de son contexte peut désigner plusieurs choses.

Il peut désigner l'ensemble des machines, ou l'infrastructure informatique d'une organisation avec les protocoles qui sont utilisés, ce qui 'est le cas lorsque l'on parle de Internet. Le terme réseaux peut également être utilisé pour décrire la façon dont les machines d'un site sont interconnectées. C'est le cas lorsque l'on dit que les machines d'un site (sur un réseau local) sont sur un réseau Ethernet, Token Ring, réseaux en étoile, réseau en bus,... Le terme réseaux peut également être utilisé pour spécifier le protocole qui est utilisé pour que les machines communiquent. On peut

parler de réseaux TCP/IP, NetBeui (protocole Microsoft) DecNet (protocole DEC), IPX/SPX,... Lorsque l'on parle de réseaux, il faut bien comprendre le sens du mot.

I.3 Types de réseaux :

Le réseau informatique, système mis en œuvre pour permettre l'échange de données entre les différents périphériques de ce réseau informatique. Il existe différents types de réseaux informatiques selon les critères suivants : la taille de zone de couverture, le nombre d'utilisateur connecté, le nombre et les types des services disponibles, et le domaine de responsabilité. Voici ci-dessous les principales catégories :

- ✓ Personal Area Network (PAN) Réseaux Personnel
- ✓ Local Area Network (LAN) ou Réseaux Local
- ✓ Metropolitan Area Network (MAN) Réseaux Métropolitain
- ✓ Wide Area Network (WAN) Réseaux Etendu[2]

Dans ce document, nous nous intéresserons principalement au LAN.

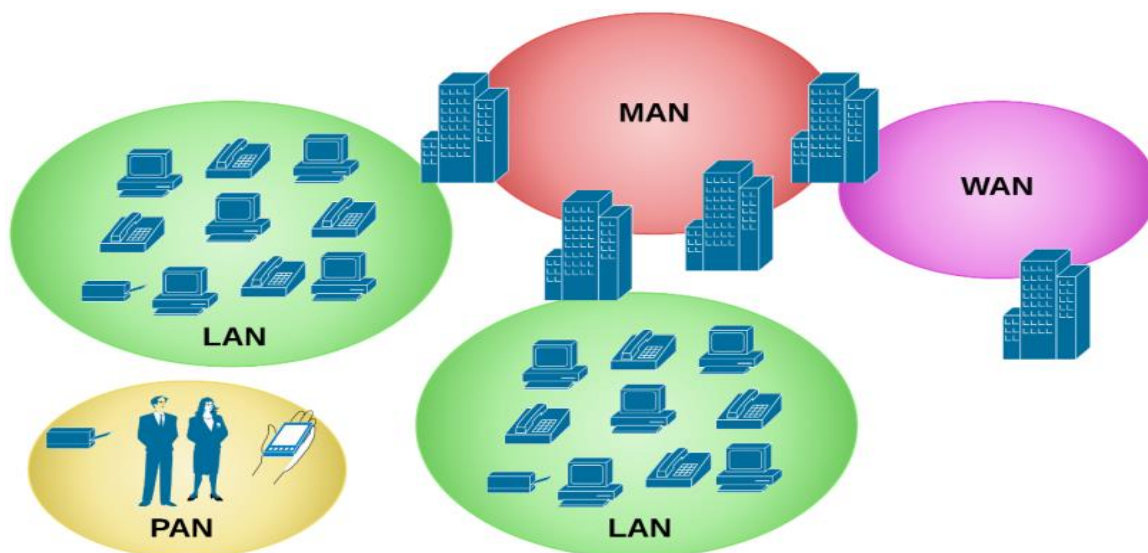


Figure I.1 Les Différents types de réseaux

I.3.1 Réseaux locaux LAN :

Pour assurer la communication entre leurs équipements informatiques, les entreprises installent des réseaux locaux, LAN (Local Area Network). Ces réseaux permettent d'interconnecter de manière relativement simple les différents équipements (micro-ordinateurs, imprimantes, stations de travail d'un système client/serveur, etc.). En bureautique, les réseaux locaux permettent aux utilisateurs de s'envoyer des messages, de travailler à plusieurs sur des documents, de gérer leurs agendas, d'accéder à des bases de données communes, ou encore d'effectuer des tirages sur des imprimantes partagées. Il existe une grande variété de réseaux locaux qui se distinguent par leur structure, leurs protocoles d'accès, les supports sur lesquels ils transmettent et leurs performances en termes de capacité et de fiabilité.[3]

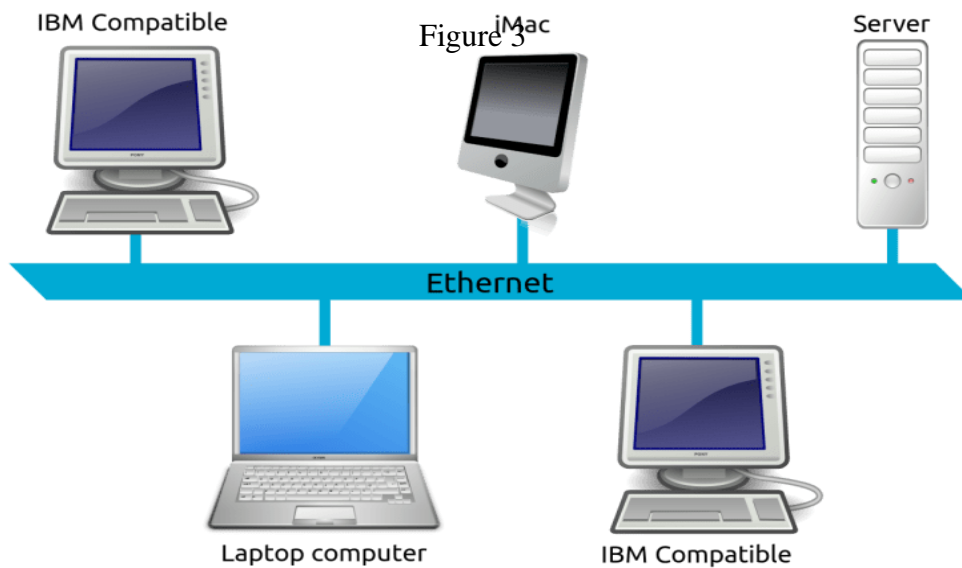


Figure I.2 Réseau local LAN

I.4 Les principales topologies réseaux :

La topologie d'un réseau représente la disposition de celui-ci. La façon dont les différents nœuds au sein d'un réseau sont connectés les uns aux autres et communiquent est déterminée par cette même topologie du réseau.

Les topologies sont soit physiques (la disposition physique des appareils sur un réseau), soit logiques (la façon dont les signaux agissent sur le support réseau, ou la façon dont les données passent d'un appareil à l'autre à travers le réseau). Je vais ici évoquer les cinq principales topologies réseaux.

I.4.1 Topologie des mailles :

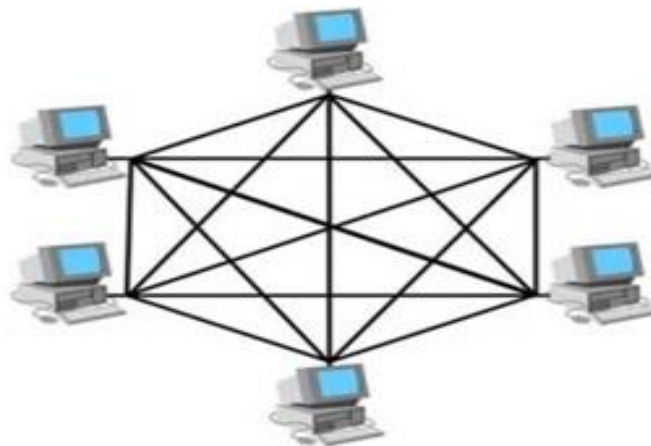


Figure I.3 Topologie en maille

Dans un réseau maillé, les dispositifs sont connectés avec de nombreuses interconnexions redondantes entre les nœuds du réseau. Dans une véritable topologie de maillage, chaque nœud a une connexion avec tous les autres nœuds du réseau. Il existe deux types de topologie maillé :

I.4.1.1 Topologie maillée complète :

Dans ce cas de figure, chaque nœud a un circuit qui le relie à tous les autres nœuds du réseau.

Le maillage complet est assez coûteux à mettre en œuvre, mais c'est lui qui offre la plus grande quantité de redondance. Ainsi en cas de défaillance de l'un de ces nœuds, le trafic réseaux peut être dirigé vers n'importe lequel des autres nœuds. Le maillage complet est généralement utilisé aux réseaux de longue distance. [4]

I.4.1.2 Topologie maillée partielle :

Solution moins coûteuse à mettre en œuvre mais qui produira moins de redondance que la topologie maillée complète. Avec un maillage partiel, certains nœuds sont organisés selon un schéma de maillage complet, mais d'autres ne sont connectés qu'à un ou deux nœuds du réseau. La topologie maillée partielle se retrouve couramment dans les réseaux qu'on pourrait appeler périphériques aux réseaux longue distance évoqués au dessus. [4]

Avantage principal : Topologie la plus robuste et la plus sûre.

Inconvénient principal : Coûts de mise en place importants. [4]

I.4.2 Topologie en étoile :

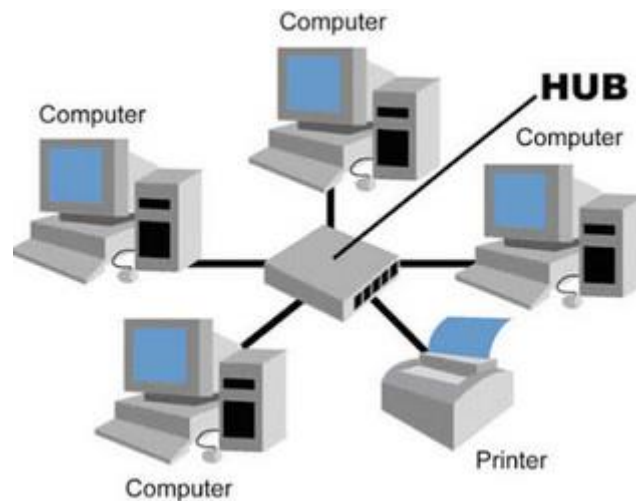


Figure I.4 Topologie en étoile

Dans un réseau en étoile, les périphériques sont connectés à un ordinateur central appelé "hub". Les nœuds communiquent sur le réseau en faisant passer simplement les données par ce hub.

Avantage principal : Dans un réseau en étoile, un nœud qui se verrait être défectueux n'affectera pas le reste du réseau.

Inconvénient principal : Si l'ordinateur central qui fait office de hub tombe en panne, c'est l'ensemble du réseau qui deviendra inutilisable. [4]

I.4.3 Topologie en bus :

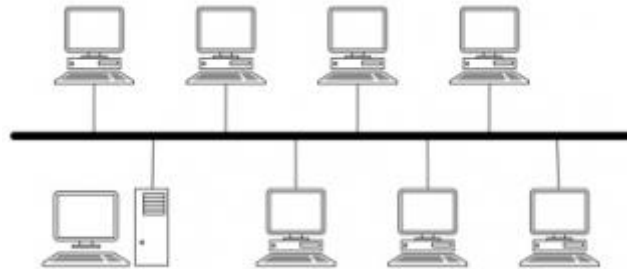


Figure I.5 Topologie en bus

Ici il existe un câble central appelé bus qui relie entre eux tous les appareils sur le réseau. Il est un peu la colonne vertébrale de ce réseau. Les réseaux de bus sont relativement peu coûteux ainsi que faciles à installer dans le cadre d'un petit réseau. Les systèmes Ethernet utilisent aujourd'hui une topologie en bus. [4]

Avantage principal : Il est facile de connecter un nouvel ordinateur ou appareil à ce type de réseaux et généralement moins de câbles qu'une topologie en étoile seront utilisés. [4]

Inconvénient principal : L'ensemble du réseau s'arrête s'il y a un soucis avec le câble faisant office de bus et il peut être difficile d'identifier le problème en cas de soucis. [4]

I.4.4 Topologie en anneau :

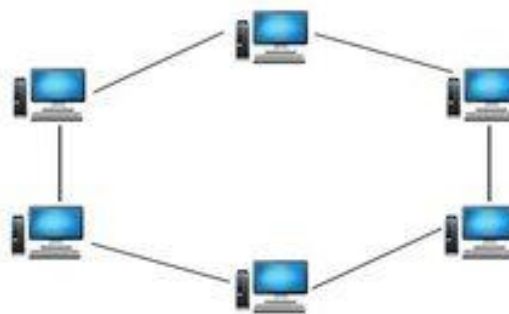


Figure I.6 Topologie en anneau

Ici notre réseau local aura une topologie physiquement similaire à un anneau. C'est-à-dire que tous les nœuds de ce réseau sont connectés en boucle fermée. Les informations transitent autour de l'anneau à travers tous ces nœuds. Si le message transféré concerne le nœud par lequel il transite, il sera tout simplement intercepté. [4]

Avantage principal : L'avantage principal d'un réseau en anneau est qu'il est plus facile avec celui-ci de couvrir de plus grandes distances en comparaison avec les autres topologies. En effet chaque nœud régénère les messages au fur et à mesure que ceux-ci transitent. [4]

Inconvénient principal : Un message peut transiter par beaucoup de nœuds.

I.4.5 Topologie de l'arbre :

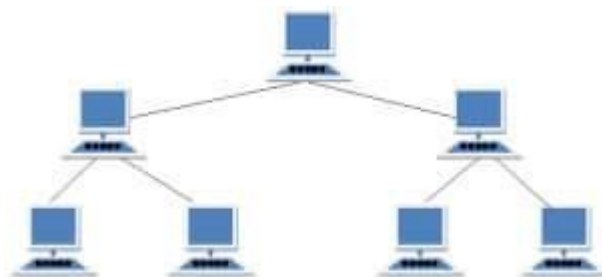


Figure I.7 Topologie de l'arbre

Topologie de l'arbre : Il s'agit d'une topologie qu'on pourrait qualifier "d'hybride". Elle combine les caractéristiques des topologies en bus et en étoile. Ici, des groupes de réseaux configurés en étoile sont connectés à un câble faisant office de bus. [4]

Avantage principal : Une topologie en arbre est un bon choix pour les grands réseaux informatiques car l'ensemble du réseau est divisé en parties et est donc plus facile à gérer. [4]

Inconvénient principal : L'ensemble du réseau est dépendant d'éléments centraux et une défaillance de ces éléments peut paralyser l'ensemble du réseau. [4]

I.5 Conclusion

La technologie utilisée dans le LAN est très réussie, principalement en raison de la configuration facile et des concessions de prix. Ce succès a encouragé l'adaptation de ces technologies à différents environnements tels que les grandes villes ou les réseaux publics. Par conséquent, la technologie Ethernet qui a été initialement optimisée pour le réseau local a abouti à une solution Ethernet opérateur adaptée aux réseaux opérateurs. L'Ethernet de classe opérateur nécessite des ajustements à la norme Ethernet pour augmenter l'échelle et promouvoir la gestion et le support de la qualité de service. Ces adaptations sont actuellement à l'étude dans des organismes de normalisation. De plus, l'Ethernet de classe opérateur permet aux opérateurs de fournir la technologie Ethernet en tant que service à leurs clients. Le service permet aux clients d'utiliser le réseau de l'opérateur pour se connecter en toute transparence à leur réseau local sur des sites distants.

