



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen  
Faculté des Sciences  
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

*Option : Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)*

# Thème

**Conception et réalisation d'une Gateway  
GSM/VoIP à base d'une carte Raspberry PI**

**Réalisé par :**

- AZZOUZI Amel
- MERIAH Yasmine

**Présenté le 21 Juin 2020 devant le jury composé de :**

- Mme. ABDELJELIL Hanane (Présidente)
- Dr. BEMMOUSSAT Chems Eddine (Encadreur)
- Mr. BAMBRIK Ilyas (Examineur)

**Année universitaire : 2019-2020**

# **Remerciements**

*Tout d'abord nous remercions **ALLAH LE TOUT PUISSANT**, qui nous a gratifiées de son aide et accordées la foi, la patience et la force durant ces longues années d'étude, qui viennent enfin, d'être couronnées par la réalisation de ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadreur **Mr. BEMMOUSSAT Chems Eddine**, pour son constant soutien, ses appréciables encouragements et ses judicieux conseils dans la finalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont aux personnes qui nous ont apportées leur aide et qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Notre profonde gratitude aux membres du jury **Mme. Abdejlil Hanane** et **Mr. Bambrik Ilyes** d'avoir accepté d'évaluer notre recherche.*

*Comme nous tenons à remercier vivement le chef de département d'informatique **Mr. Matallah** et tous les enseignants qui ont partagé leur savoir avec nous.*

*Nos sincères remerciements à **TABET Yacine** pour son aide, sa disponibilité et ses précieux conseils durant tout le long de ce travail.*

## **Dédicace**

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, **Maman** que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi **Mon père**.*

*A mes sœurs **Assia** et **Kawther** pour leurs encouragements et leur soutien tout au long de mes études et également pour les bons moments passés et à venir. La fraternité est à l'abri de toutes les intempéries. Ce travail est le fruit de notre union.*

*Et à ma chère petite nièce **Meriem**.*

*A tous les membres de la famille, **AZZOUZI, MESLI** et **BABA AHMED**, qui me procurait bonheur et me dessinait sourire en mes moments de stress et d'inquiétude.*

*A ma chère tante **Fatima Zohra**, merci de prier pour moi toutes ces années d'études.*

*A mes cousins et cousines spécialement **Anes** pour leurs conseils, leurs encouragements, et leurs soutiens durant toutes ces années.*

*Spécialement à **Yacine Tabet**, qui est ma source d'inspiration et mon plus grand soutien. Merci infiniment pour ton aide et tes précieux conseils.*

*A tous les membres de **HD Consulting**, Mr et Madame **Bouida, Samad** et **Nour**, Je les remercie pour tous les bons moments que nous avons passés ensemble.*

*A cher ami **Aymen**, Je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mes pensées, tu es pour moi un frère et un ami sur qui je peux compter.*

*A mes très chères amies **Roufaida, Sabrina, Sanaa** et **Ferial**, On dit « il y a la famille, il y a les amies et puis il y a les amies qui deviennent la famille » On est devenues une deuxième famille les unes des autres, Dieu seul sait à quel point vous allez me marquer, chacune a sa place unique dans mon cœur, merci pour tous les souvenirs que j'en garde.*

*N'en oubliera pas mes chers amis **Samia, Ferial, Bouchra, Ibtissam, Amine, Abdelillah, Abderrahmane, Djallal, Ikram.D** et **Ikram.S**, en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.*

*A tous mes collègues de la promotion **M2 2020**.*

*A ma chère binôme **Yasmine**, pour les bons moments partagés. Puisse ce travail être un souvenir pour nous.*

*A toutes les personnes qui ont su être présentes lorsque j'en avais besoin.*

**AMEL...**

## ***Dédicaces***

*À mes grands-parents paternels qui m'ont comblée de leur amour depuis ma naissance et entourée tout au long de mon parcours scolaire, de leur sollicitude, leur dévouement, et leur