Chapitre II

Etude générale de la voix sur IP

II.1 Introduction

La voix sur IP est une technologie de communication qui a été utilisée pour la première fois en 1996, à cette époque elle était nommée H323. Ces dernières années, la VoIP est devenue très populaire. Une grande majorité des entreprises modernes l'utilise. En effet, la VoIP a de nombreux avantages.

La VoIP est l'un des services de télécommunications les plus performants et les plus dynamiques basés sur une suite de protocoles Internet. La VoIP permet aux utilisateurs d'utiliser Internet comme moyen de transmission pour la communication vocale.

Le support utilisé peut être le réseau public Internet ou un réseau privé. En d'autres termes il s'agit d'une technologie de transport de la voix sur un réseau IP, PABX+passerelle+réseau WAN IP.

L'objectif de ce chapitre est de présenter des généralités autour de cette technologie. Nous commencerons par définir la VoIP et présenter son principe de fonctionnement. Ensuite, nous présentons des protocoles VoIP de signalisation et de transport ainsi que leurs principes de fonctionnement et de leurs principaux avantages et inconvénients.

II.2 Présentation de la Voix sur IP (VoIP)

II.2.1 Définitions

II.2.1.1 Internet Protocol (IP)

Internet Protocol (abrégé en IP) introduit par Vint Cerf et Bob Kahn en 1974, est une famille de protocoles de communication de réseaux informatiques conçus pour être utilisés sur Internet. Les protocoles IP sont au niveau 3 dans le modèle OSI [5]. Les protocoles IP s'intègrent dans la suite des protocoles Internet et permettent un service d'adressage unique pour l'ensemble des terminaux connectés [5].

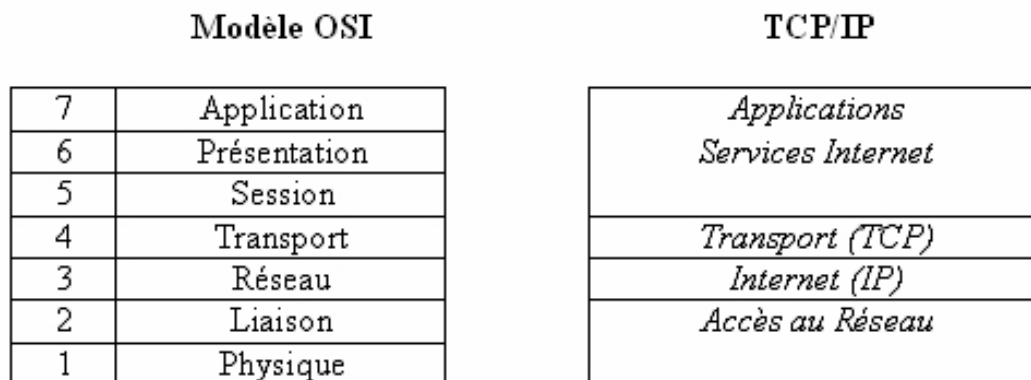


Figure II.1 le modèle OSI et TCP/IP

II.2.1.2 La Voix sur IP (VoIP)

La téléphonie VoIP (Voice over Internet Protocol) est une technologie basée sur la commutation de paquet, permet la transmission de la voix en utilisant le protocole IP. Elle est ainsi capable de fournir des services de communication flexibles, tout en intégrant les services téléphoniques classiques avec les services et applications informatiques .

La VoIP est à présent disponible sur de nombreux Smartphones, ordinateurs et tablettes [6]. Cette technologie est complémentaire de la téléphonie sur IP (« ToIP » pour Telephony over Internet Protocol). La ToIP concerne les fonctions réalisées par un commutateur téléphonique PABX.



Figure II.2 Equipements disponibles pour utiliser la VoIP [7]

II.2.1.3 PABX :

Privat Automatic Branch Exchange (PABX) est un système de commutation téléphonique interne qui établit des connexions entre les téléphones internes d'une organisation privée (ou d'une entreprise) et les connecte également au réseau public de télécommunications via diverses interfaces.

Le PABX peut avoir différents types d'extensions telles que téléphone analogique, téléphone numérique, IP Téléphone, etc. Ce système bascule les appels entre les utilisateurs sur les lignes locales tout en permettant à tous les utilisateurs pour partager un certain nombre de lignes téléphoniques externes.

À l'origine, de tels systèmes appelés PBX (Private Branch Exchange) nécessitaient l'utilisation d'un opérateur. Actuellement, presque tous les échanges de branches privées sont automatiques; l'abréviation "PBX" implique généralement un "PABX". Le but principal d'un PABX est d'économiser le coût d'exiger une ligne individuelle pour chaque utilisateur des opérateurs téléphoniques PSTN (Public Switched Telephone Network).

Généralement, le PABX est détenu et exploité par l'entreprise plutôt que par le téléphone Entreprise. Initialement, les centraux privés utilisaient la technologie analogique. Aujourd'hui, PABX utilise également la technologie numérique ou la technologie IP prenant en charge les terminaux IP. L'industrie du PABX connaît une croissance rapide et offre de nombreuses installations basées sur IP.

Le but de ce document d'étude est d'expliquer brièvement le besoin et l'utilisation d'IP PABX, et l'exigence d'un document standard séparé pour PABX basé sur IP pur.

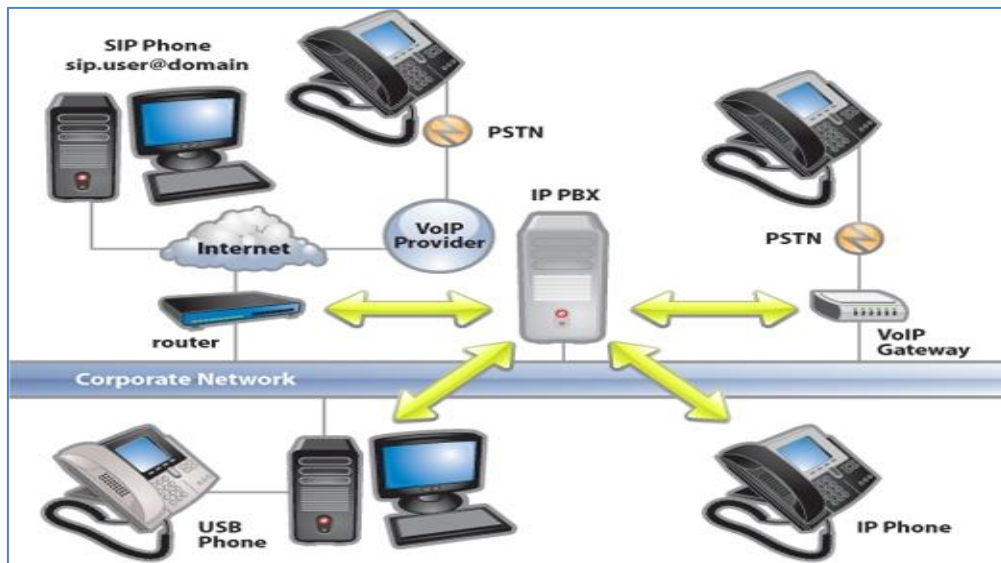


Figure II.3 le fonctionnement d'un PABX [7]

Le système téléphonique IP, ou IPBX, est au centre de cette image. Du haut, vous pouvez voir le réseau d'entreprise. Ceci est le réseau local. Grâce à ce réseau, les ordinateurs exécutant des clients SIP tels que les applications 3CX et les téléphones SIP se connectent directement au PBX. Sur la gauche, vous pouvez voir le routeur / pare-feu d'entreprise connecté à Internet. De là, il peut se connecter à des extensions distantes sous la forme d'ordinateurs hébergeant des applications 3CX, des téléphones IP distants, des appareils portables avec des applications 3CX pour Android ou iOS, ou via des ponts PBX. En utilisant un opérateur VoIP, vous pouvez vous connecter au réseau PSTN. A droite, une passerelle VoIP connecte le PBX directement au réseau PSTN.

II.2.2 Fonctionnement

Le principe est la numérisation de la voix, c'est-à-dire le passage d'un signal analogique à un signal numérique, voir Figure II.4. Les étapes sont comme suit [8] :

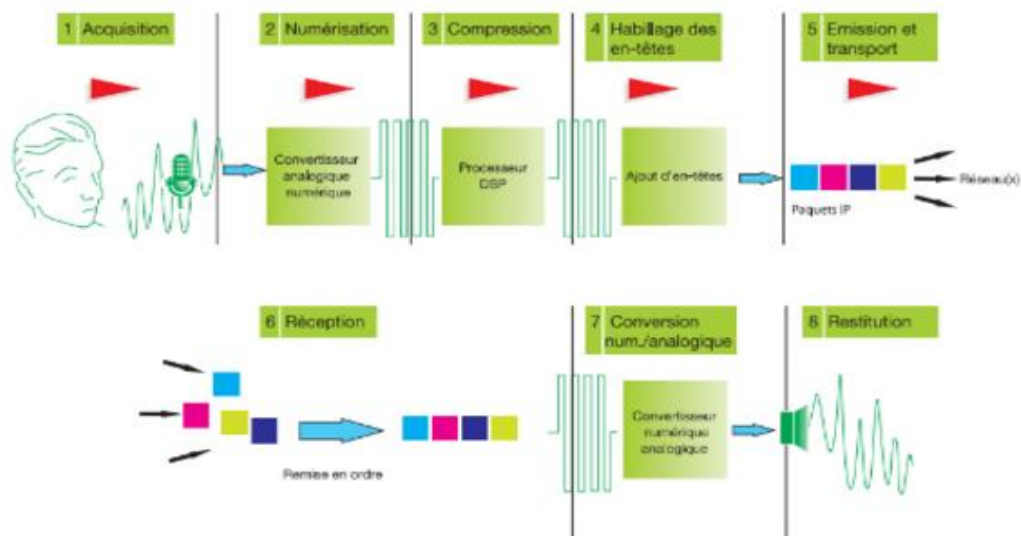


Figure II.4 Les étapes de la VoIP

II.2.2.1 Acquisition du signal

La première étape consiste bien entendu à capter la voix à l'aide d'un microphone, qu'il s'agisse d'un téléphone ou d'un casque.

II.2.2.2 Numérisation

La voix passe ensuite à travers un convertisseur analogique-numérique qui effectue deux tâches distinctes: - Echantillonnage du signal sonore: un échantillonnage périodique de ce signal - Quantification: qui consiste à attribuer une valeur numérique à chaque échantillon. Plus les échantillons sont codés sur un grand nombre de bits, meilleure est la qualité.

II.2.2.3 Compression

Le signal une fois numérisé peut être traité par un DSP (Digital Signal Processor) qui le compressera, c'est-à-dire réduira la quantité d'informations nécessaires à son expression. L'avantage de la compression est de réduire la bande passante requise pour transmettre le signal.

II.2.2.4 Habillage des en-têtes

Les données doivent encore être enrichies d'informations avant d'être converties en paquets de données à envoyer sur le réseau.

II.2.2.5 Emission et transport

Les paquets sont acheminés du point de transmission pour atteindre le point de réception sans qu'un chemin spécifique soit réservé pour leur transport.

II.2.2.6 Réception

Lorsque les colis arrivent à destination, il est indispensable de les remplacer dans le bon ordre et assez rapidement. Sinon, une dégradation de la voix se fera sentir.

II.2.2.7 Conversion numérique analogique

La conversion numérique-analogique est l'étape réciproque de l'étape 2.

II.2.2.8 Restitution

Dès lors, la voix peut être transcrite via le haut-parleur du casque, du combiné téléphonique ou de l'ordinateur.

II.2.3 Avantages

Par rapport à la téléphonie traditionnelle, la téléphonie IP présente plusieurs avantages. Parmi eux, la réduction considérable des coûts, notamment pour les appels internationaux. En effet, le réseau est basé sur la connexion Internet afin que les opérateurs de différents pays n'aient plus besoin de conclure des accords spécifiques entre eux, ce qui est la

principale raison des tarifs élevés pour les appels internationaux réguliers. Cela offre à l'entreprise la possibilité de réaliser d'importantes économies. La voix sur IP améliore également l'organisation du travail de l'entreprise car les câbles ne sont plus une contrainte. Dans le cas d'une entreprise qui a choisi la téléphonie IP basée sur le Cloud, chaque utilisateur peut conserver son numéro quel que soit l'endroit où il se trouve ou l'appareil qu'il utilise. Tant qu'il a accès à Internet, il peut passer des appels avec son numéro. Alors que le marché tend de plus en plus vers cette avancée technologique, investir dans la téléphonie IP, c'est investir dans l'avenir. Tous les équipements étant regroupés sur un réseau commun, cela offre une grande flexibilité et un grand confort d'utilisation. Les appels sont enregistrés dans une base de données. Combinés avec un logiciel CRM, ces enregistrements sont un atout important car ils peuvent améliorer considérablement la relation avec les clients. Il est également plus facile de contrôler les appels et le trafic.

II.2.4 Inconvénients et les risques

Malgré tous les avantages présentés ci-dessus, il existe des risques et des inconvénients. Ces risques se situent principalement au niveau de la sécurité et du réseau. En effet, la téléphonie IP est exposée à des risques liés à Internet tels que le piratage de lignes ou le vol de données. Les personnes malveillantes peuvent également saturer ou écouter les répliques. Il est donc important de protéger votre ligne téléphonique pour éviter toute perte. Par exemple, il est possible de crypter la communication et d'utiliser un scanner de vulnérabilité VoIP. Heureusement, les fournisseurs proposent des solutions pour éviter ces inconvénients. Le réseau téléphonique dépend également de la qualité du réseau Internet et du courant. En cas de défaillance de ce dernier, la communication sera coupée. Il est donc essentiel d'avoir une bonne connexion Internet et de bien choisir votre opérateur.

Ainsi, la téléphonie IP présente de nombreux avantages pour une entreprise. Parmi eux, la possibilité de passer des appels en interne ou en extérieur, voire à l'international à des coûts très réduits. Les utilisateurs ne sont plus obligés de rester dans leur bureau ou disposent d'un outil spécifique pour pouvoir passer des appels avec leur numéro, il leur suffit d'accéder à un ordinateur ou un Smartphone connecté à Internet. Le matériel étant disponible sur un Cloud, l'entreprise est libérée de toute maintenance. Cependant, il existe également des inconvénients localisés principalement en termes de sécurité. Il est très important d'assurer la protection du réseau afin de ne pas être confronté à des pirates qui peuvent facilement pénétrer dans le système s'il n'est pas sécurisé. Parce que les appels sont enregistrés, une personne malveillante peut y accéder et voler des informations confidentielles et essentielles le bon fonctionnement de l'entreprise. Il est donc nécessaire de choisir une solution sur mesure pour que l'entreprise puisse profiter de tous les avantages. Pour plus d'informations, n'hésitez pas à prendre contact avec nos experts chez Infodeos.

II.3 Protocoles de la Voix sur IP (VoIP)

II.3.1 Le protocole SIP

Le protocole SIP (Session Initiation Protocol) est, comme son nom l'indique un protocole d'initialisation de sessions multimédias [9]. C'est un protocole jeune mais qui a le "vent en poupe" car soutenu par bon nombre d'industriels qui travaillent à son élaboration et à son développement. C'est le protocole qui devrait être retenu pour l'établissement des communications types visioconférence sur UMTS (mobiles de troisième génération).

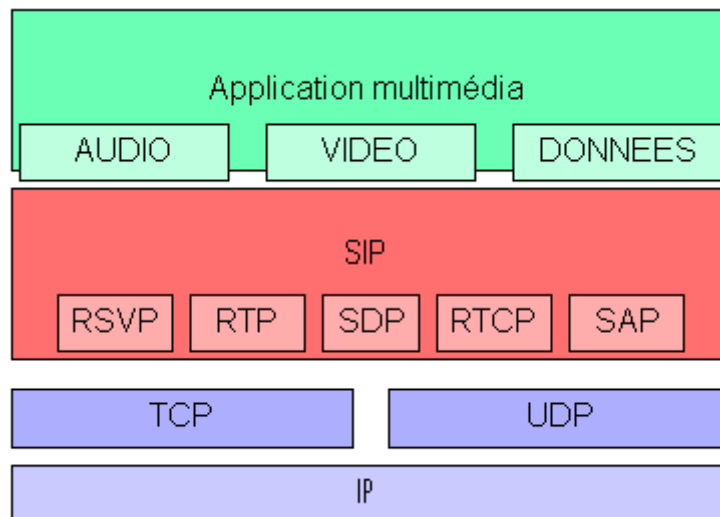


Figure II.5 protocole de la couche Application de modèle OSI[9]

SIP est un protocole de signalisation appartenant à la couche application du modèle OSI. Son rôle est d'ouvrir, modifier et libérer les sessions ou appels ouverts entre un ou plusieurs utilisateurs. Il se charge de l'authentification et de la localisation des multiples participants mais également de la négociation sur les types de média utilisables par les différents participants en encapsulant des messages SDP (Session Description Protocol). SIP ne transporte pas les données échangées durant la session comme la voix ou la vidéo. SIP étant indépendant de la transmission des données, tout type de données et de protocoles peut être utilisé pour cet échange. Cependant, le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) assure le plus souvent les sessions audio et vidéo.

Il faut savoir que le protocole SIP est pour l'instant moins utilisé que le protocole H.323 car il est beaucoup plus récent. Mais il se développe très rapidement et sa simplicité de mise en œuvre lui confère un réel avantage. La plupart des grands constructeurs travaillent maintenant sur ce protocole. Le fait de travailler sur ce protocole a aussi été une des raisons de notre choix de projet car c'est un protocole prometteur qui s'insère parfaitement dans le mouvement émergent de convergence des réseaux téléphonique vers les réseaux IP.

II.3.1.1 Serveur Registrar

Afin de pouvoir joindre une personne à partir de son adresse SIP, une entité dans le réseau doit maintenir une correspondance (mapping) entre les adresses IP et les adresses SIP : c'est le rôle du serveur Registrar. Un utilisateur peut donc changer d'adresse, il lui suffit de s'inscrire auprès du Registrar en lui indiquant son adresse SIP et son adresse de machine sur le réseau.

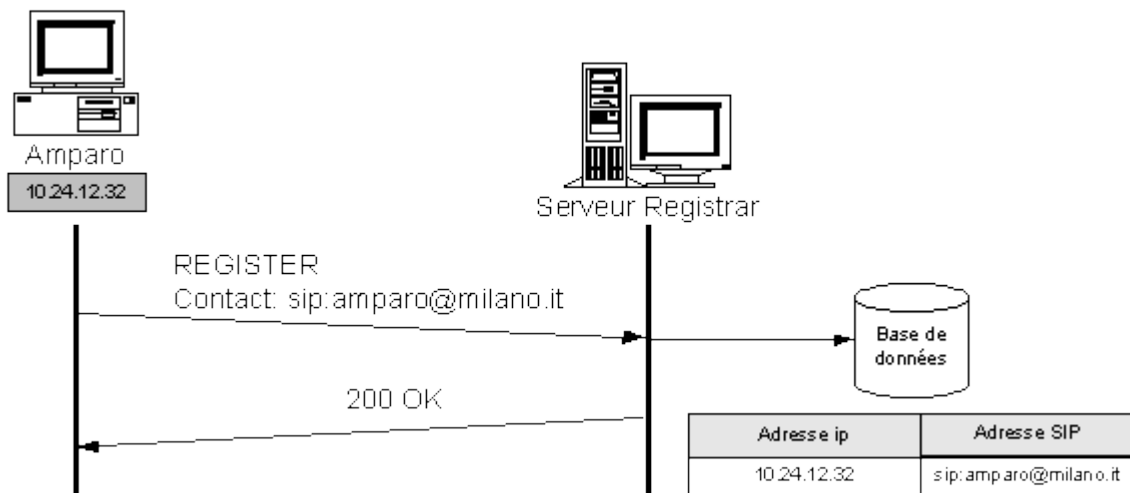


Figure II.6 Exemple d'enregistrement SIP

La Figure II.6 montre l'enregistrement du terminal d'Amparo sur un serveur Registrar. A la réception du message REGISTER, le serveur Registrar a accès à l'adresse IP de la source, Amparo, dans l'en-tête IP du message. Il enregistre alors la correspondance entre cette adresse IP et l'adresse SIP donnée dans le champ « Contact : », soit ici « sip:amparo@milano.it ».

I.3.1.2 Location Serveur

Lorsqu'une entité SIP souhaite joindre un correspondant à partir de son adresse SIP, elle est renseignée par le Location server qui accède à la base d'information renseignée et tenue à jour par le Serveur Registrar [9].

II.3.1.3 Serveur Proxy

Un serveur proxy a la charge de router les messages SIP. Il a uniquement un rôle dans la signalisation et il ne gère pas de medias. Il n'est en général à l'origine d'aucune requête excepté la requête CANCEL utilisée pour libérer une session pendante [9].

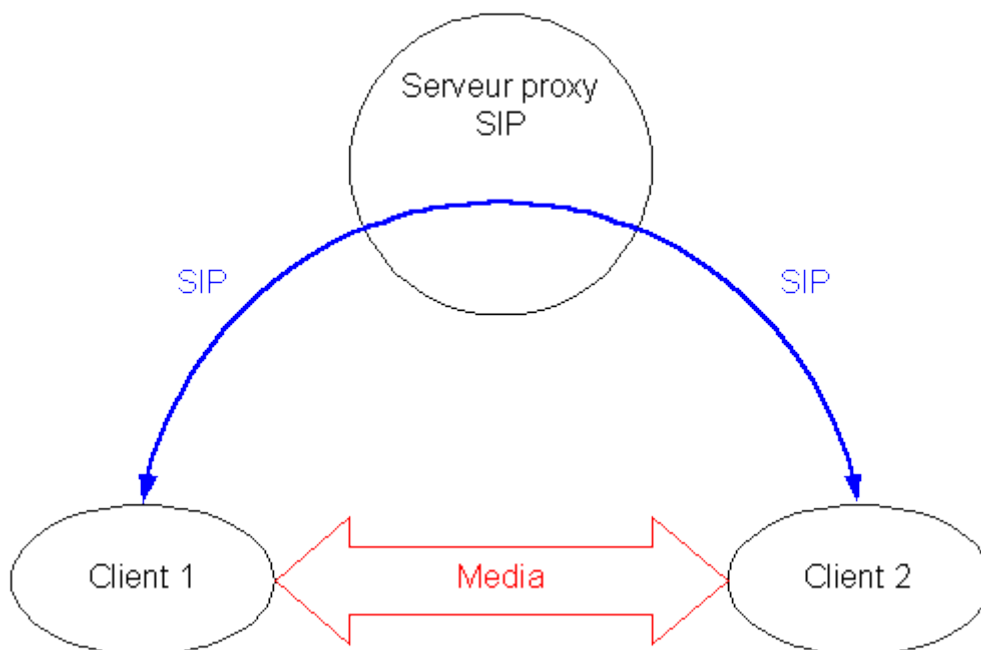


Figure II.7 Représentation schématique des flux SIP et des flux media lors de l'utilisation d'un serveur proxy

Cette figure schématise, dans le cas de l'établissement d'une session grâce à un serveur proxy, la séparation de la partie signalisation et de la partie flux media. Le proxy peut se contenter de router les messages SIP vers l'opérateur sélectionné. Le « dialogue » SIP fournira aux deux terminaux (celui du client1 et celui du client2) les données nécessaires à l'établissement d'une session de media entre eux. Ces données sont entre autres leurs adresses IP respectives, les ports et les formats de codages utilisés. Les deux terminaux peuvent alors s'envoyer des flux média sans passer par le serveur proxy ce qui en allège la charge.

II.3.1.4 Serveur Redirect

Les serveurs Redirect aident à localiser les User Agent SIP en fournissant une adresse alternative à laquelle l'utilisateur appelé peut-être joint.

Lorsqu'une requête lui parvient, il retourne une réponse de redirection contenant la ou les prochaines adresses à contacter pour joindre le destinataire final [9].

II.3.1.5 Fixation d'un compte SIP

Il est important de s'assurer que la personne appelée soit toujours joignable. Pour cela, un compte SIP sera associé à un nom unique. Par exemple, si un utilisateur d'un service de voix sur IP dispose d'un compte SIP et que chaque fois qu'il redémarre son ordinateur, son adresse IP change, il doit cependant toujours être joignable. Son compte SIP doit donc être associé à un serveur SIP (proxy SIP) dont l'adresse IP est fixe. Ce serveur lui allouera un compte et il permettra d'effectuer ou de recevoir des appels quel que soit son emplacement. Ce compte sera identifiable via son nom (ou pseudo).

II.3.2 Le protocole H323

Il est devenu nécessaire de créer des protocoles capables de supporter l'arrivée des technologies du multimédia sur les réseaux, tel que la visioconférence : l'envoi de son et de vidéo avec un souci de données temps réel. Le protocole H.323 en fait donc partie. Il permet entre autres de faire de la visioconférence sur des réseaux IP.

H.323 regroupe un ensemble de protocoles Figure I.8 pour le transport et la configuration de la voix, de l'image et de data sur IP. C'est un protocole dérivé du protocole H.320 utilisé sur RNIS [10].

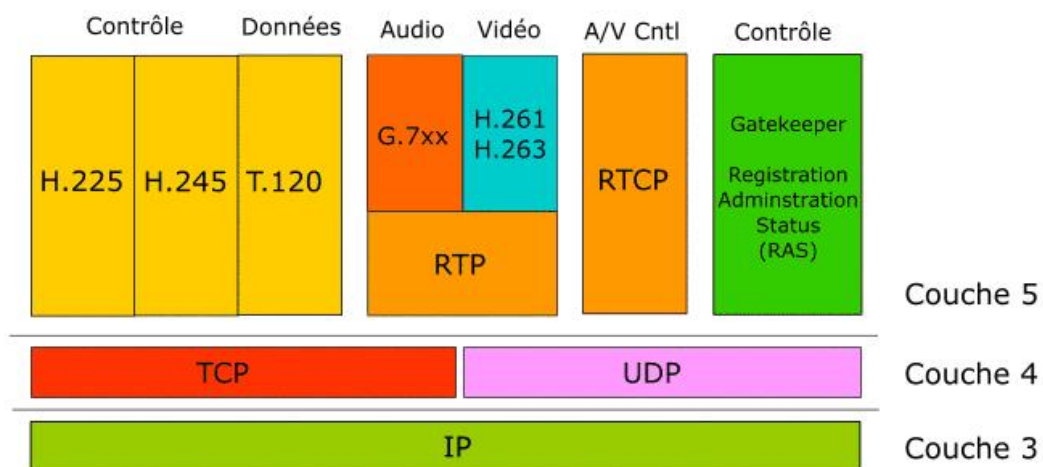


Figure II.8 Pile protocolaire

II.3.2.1 Pile protocolaire :

H.323 est un regroupement de plusieurs protocoles qui concernent trois catégories distinctes : la signalisation, la négociation de codecs et le transport de l'information.

Le transport de l'information s'appuie sur le protocole RTP qui transporte la voix, la vidéo ou les données numérisées par les codecs. On peut aussi utiliser les messages RTCP pour faire du contrôle de qualité, voire demander de renégocier les codecs si, par exemple, la bande passante diminue.

II.3.2.2 Application de l'H323 :

L'H.323 est un standard fournissant une base pour la communication utilisant de l'audio, de la vidéo, et des données à travers les réseaux IP. Il permet de faire inter opérer des applications multimédia entre elles sans souci de compatibilité. H.323 est utilisé dans tous types d'applications destinés aux particuliers et aux entreprises. Il est utilisé par un grand nombre d'opérateurs qui proposent du triple-play qui s'impose très largement sur le marché des télécommunications avec le passage sur la VoIP des systèmes téléphoniques depuis la téléphonie classique (sur lien RTC) et RNIS (Numéris).

II.3.2.3 Comparaison entre H.323 et SIP

	H.323	SIP
Philosophie	La norme H.323, développé par l'IUT-T, est utilisée pour l'interactivité en temps réel (échange audio, vidéo, données, contrôle et signalisation). C'est la norme la plus utilisée concernant la VoIP. Elle hérite de la norme H320 utilisée pour la voix sur RNIS. Comme toute norme, elle est constituée d'un ensemble de protocoles réalisant les différentes fonctions nécessaires à la communication.	Contrairement à la norme H323, SIP (Session Initiation Protocol) est un protocole unique de type requête/réponse très proches des protocoles HTTP et SMTP. Il commence à prendre le pas sur la norme H323. SIP est normalisé par l'IETF (RFC 3261). Il permet de créer et gérer des sessions entre participants pour échanger des données indépendamment de leur nature et du protocole de transport.
Inspiration	Téléphonie	http

Nombres d'échanges pour établir la connexion	6 à 7 aller-retour	1 à 5 aller-retour
Complexité	Elevée	Faible
Adapté à Internet	Non	Oui
Protocoles de transport	TCP	TCP ou UDP
Maintenance du protocole	Simple (texte comme http)	Complexe et nécessite un compilateur
Evolution	Ouvert à de nouvelles fonctions	Ajout d'extensions propriétaires sans concertation
Multicast	Oui, par défaut	Non
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Maturité du protocole (Version 4) - Beaucoup de constructeurs utilisent H323 	<ul style="list-style-type: none"> - Interopérabilité très bonne - Bonne gestion de la mobilité
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'interopérabilité entre les différentes implémentations - Difficultés avec les Firewall - Support des fonctions avancées de la téléphonie très complexe 	<ul style="list-style-type: none"> - En pleine maturation - Problème avec la translation d'adresses

Tableau II.1. Comparaison entre SIP et H323 [11]

II.3.3 Les protocoles de transport

II.3.3.1 Le protocole RTP :

Le but de RTP (Real-time Transfert Protocol) est de fournir un moyen uniforme de transmettre sur IP des données soumises à des contraintes de temps réel (audio, vidéo, ...). Le rôle principal de RTP consiste à mettre en œuvre des numéros de séquence de paquets IP pour reconstituer les informations de voix ou vidéo même si le réseau sous-jacent change l'ordre des paquets. Plus généralement, RTP permet d'identifier le type de l'information transportée, d'ajouter des marqueurs temporels et des numéros de séquence l'information transportée et de contrôler l'arrivée à destination des paquets. De plus, RTP peut être véhiculé par des paquets multicast afin d'acheminer des conversations vers des destinataires multiples [12].

II.3.3.2 Le protocole RTCP :

Le protocole RTCP (Real-time Transfert Control Protocol) est basé sur des transmissions périodiques de paquets de contrôle par tous les participants dans la session. C'est un protocole de contrôle des flux RTP, permettant de véhiculer des informations basiques sur les participants d'une session, et sur la qualité de service.

Le protocole RTCP demande aux participants de la session d'envoyer périodiquement les informations citées ci-dessus. La périodicité est calculée en fonction du nombre de participants de l'application. On peut dire que les paquets RTP ne transportent que les données des utilisateurs. Tandis que les paquets RTCP ne transportent en temps réel, que de la supervision [12].

Parmi les principales fonctions qu'offre le protocole RTCP sont les suivants :

- Une synchronisation supplémentaire entre les médias : les applications multimédias sont souvent transportées par des flots distincts.
- L'identification des participants à une session : en effet, les paquets RTCP contiennent des informations d'adresses, comme l'adresse d'un message électronique, un numéro de téléphone ou le nom d'un participant à une conférence téléphonique.
- Le contrôle de la session : en effet le protocole RTCP permet aux participants d'indiquer leur départ d'une conférence téléphonique.
- On peut détailler les paquets de supervision en 5 types :

SR (Sender Report) : ce rapport regroupe des statistiques concernant la transmission (pourcentage de perte, nombre cumulé de paquets perdus, variation de délai (gigue), etc.).

Ces rapports sont issus d'émetteurs actifs d'une session.

RR (Receiver Report) : ensemble de statistiques portant sur la communication entre les participants. Ces rapports sont issus des récepteurs d'une session.

SDES (Source Description) : Carte de visite de la source (nom, e-mail, localisation).

BYE : Message de fin de participation à une session.

APP : Fonctions spécifiques à une application

II.3.3.3 Le protocole ICMP :

Le protocole ICMP (Internet Control Message Protocol) est un protocole qui permet de gérer les informations relatives aux erreurs aux machines connectées. Etant donné le peu de contrôles que le protocole IP réalise, il permet non pas de corriger ces erreurs mais de faire part de ces erreurs aux protocoles des couches voisines. Ainsi, le protocole ICMP est utilisé par tous les routeurs, qui l'utilisent pour signaler une erreur (appelé Délivre Problème).

II.3.3.4 Le protocole UDP

Le protocole UDP (User Datagramme Protocol) est un protocole non orienté connexion de la couche transport du modèle TCP/IP. Ce protocole est très simple étant donné qu'il ne fournit pas de contrôle d'erreurs (il n'est pas orienté connexion...).

Il ne sert qu'à « emballer » les paquets de contenus, en leur apportant les numéros de ports, voies logiques qui serviront à les orienter au sein de l'application [13].

II.3.3.5 Le protocole SRTP :

On peut se retrouver avec un réseau VoIP qui fonctionne correctement mais qui risque des problèmes de sécurité, comme par exemple : Deny of Service (Dos), écoute et analyse du trafic, usurpation d'identité et parodie, fraude. Donc pour ça on doit prendre nos précautions en utilisant des protocoles qui peuvent éliminer toute sorte de menace.

SRTP (Secure Realtime Transport Protocol) définit un profil de RTP (Real-time Transport Protocol), qui a pour but d'apporter la confidentialité (chiffrement : protection contre le replay de données RTP en unicast et multicast), l'authentification et l'intégrité des messages.

SRTP a été conçu par une équipe d'experts d'IP et de la cryptographie travaillants pour Cisco et Ericsson.

Les protocoles SRTP et SRTCP (la version sécurisée de l'RTCP) peuvent être utilisés à la place de RTP et RTCP, l'utilisation des fonctions fournies, telles que le cryptage et l'authentification, restent optionnels. Elles peuvent être activées séparément, à l'exception de la fonction "message d'authentification" qui est indispensable avec SRTCP [12].

II.4 Asterisk

II.4.1 Définition

Asterisk est un projet démarré en 1999 par **Mark Spencer [14]**. Son objectif était alors de fournir à Linux un commutateur téléphonique complet et totalement libre. La VoIP sur **Asterisk** passe entre autre par la prise en charge d'un protocole standard, ouvert et très largement utilisé, le SIP (Session Initiation Protocol). SIP qui est un protocole très proche d'HTTP qui n'est pas limité à la seule voix mais qui prend aussi en charge la vidéo et la messagerie instantanée d'un point de vue fonctionnalité.

II.4.2 Fonctionnalités

Asterisk comprend un nombre très élevé de fonctions permettant l'intégration complète pour répondre à la majorité des besoins en téléphonie. Il permet de remplacer totalement, par le biais de cartes FXO/FXS, un PABX propriétaire, et d'y adjoindre des fonctionnalités de VoIP pour le transformer en PBX IP. Il permet également de fonctionner totalement en VoIP, par le biais de téléphones SIP ou IAX du marché. Enfin, des fonctionnalités de routage d'appel, menu vocal et boites vocales entre autres le placent au niveau des PBX les plus complexes. Au sein des grandes installations d'Asterisk, il est courant de déployer les fonctionnalités sur plusieurs serveurs [15].

Asterisk permet tout ce que l'on peut attendre d'un PABX moderne : La gestion des postes téléphonique sur IP locaux. Il peut s'agir de téléphones physiques mais aussi logiciels (ou Softphone) comme Ekiga ou Zoiper.

Asterisk implémente les protocoles H.323 et SIP .Figure II.9



Figure II.9 les interconnexions avec Asterisk [15]

II.4.3 Le protocole IAX

Le projet Asterisk a donné naissance à un second projet, appelé IAX (Inter Asteriske Xchange) voir figure 1.10Celui-ci définit un protocole permettant l'interconnexion entre serveurs Asterisk, mais également la communication entre un client et un serveur Asterisk [16].

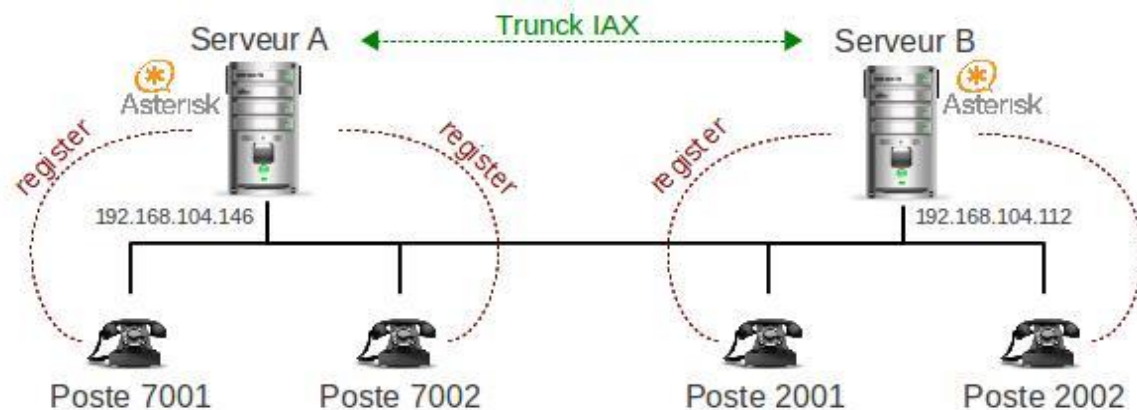


Figure II.10 le protocole IAX[17]

Initialement, le protocole IAX a été développé par le concepteur d'Asterisk Mark Spencer de la société Digium. Il est aujourd'hui maintenu par la société Digium et est disponible dans sa deuxième version IAX2, laquelle fait l'objet d'une proposition de normalisation à l'IETF.

Pour être convaincante dans un contexte où la concurrence entre les protocoles H.323 et SIP est déjà importante, la philosophie proposée par IAX diffère sur deux points importants :

Traversée transparente des passerelles NAT et des pare-feu. Contrairement aux protocoles SIP et H.323, qui n'assurent que la fonction de signalisation et se combinent généralement à RTP pour la fonctionnalité de transport des flux, le protocole IAX est à la fois un protocole de transport et un protocole de signalisation. Cela lui permet plus facilement de traverser les pare-feu et de supporter les translations d'adresses IP (NAT) dans un réseau. Ses flux n'utilisent qu'un port fixe et unique et peuvent de la sorte être aisément identifiés.

En général, IAX a été conçu spécifiquement pour le problème du transport et de la signalisation de la voix, en écartant les considérations plus générales des applications multimédias. Le protocole IAX répond ainsi à des objectifs simples et bien délimités. Bien qu'il n'exclue pas a priori le traitement de flux vidéo, il s'intéresse avant tout aux flux audio et optimise les paramètres des flux en tenant compte des contraintes et des spécificités de ces flux audio.

IAX est un protocole puissant, qui propose des solutions efficaces aux deux problèmes importants rencontrés par H.323 et SIP et permet les communications entre serveurs Asterisk. Il souffre toutefois de l'inconvénient de ne pas être normalisé. De plus, il n'optimise que le traitement des flux téléphoniques, alors que H.323 comme SIP sont plus généralistes et peuvent s'appliquer au transfert de la vidéo.

II.5 Conclusion

En analysant après l'étude de ce chapitre que, la VoIP est la solution la plus avantageuse pour effectuer des conversations. A présent il est évident que la VoIP va continuer à se mouvoir. La téléphonie IP est une bonne solution en matière d'intégration, fiabilité et de coût. Nous avons vu que la voix sur IP n'a pas encore de standard unique. Chaque standard possède ses propres caractéristiques pour garantir une fiabilité du service. Effectivement, le respect des empêchements temporels est le facteur le plus important lors du transport de la voix.

Chapitre III

Mise en œuvre d'un serveur ipbx embarqué

III.1 introduction

La téléphonie sur IP est une évolution majeure récente dans le monde des télécommunications. Cette technologie consiste à utiliser le protocole de transfert de données IP pour acheminer des communications téléphoniques numérisées sur des réseaux privés ou publics. L'intégration de ces services dans une seule plateforme nécessite plus de sécurité.

Dans ce chapitre on va étudier la réalisation du serveur freepbx avec des clients sip dans les réseaux locaux à base de raspberry pi.

III.2 Présentation de la carte Raspberry Pi 3b+

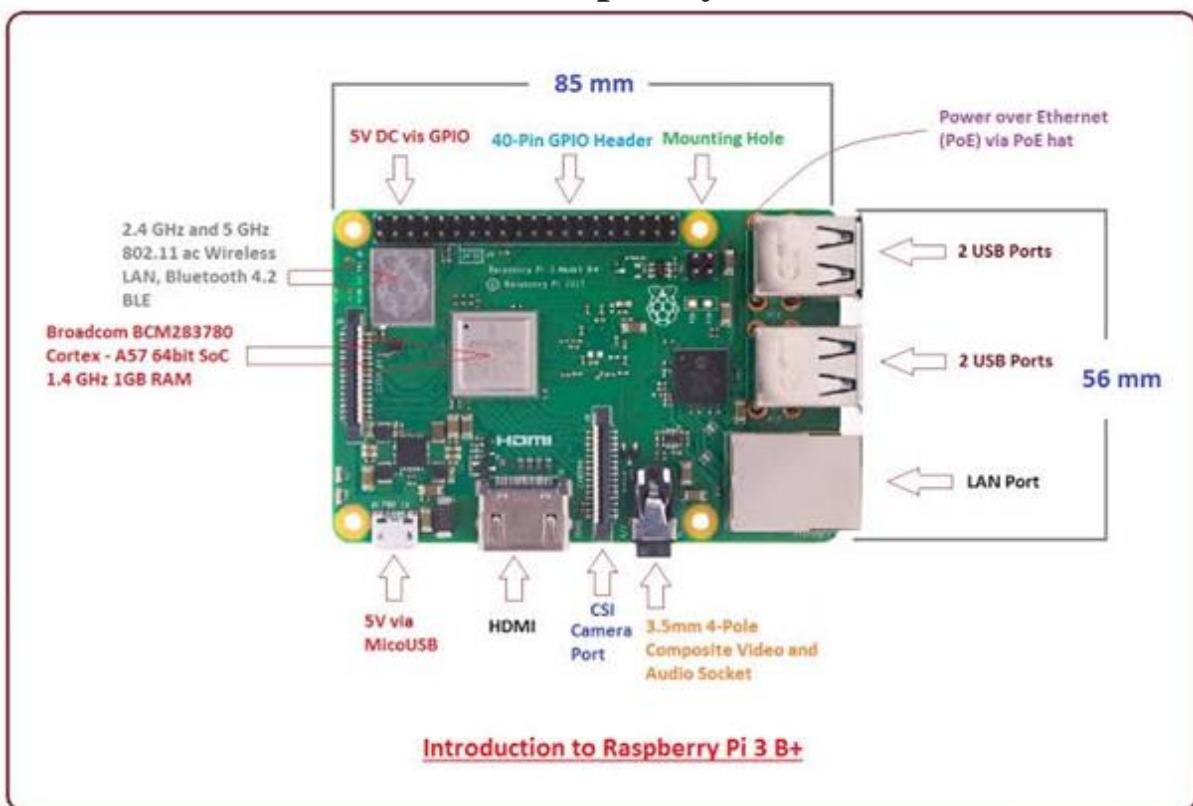


Figure III.1 Présentation de la carte Raspberry Pi 3b+

Le **Raspberry Pi 3 B+** est un ordinateur mono carte pouvant se connecter à un moniteur, à un ensemble clavier/souris et disposant d'interfaces Wi-Fi et Bluetooth.

Il démarre depuis une carte micro-SD et fonctionne sous un O.S. Linux ou Windows 10 IoT. Il est fourni sans boîtier, alimentation, clavier, écran et souris dans le but de diminuer le coût et de favoriser l'utilisation de matériel de récupération.

Le modèle Raspberry Pi3 B+ est basée sur un processeur ARM Cortex-A53 64 bits quatre coeurs à **1,4 GHz**, possède 1 GB de mémoire RAM, une interface Wi-Fi, une interface Bluetooth, 4 ports USB, un port Ethernet, un port HDMI, un port micro-SD et un connecteur GPIO avec 40 broches d'E/S [18].

III.3 Installation d'Astérisk sur le Raspberry Pi3b+

Notre objectif est de transformer une carte RaspberryPi en FreePBX, pour cela nous allons commencer par l'installation du système Astérisk sur la carte.



Figure III.2 Système freepbx et carte raspberry pi

Asterisk est un système d'échange de succursales privées (PBX) de voix sur protocole Internet open source qui peut fonctionner sur le matériel limité tels que Raspberry Pi.

En utilisant Asterisk comme PBX, nous pouvons gérer automatiquement nos appels téléphoniques entrants et sortants, y compris la distribution de nos appels entre différents.

Nous pouvons même utiliser un PBX pour gérer les messages vocaux, les conférences téléphoniques et même la réponse vocale interactive (menus du téléphone).

Pour que tout cela fonctionne sur notre Raspberry Pi, nous devons utiliser un système téléphonique de voix sur IP. Nous pouvons même utiliser des «softphones» sur notre ordinateur ou smartphone dans le cadre de notre PBX. Deux systèmes de téléphonie logiciel différents pouvant être utilisés avec Asterisk sont 3CX et Zoiper.

Pour une meilleure expérience, la connexion entre notre Raspberry Pi et les téléphones VOIP doit utiliser Ethernet. L'utilisation d'Ethernet réduira les risques de latence ou d'abandon des problèmes pouvant survenir avec les solutions sans fil.

Pour faire fonctionner le logiciel AstérisK sur notre Raspberry Pi, nous utiliserons la distribution RasPBX. Cette distribution nous évite d'avoir à compiler le logiciel Asterisk, un processus qui peut prendre plusieurs heures.

Équipement

Vous trouverez ci-dessous l'équipement que nous avons utilisé pour installer le logiciel Asterisk sur le Raspberry Pi.

conseillé



Raspberry Pi



Carte Micro SD



Câble Ethernet ou d'ongle Wifi (Pi 3 et plus récent a WiFi intégré)



Adaptateur secteur

Optionnel



Boîtier Raspberry Pi



Clavier USB



Souris USB

Nous avons testé ce tutoriel sur l'installation d'Asterisk à l'aide d'un Raspberry Pi 3b+ exécutant la dernière version disponible de RasPBX.

III.3.1 Téléchargement d'Asterisk pour le Raspberry Pi

On va télécharger la dernière version de RasPBX à partir du site officiel de Raspberry Pi Asterisk RasPBX (11-11-2019)[19].

III.3.2 Écrire la distribution Asterisk sur notre Raspberry Pi

Avec l'image RasPBX téléchargée sur notre appareil, nous allons maintenant utiliser l'outil Etcher pour l'écrire sur une carte SD.

Etcher est un outil utile qui peut fonctionner sur les systèmes Windows, Linux et macOS. Nous pouvons utiliser d'autres outils d'écriture d'images pour réaliser la même tâche.

1. Avec Etcher ouvert, **click** le **Select image** bouton « ».

Ce bouton fera apparaître une boîte de dialogue de fichier qui nous permettra de sélectionner l'image RaspBX que nous avons téléchargée précédemment.



Figure III.3 Sélectionner l'image dans l'outil Etcher

2. Notre prochaine étape consiste à choisir la carte / le lecteur SD sur lequel nous voulons écrire la distribution Asterisk.

Pour sélectionner un lecteur, nous pouvons **click** le **Select target** bouton « ».

Le logiciel Etcher essaiera de sélectionner un lecteur disponible sur lequel écrire automatiquement.

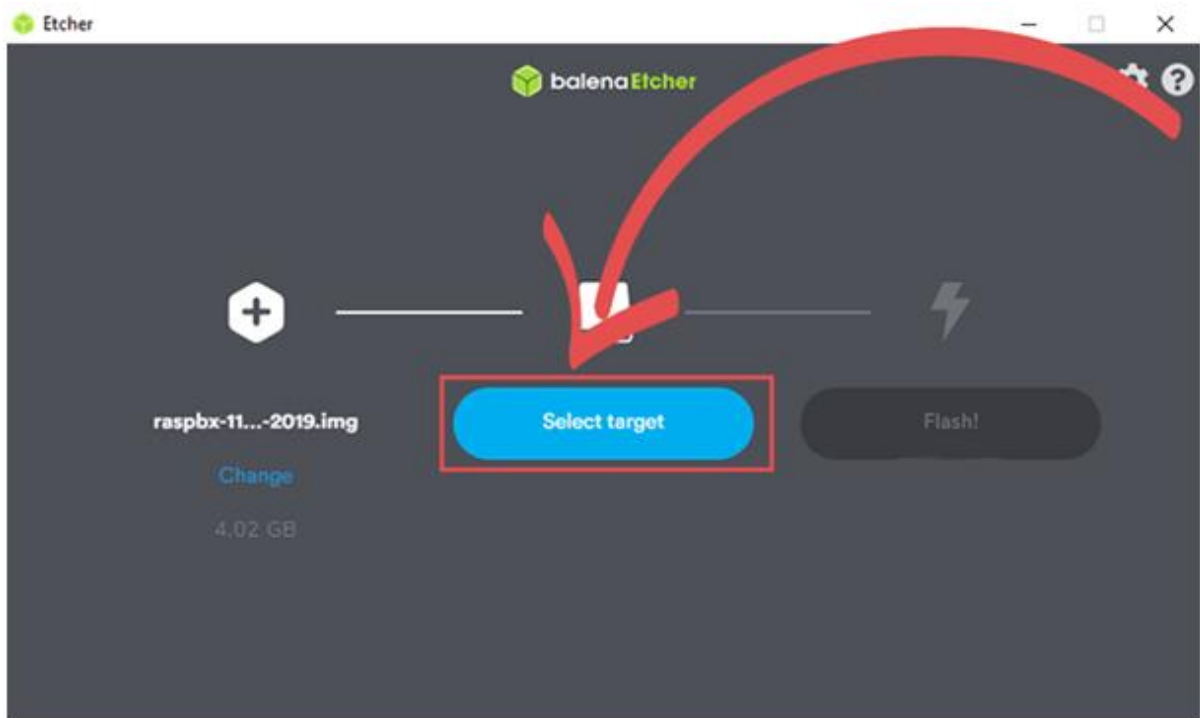


Figure III.4 sélectionner un lecteur

3. Avec tout réglé, vous pouvez maintenant flasher l'image RasPBX sur notre carte SD. Pour démarrer ce processus, cliquez sur le bouton « Flash ».

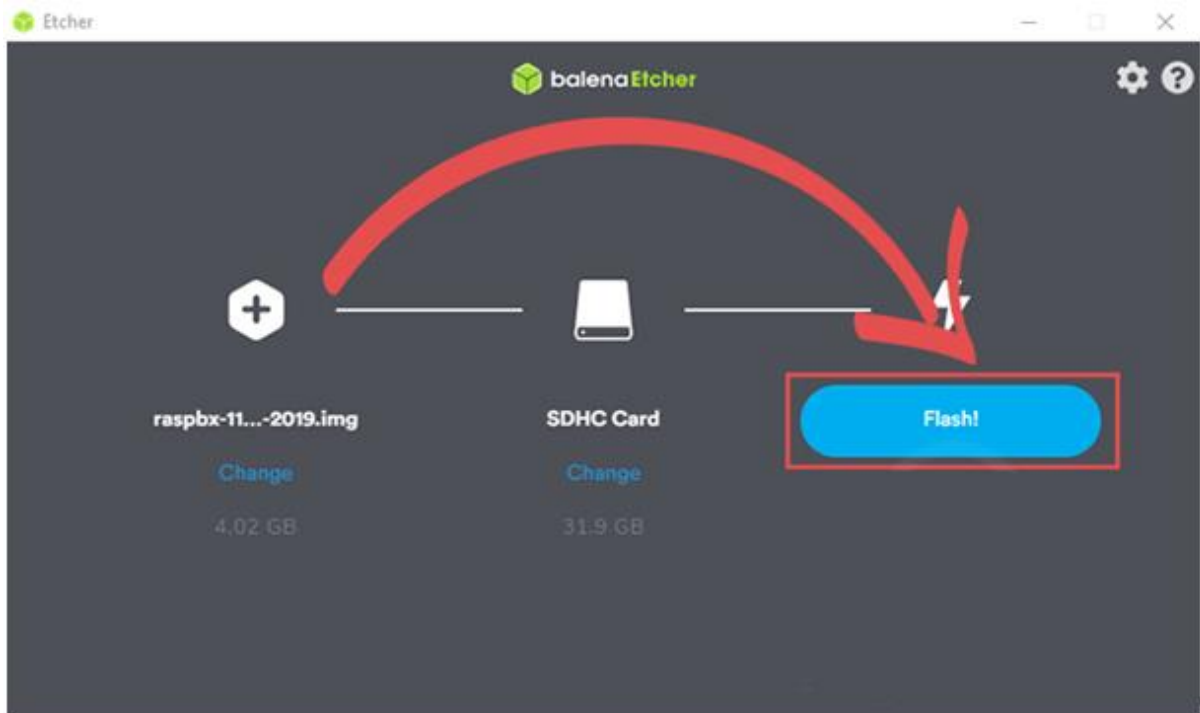


Figure III.5 Flasher l'image sur carte sd

4. Nous pouvons maintenant brancher la carte SD sur notre Raspberry Pi et le démarrer.

III.3.3 Premier démarrage d'Asterisk sur notre Raspberry Pi

Dans cette section, nous vous présenterons certaines des premières tâches à effectuer lors du premier démarrage de notre Raspberry Pi.

Comme nous utilisons l'image RasPBX pour implémenter la prise en charge d'Asterisk, il existe une commande de mise à jour spéciale que nous pouvons exécuter pour nous assurer que tout est à jour.

Pour ce faire, nous pouvons utiliser la ligne de commande ou nous connecter via SSH .

1. Lors de la connexion à notre Raspberry Pi, il nous sera demandé de saisir quelques informations de connexion.

L'utilisateur que nous utiliserons est l' `root` utilisateur.

Le mot de passe par défaut de l'utilisateur root est `raspberry`.

2. Une fois que nous sommes connectés, notre première tâche consiste à mettre à niveau le système.

Nous pouvons utiliser l'utilitaire de mise à niveau de rasPBX en utilisant la commande suivante.

```
raspbx-upgrade
```

La mise à niveau du système garantit que nous exécutons les packages les plus à jour, ce qui rend notre système plus sûr et plus stable.

3. Avant de continuer, nous devons régénérer les clés d'hôte SSH.

La raison en est que la distribution RasPBX que nous utilisons en contient déjà. Ceux-ci sont distribués et ne sont pas aussi sécurisés.

Pour régénérer les clés d'hôte SSH, exécutons la commande suivante.

```
regen-hostkeys
```

Veillons noter que la prochaine fois que nous nous connectons à notre Raspberry Pi, nous serons averti que les clés SSH ont changé.

Ci-dessous, nous allons passer en revue certaines des tâches que nous devons faire pour qu'Asterisk fonctionne correctement sur notre Raspberry Pi.

III .3.3.1 Extension du système de fichiers

La distribution RasPBX, par défaut, ne consomme que la taille de son image. Cela signifie que nous n'aurons pas accès au reste du système de fichiers offert par notre carte SD.

Dans cette section, nous allons vous montrer comment étendre le système de fichiers afin que nous ayons un accès complet à l'espace de notre carte SD.

1. Nous pouvons maintenant étendre la partition, afin qu'elle remplisse l'intégralité de la carte SD.

Pour étendre le système de fichiers, nous utiliserons l'outil raspi-config .

```
raspi-config
```

2. Lorsque nous lançons l'outil de configuration sur cette distribution Asterisk personnalisée, il nous sera demandé de saisir l'utilisateur à utiliser.

cela n'a pas d'importance pour nous car nous ne faisons qu'étendre le système de fichiers, appuyez sur la **ENTER** touche pour continuer

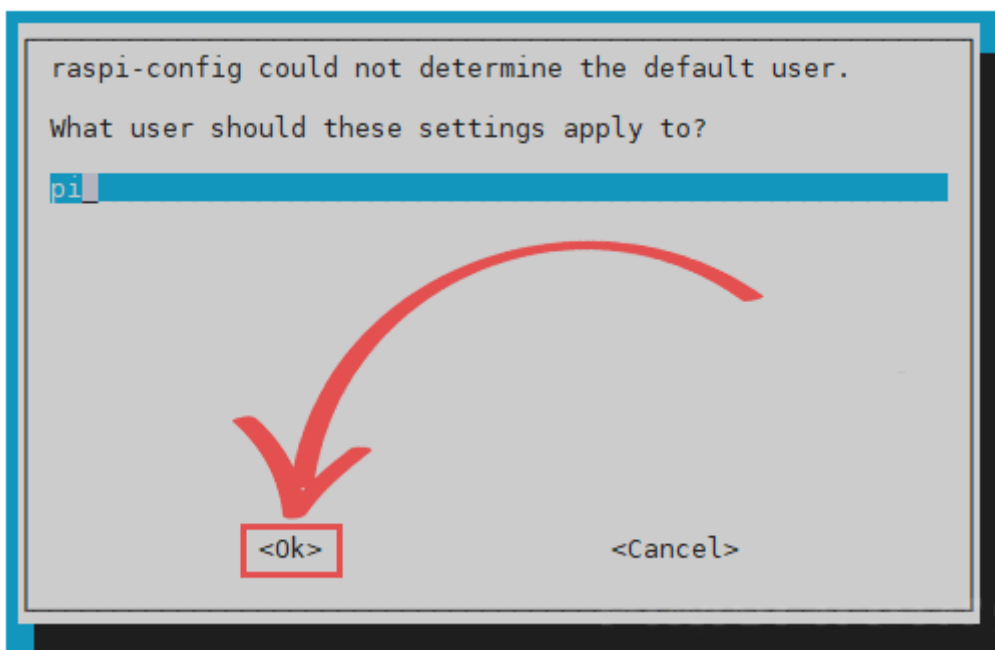


Figure III.6 Configuration du raspberry pi

3. Maintenant que nous sommes dans l'outil de configuration, nous devons ouvrir les options avancées.

Allez à l' **7 Advanced Options** aide des **ARROW** touches puis appuyez sur **ENTER**.

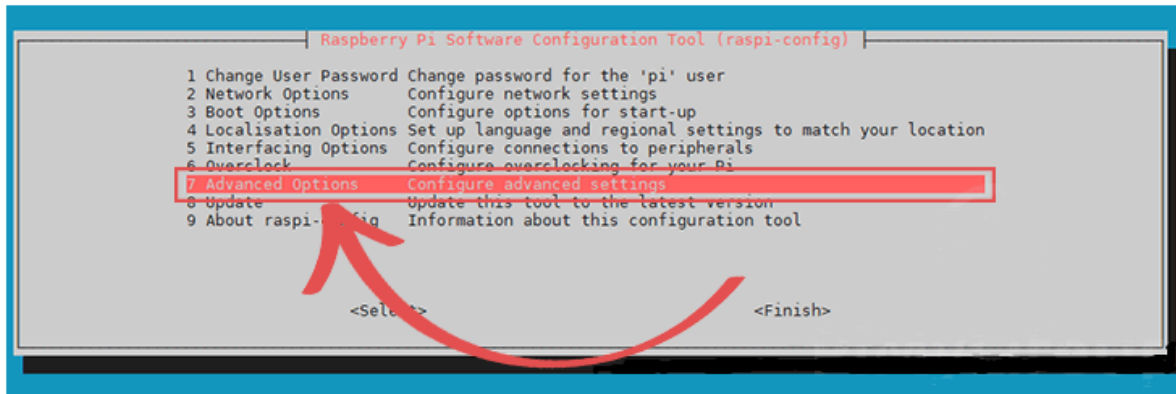


Figure III.7 menu des options avancées

4. Dans le menu des options avancées, sélectionnez l' **A1 ExpandFilesystem** option puis appuyez sur la **ENTER** touche.

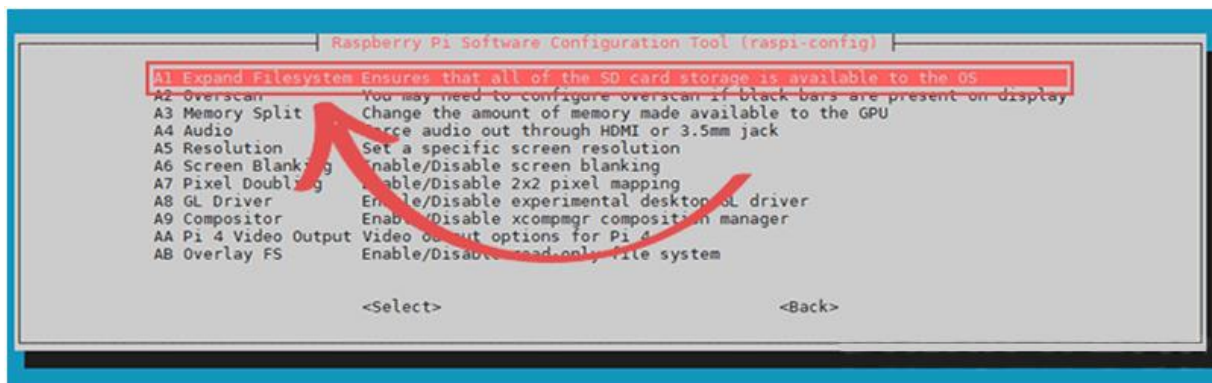


Figure III.8 ouvrir les options avancées

5. Une fois que l'outil a fini de redimensionner le système de fichiers, nous serons accueilli avec le message suivant.

Nous pouvons maintenant quitter l'outil en toute sécurité.

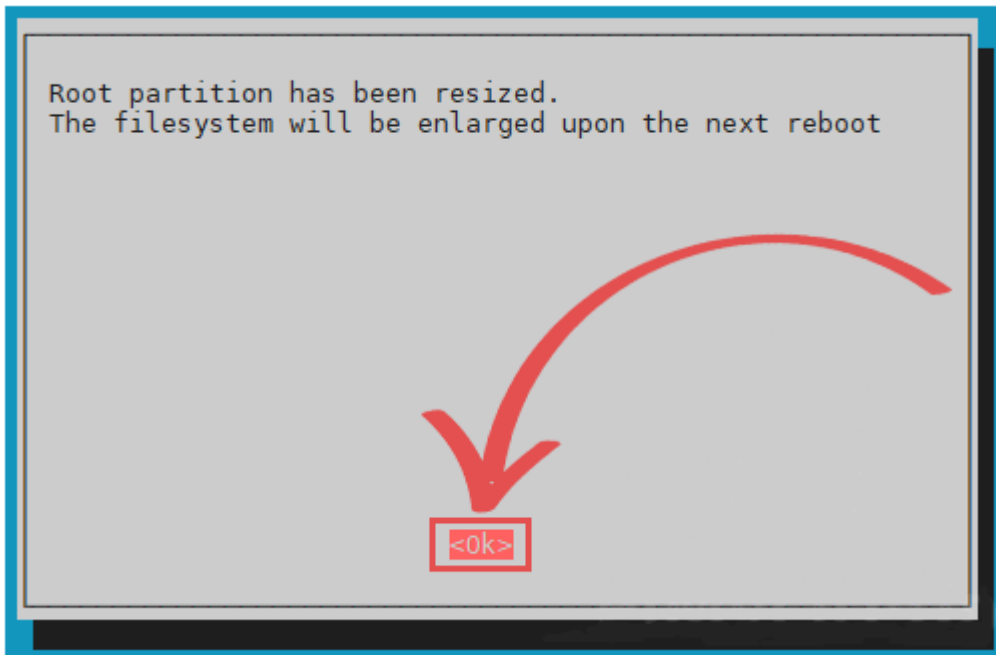


Figure III.9 Terminer la configuration

6. Pour que les modifications du système de fichiers prennent effet, nous devons redémarrer le Raspberry Pi.

Nous pouvons redémarrer le Raspberry Pi en exécutant la commande ci-dessous.

```
reboot
```

III .3.3.2 Correction du fuseau horaire pour Asterisk

L'une des premières tâches à effectuer lors de la configuration d'Asterisk sur notre Raspberry Pi est de nous assurer que nous utilisons le bon fuseau horaire.

1. Le temps étant crucial pour les systèmes téléphoniques, nous devons nous assurer qu'Asterisk s'exécute dans le bon fuseau horaire.

Pour commencer à configurer le fuseau horaire, nous devons exécuter la commande suivante.

```
configure-timezone
```

2. Tout d'abord, nous devons sélectionner la zone géographique dans laquelle nous vivons.

Cette sélection permettra à l'outil de fuseau horaire d'affiner notre emplacement et d'offrir une meilleure sélection de villes et de régions.

Pour naviguer dans ce menu, utilisons les **ARROW** touches, avec une zone sélectionnée, appuyons sur la **ENTER** touche.

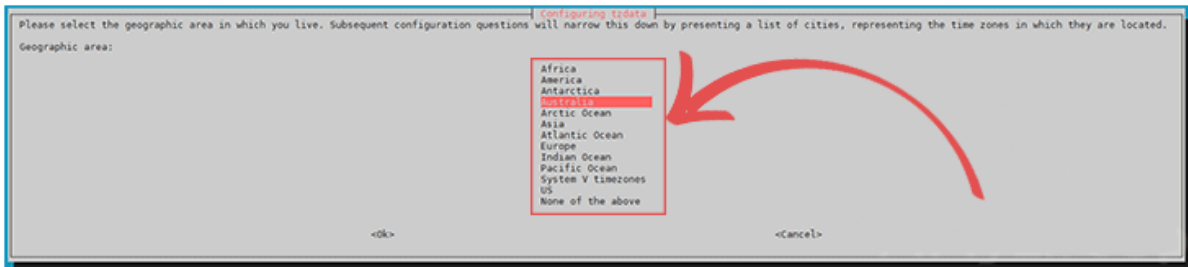


Figure III.10 Configuration du temps

3. nous pouvons maintenant sélectionner la ville ou la région qui correspond à notre fuseau horaire.

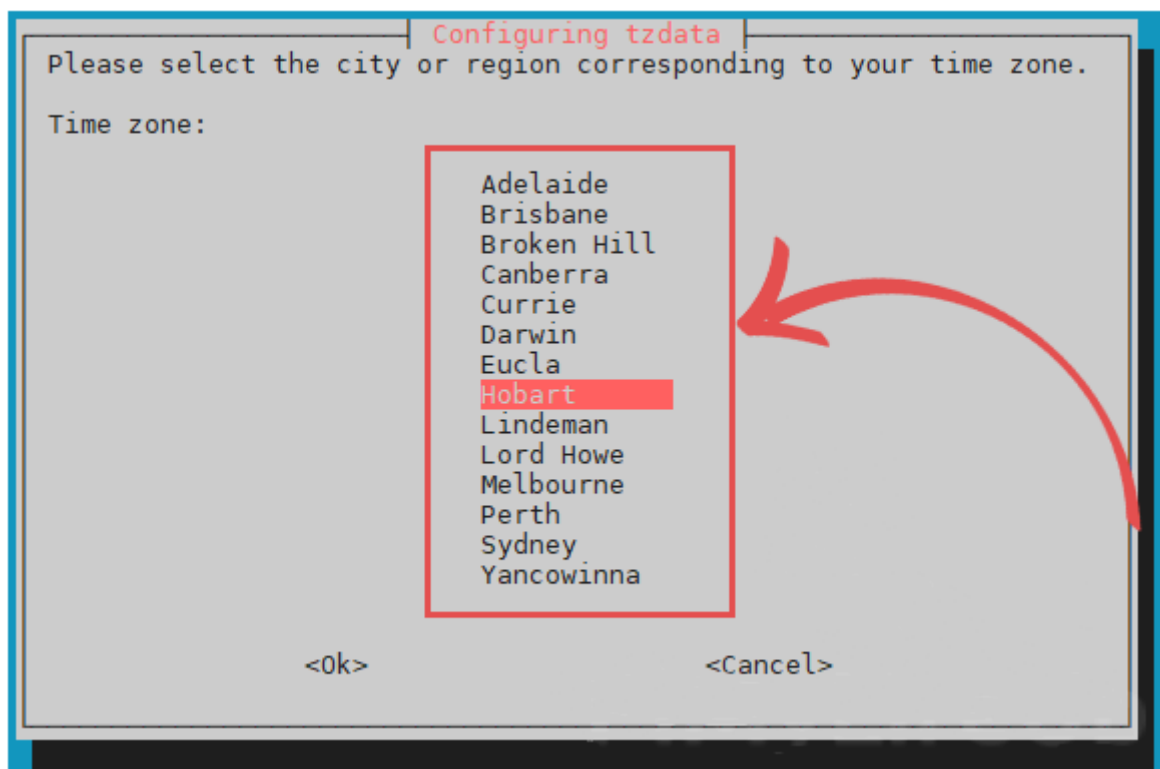


Figure III.11 Sélectionner la ville

L'outil mettra maintenant à jour le fuseau horaire de notre système.

III .3.3.3 Trouvons l'adresse IP de notre Raspberry Pi Asterisk Box

Pour les prochaines étapes, nous aurons besoin de connaître l'adresse IP de notre Raspberry Pi.

Le moyen le plus simple de le savoir est d'exécuter la commande suivante sur notre appareil.

```
hostname -I
```

Cette commande renverra l'adresse IP locale qui a été attribuée au Raspberry Pi par notre routeur.

Il existe également d'autres moyens de trouver l'adresse IP de notre Raspberry Pi, mais cette méthode est l'une des plus simples.

Il peut également être judicieux de configurer notre Raspberry Pi pour qu'il ait une adresse IP statique .

III .4 Présentation de freepbx



Figure III.12 Présentation du freepbx

FreePBX est un outil graphique de configuration pour Asterisk. Il s'agit d'une interface de gestion de notre système téléphonique.

Cet outil est donc une application web avec un ensemble de fonctionnalités PBX modernes.

FreePBX va nous permettre d'effectuer des changements sur notre système sans réellement éditer les fichiers de configurations.

FreePBX nous donne accès à de multiples fonctionnalités pour notre téléphonie.

De nombreuses extensions et modules sont disponibles avec l'outil FreePBX, permettant ainsi d'augmenter les possibilités d'usages.

FreePBX est un outil permettant de simplifier l'utilisation du logiciel Asterisk afin de paramétrer simplement les fonctionnalités de votre téléphonie [20].

III.5 Installation du freepbx sur raspberry pi

III.5.1 Connexion à l'interface Web Asterisk du Raspberry Pi

Dans cette section, nous allons vous montrer comment accéder à l'interface Web pour Asterisk fonctionnant sur notre Raspberry Pi.

Cette interface Web est fournie par FreePBX, un outil de gestion open source pour les systèmes PBX comme Asterisk.

1. Pour accéder à l'interface Web fonctionnant sur notre Raspberry Pi, nous devons utiliser un navigateur Web.

Dans notre navigateur Web préféré, accédez à l'adresse suivante.

```
http://raspbx,
```

Si cela ne fonctionne pas pour une raison quelconque, nous pouvons à la place essayer d'utiliser l'adresse IP du Pi.

```
http://[RASPBERRY PI IP ADDRESS]/
```

2. Lors du premier chargement de l'interface Web, nous serons invité à créer et configurer un utilisateur administrateur.

Remplissons les détails de notre compte (**1.**). Assurons-nous de définir un mot de passe difficile à deviner.

Une fois cela fait, **click** le **Setup System** bouton « » dans le coin inférieur droit (**2.**).

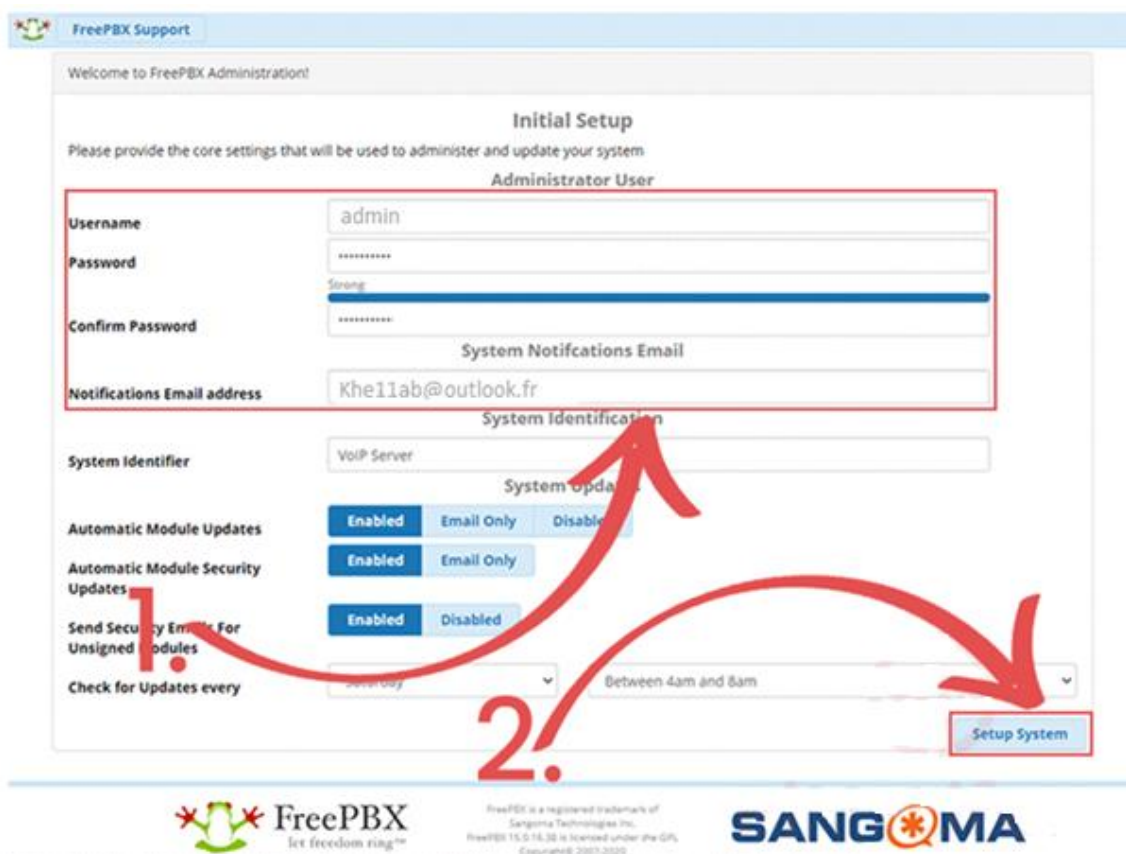


Figure III.13 Créer et configurer un utilisateur administrateur

3. Après avoir créé un compte, nous serons accueilli par l'écran ci-dessous.

Nous sommes après l'écran d'administration, donc click! FreePBXAdministrationicône « ».

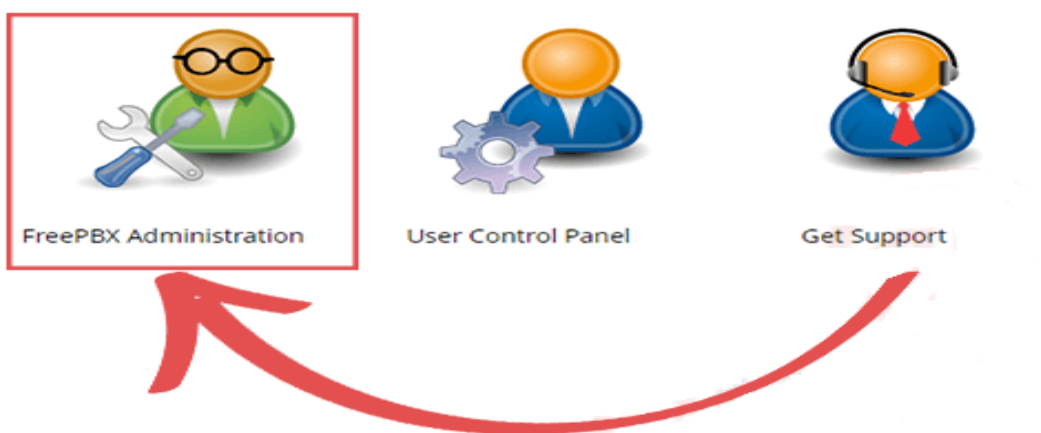


Figure III.14 Freepbx administration

4. Pour continuer, nous devons nous connecter à notre tout nouvel utilisateur administrateur (1.).

Une fois que nous avons entré vos informations de connexion, cliquons sur **click** le bouton « **Continuer** ».



Figure III.15 Connecter aux freepbx

5. Ensuite, il nous sera demandé de sélectionner les sections locales par défaut pour Asterisk sur notre Raspberry Pi.

Ces paramètres seront par défaut ceux que nous avons configurés précédemment. Si ceux-ci sont incorrects, nous pouvons corriger la langue du son, la langue du système et le fuseau horaire (1.).

Une fois les modifications effectuées, appuyons sur le bouton **click** « **Submit** » (2.).

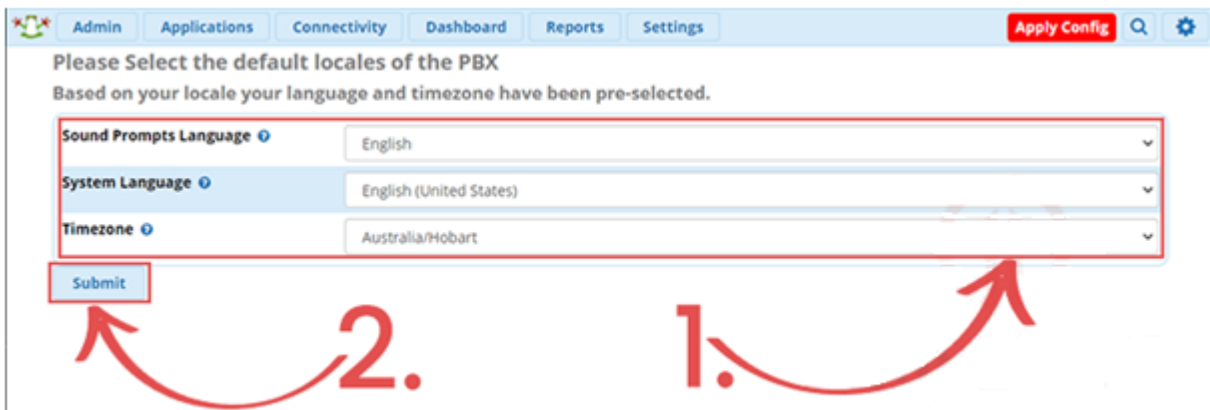


Figure III.16 Corriger la langue du système et le fuseau horaire

6. nous avons maintenant accès à l'interface Web de FreePBX.

En utilisant cette interface, nous pouvons configurer notre PBX alimenté par Asterisk fonctionnant sur notre Raspberry Pi.



Figure III.17 Accès à l'interface Web de FreePBX

À ce stade, nous devrions maintenant avoir Asterisk en cours d'exécution sur notre Raspberry Pi.

III.6 Tests du serveur freepbx avec un client sip

III .6.1 Création d'extensions

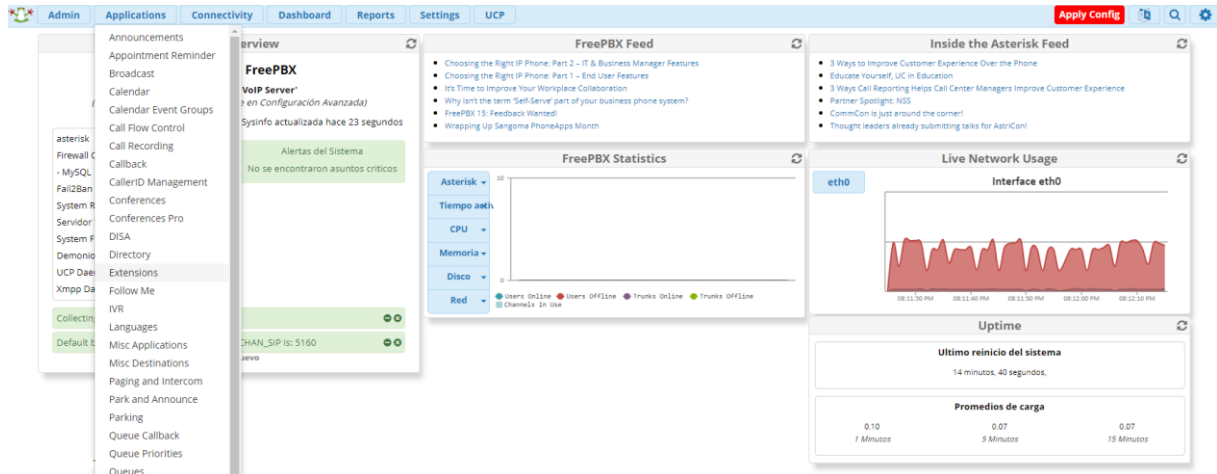


Figure III.18 L'interface Web de FreePBX

Pour créer des extensions pour une utilisation dans le softphone, Nous le ferons "Applications" > "extensions",



Figure III.19 Créer des extensions

"Ajouter une extension" > "Ajouter un nouveau pjsip Extension",

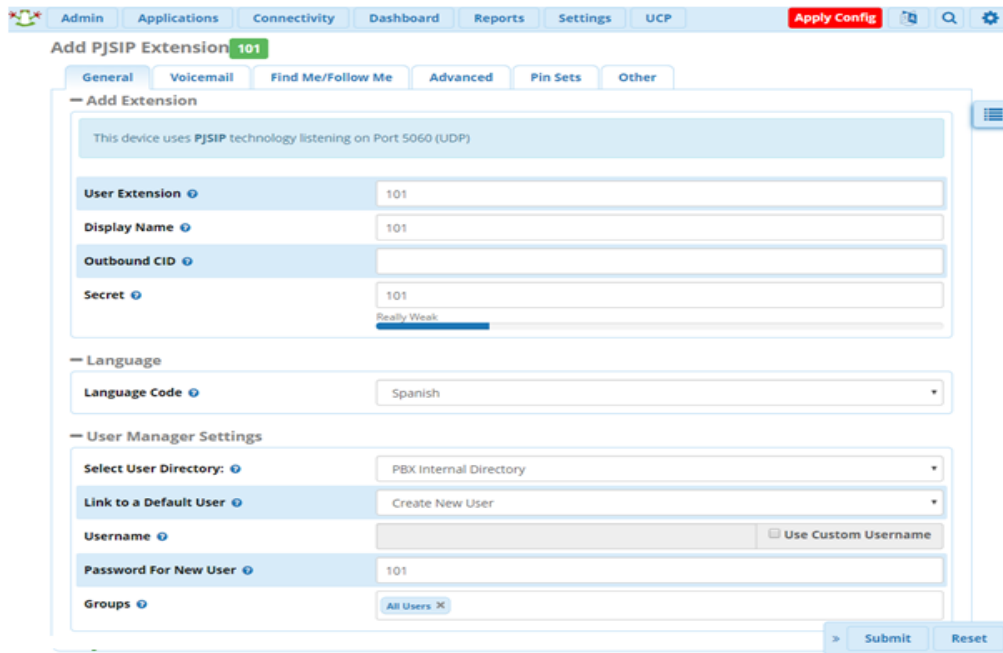


Figure III.20 Créations du deux user extension 101 et 102

Et nous créons autant des extensions que nous avons besoin, ils attribuent au moins Extension et mot de passe, Dans cet exemple, je crée deux d'entre eux pour faire l'exemple 101 et la 102.

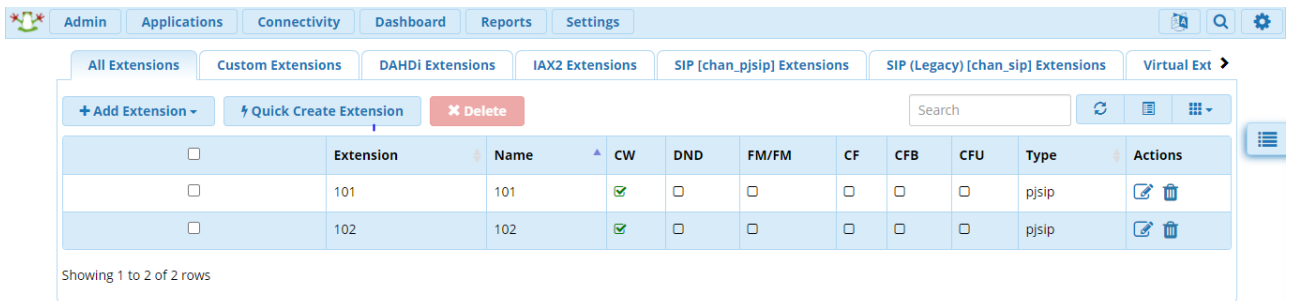


Figure III.21 Charger les deux extensions

Une fois que nous avons créé des extensions, et nous pouvons enregistrer et charger les paramètres, cliquer sur "appliquer Config",

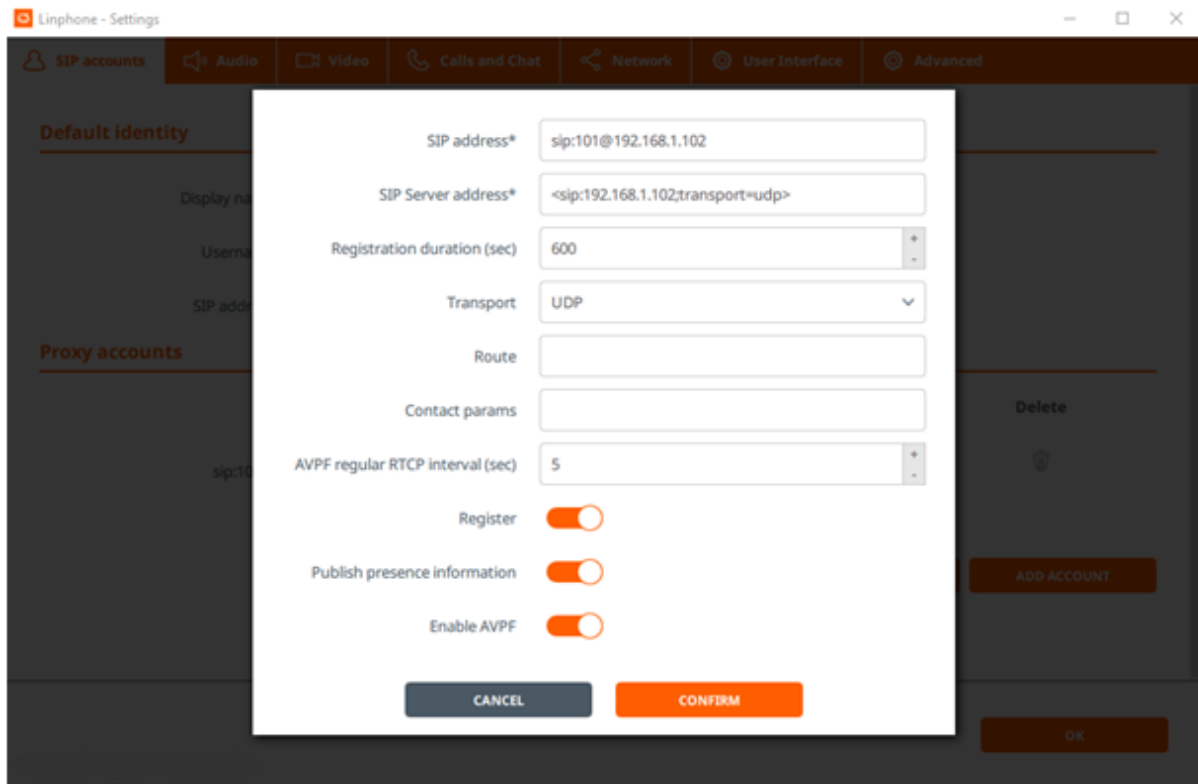


Figure III.22 Créer sip 101 et sip 102

Maintenant, dans notre ordinateur portable ou un ordinateur, ainsi que notre téléphone, nous pouvons télécharger toute softphone d'utiliser la voix PBX IP et des appels IP avec elle. Les plus courants sont généralement utilisés ou softphone 3CX,

Zoiper X-Lite, même dans cette capture d'écran est un ordinateur Windows Linphone 10, qui prend soin de vous de voir les paramètres qui doivent être mis.

Nous confirmons avec l'une des extensions que nous venons de créer, Dans ce cas, je vais utiliser la 101, Nous confirmons l'adresse IP de notre FreePBX et nous utiliserons le transport UDP.



Figure III.23 Sip 101



Figure III.24 Sip 102

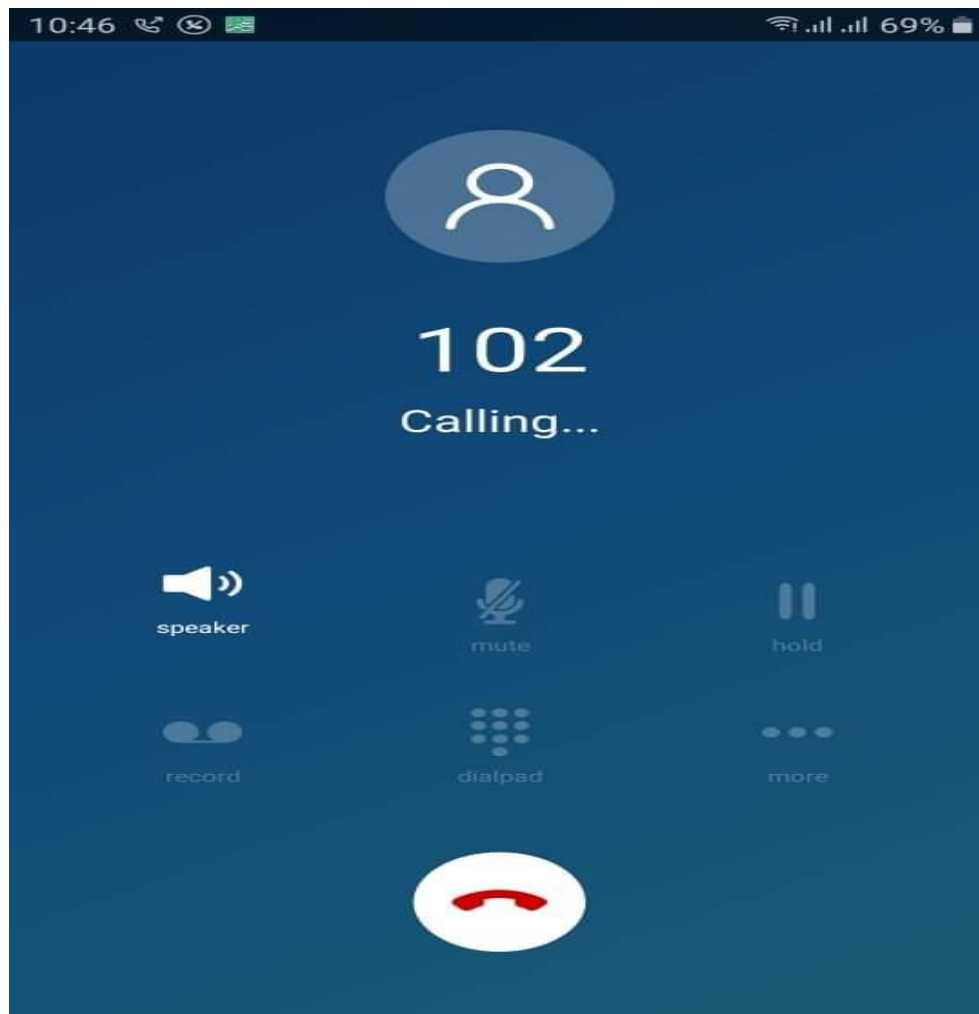


Figure III.25 Appel sortante du sip 101 vers sip 102

Si nous avons un mobile ou une tablette, depuis le même, télécharger et installer l'application softphone que nous aimons et nous avons mis en, Android dans ce que je suis en utilisant l'extension 102, il reste à marquer 101 et en essayez l'appel.


```
FreePBX

NOTICE! You have 4 notifications! Please log into the UI to see them!
Current Network Configuration
-----+-----+-----+
| Interface | MAC Address | IP Addresses |
|-----+-----+-----+
| eth0      | 00:0C:29:FE:6C:45 | 192.168.1.102 |
|           |               | fe80::20c:29ff:fe6c45 |
|-----+-----+-----+

Please note most tasks should be handled through the GUI.
You can access the GUI by typing one of the above IPs in to your web browser.
For support please visit:
  http://www.freepbx.org/support-and-professional-services

-----+-----+-----+
| There are 97 System updates available.
| Run yum update to update them.
| There are 56 PBX modules updates available.
| Also 2 Uninstalled modules.
|-----+-----+-----+

[root@os-pbx-01 ~]#
[root@os-pbx-01 ~]# yum upgrade
```

Figure III.26 Mise à jour du freepbx

FreePBX mise à jour et nous avons de bons mots de passe sécurisés et des extensions utilisateurs, vérité? À partir du shell, nous pouvons mettre à jour le système:

```
yum update
```

Admin

Module	Version	Track	Publisher	License	Status
▶ Asterisk CLI	14.0.1	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Enabled and up to date
▶ Backup & Restore	14.0.3.12	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Online upgrade available (14.0.6)
▶ Blacklist	13.0.14.5	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Online upgrade available (13.0.14.8)
▶ Bulk Handler	13.0.14.4	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Enabled and up to date
▶ CID Superfecta	13.0.4.2	Stable	Sangoma Technologie	GPLv2+	Online upgrade available (14.0.6)
▶ CallerID Lookup	14.0.1.2	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Online upgrade available (14.0.1.6)
▶ Certificate Manager	13.0.36.11	Stable	Sangoma Technologie	AGPLv3+	Online upgrade available (13.0.37.4)
▶ Class of Service	13.0.11.9	Stable	Sangoma Technologie	Commercial	Online upgrade available (13.0.12.1) Buy
▶ Config Edit	13.0.7	Stable	Sangoma Technologie	AGPLv3+	Online upgrade available (13.0.7.1)
▶ Contact Manager	14.0.3.2	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Online upgrade available (14.0.3.5)
▶ Custom Applications	13.0.5.3	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Online upgrade available (13.0.5.4)
▶ Digium Addons		Stable	Digium	GPLv2	Not installed (Available online: 2.11.0.14)
▶ Feature Code Admin	13.0.6.4	Stable	Sangoma Technologie	GPLv3+	Enabled and up to date

Figure III.27 Mise à jour du système

Le module de mise à jour à partir de "admin" > "Mises à jour", patte "Module Mises à jour", sélectionnez le référentiel, standard par défaut, cliquer sur "Enregistrement en ligne", après la marque de vérification tous les mettre à jour avec "Mettre à niveau tous" et nous effectuons la mise à jour avec "Processus".

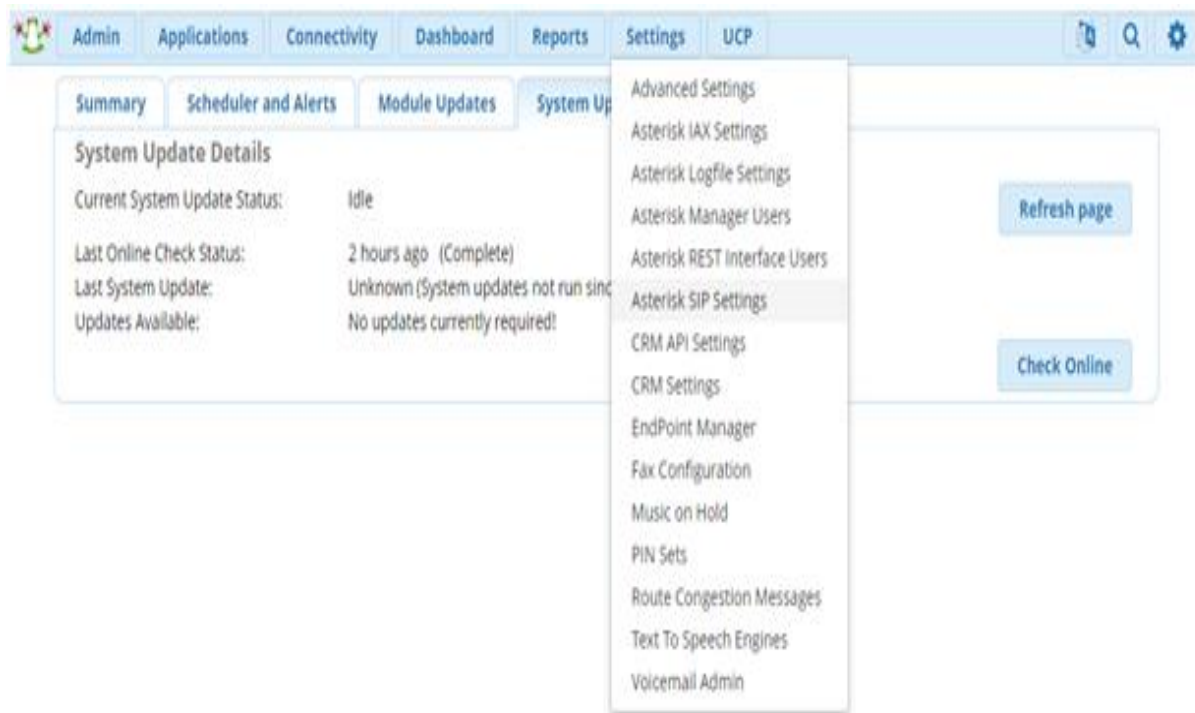


Figure III.28 Asterisk sip setting

Quelque chose d'intéressant est de faire des appels vidéo ou? Bon, parce que si nous voulons leur permettre, nous vous recommande d'abord avoir mis à jour à la fois le système et les modules, et de "Paramètres" > "Paramètres SIP Asterisk",

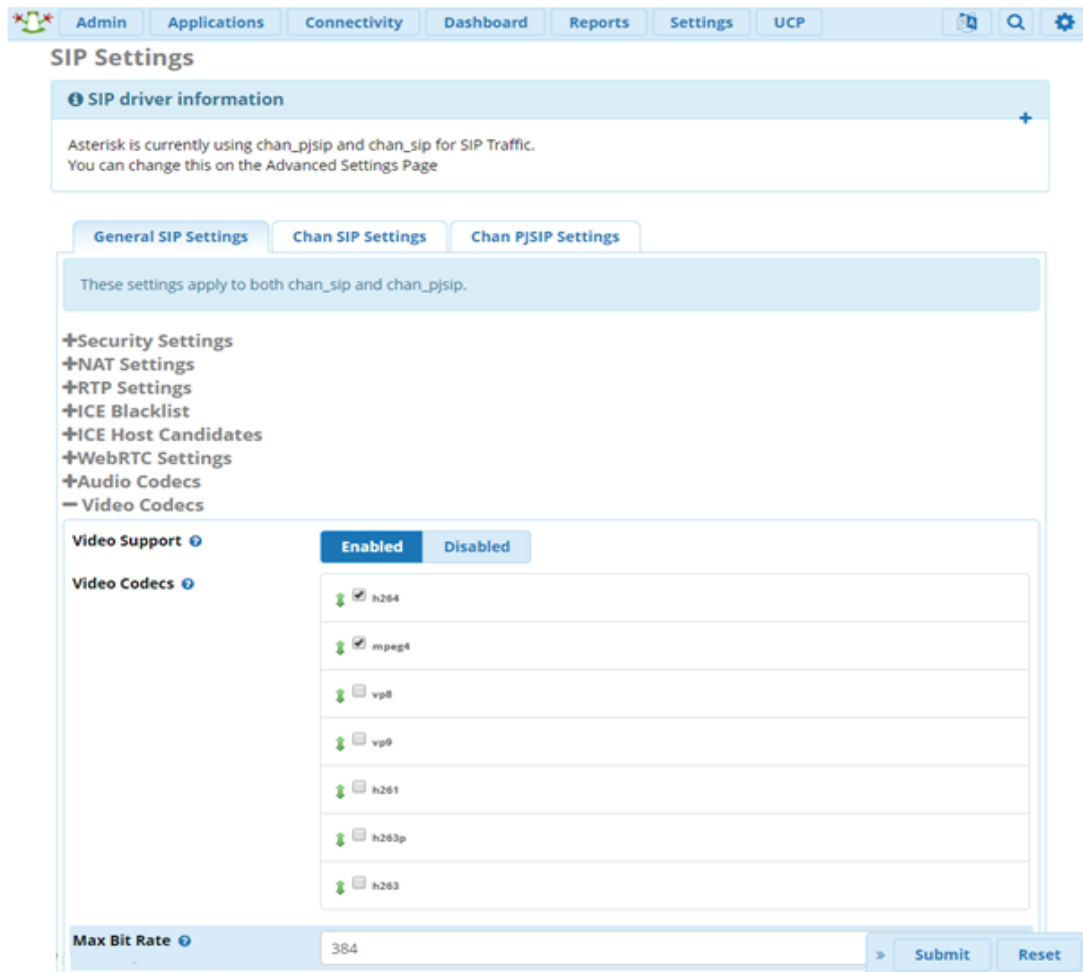


Figure III.29 Activation support vidéo

en “Paramètres SIP généraux”, l'amende, en Codecs vidéo, nous activons support vidéo en cliquant sur “Activée”, et sélectionnez tous les codecs pour une plus grande compatibilité avec un soft phone que nous utilisons. Cliquez sur “Submit” et “appliquer Config” paire attendent des changements, nous pouvons dans notre téléphone IP et essayer de faire un appel vidéo si elle prend en charge.

III.7 conclusion

Dans ce chapitre on a réussi à effectuer les appels téléphoniques dans les réseaux locaux à l'aide du raspberry pi qui joue le rôle d'un serveur ip.

On peut dire que le test est réussi, toutes les fonctionnalités ont marché et donné pleine satisfaction, comme un vrai système de téléphonie complet, sauf que c'est moins couteux et plus simple à utiliser. Le protocole SIP est effectivement très convivial, simple et très performant, permettant de transporter de la voix, de la vidéo et du texte et plein d'autres options pour le même prix.

III.8 Perspective du projet

L'utilisation de ce projet pour le système :

- ❖ vidéo conférence
- ❖ télé-enseignement
- ❖ vidéo surveillance

Conclusion général

L'objectif de ce projet est de créer un serveur SIP pour VoIP dans les petites structures. Après avoir étudié les différentes étapes pour l'établir.

En premier nous avons vu l'étude générale d'un réseau informatique et ses catégories et en précisement l'un de ses dernières le réseau local (LAN) et ses topologies .En second nous avons vu l'étude générale de la voix sur IP son fonctionnement avec ses différents protocoles Troisièmement nous avons installé et configuré une solution basée sur la carte raspberry pi, et la création des deux clients SIP configuré avec free pbx.

Ce projet nous a permis de découvrir un autre monde tel que le système d'exploitation Linux et la carte Raspberry pi qui sont nouveaux pour nous et qui nous a donné la chance d'ouvrir les yeux sur le milieu professionnel. De plus ça nous à permis d'apprendre à effectuer des recherches spécifiques et de savoir comment gérer leurs travaux dans un intervalle de temps précis.

En somme, la téléphonie sur IP est une technologie révolutionnaire qui défie les règles édictées par la téléphonie RTC. Elle est plus souple, conviviale, ne nécessite pas un investissement lourd, coûte moins chère, propose de nouveaux services et beaucoup d'autres avantages, si bien que toute entreprise qui se veut compétitive et moderne aujourd'hui, jette son dévolu sur la téléphonie sur IP pour gérer ses communications tant internes qu'externes. Elle vise principalement à améliorer le cadre de travail des employés de l'entreprise en libérant l'utilisateur du lieu d'implantation du poste téléphonique.

Les références

- [1] Assens, C. (2003). Le réseau d'entreprises: vers une synthèse des connaissances. *Management international*, 7(4), 49-59.
- [2] Fallery, B., & Marti, C. (2007). Vers des nouveaux types de réseaux sur Internet? Les réseaux à liens faibles du dirigeant de petite entreprise. *Management Avenir*, (3), 169-181.
- [3] Ducrocq, S. (2011). Les tribus ludiques du "LAN party": perspectives d'apprentissage et de socialisation en contexte de compétition de jeux vidéo en réseau local (Doctoral dissertation, Université du Québec à Montréal).
- [4] Krommenacker, N. (2002). Heuristiques de conception de topologies réseaux: application aux réseaux locaux industriels (Doctoral dissertation).
- [5] CERF, Vinton G. et ICAHN, Robert E. A protocol for packet network intercommunication. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2005, vol. 35, no 2, p. 71-82.
- [6] KARAPANTAZIS, Stylianos et PAVLIDOU, Fotini-Niovi. VoIP: A comprehensive survey on a promising technology. *Computer Networks*, 2009, vol. 53, no 12, p. 2050-2090.
- [7] « Qu'est ce qu'un PABX ? ». Disponible sur <https://www.3cx.fr/voip-sip/systeme-telephonique-pabx/>
- [8] Yannick YANI KALOMBA. Etude et mise au point d'un systeme de communication VOIP : application sur un PABX-IP open source "cas de l'agence en douane Getrak" par Yannick YANI KALOMBA, Université protestante de Lubumachi.
- [9] Loic Debourdeau : « Le protocole SIP ». Disponible sur le lien: <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/DEBOURDEAU/>
- [10] <<introduction a H323>> .Disponible sur le lien :<http://wapiti.telecom-lille.fr/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesser2010-ttnfa2011/barisaux-geourong/H323.html>
- [11] Romain DELETRE & Aurélien MECHIN .*comparaison des technologies de téléphonie sur IP . Enic Telecom Lille1 - Mars 2006*

- [12] Nico VanHaute ,Julien Barascud et Jean-Roland Conca << les protocoles RTP/RTCP>>.Disponible sur le lien :<http://www.commentcamarche.net/contents/535-les-protocoles-rtp-rtcp>.
- [13] <<les protocoles UDP et TCP>> .Tristan DEBEAPUIS.Disponible sur le lien :http://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~christian.bulfone/MIASS/PDF/3-Les-protocoles_UDP_TCP.pdf
- [14]SPENCER, Mark, ALLISON, Mack, et RHODES, Christopher. The asterisk handbook. *Asterisk Documentation Team*, 2003.
- [15] VAN MEGGELEN, Jim, MADSEN, Leif, et SMITH, Jared. *Asterisk: the future of telephony*. " O'Reilly Media, Inc.", 2007.
- [16]SPENCER, Mark, CAPOUCH, Brian, GUY, Ed, *et al. Iax: Inter-asterisk exchange version 2*. 2010.
- [17] << Echange entre deux serveurs Asterisk >>.Disponible sur le lien : http://wiki.ncad.fr/index.php?title=fichier:ASTERISK_IAX.JPG#filehistory
- [18]PRAKOSO, O. B. (2020). SISTEM KENDALI LAMPU MENGGUNAKAN KONTROLER RASBERRY PI 3B+ (Doctoral dissertation, UniversitasStikubank).
- [19] García-Ceca, J., Jiménez, E., Alfaro, D., Cejalvo, T., Chumley, M. J., Henkemeyer, M., ... & Zapata, A. G. (2009). On the role of Ephsignalling in thymus histogenesis; EphB2/B3 and the organizing of the thymic epithelial network. *International Journal of Developmental Biology*, 53(7), 971-982.
- [20]Grądkowska, M., Popiel, P., &Sobańska, K. (2006, October).SIP-CCME cooperation in multimedia VoIP network.In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2006* (Vol. 6347, p. 63472X).International Society for Optics and Photonics.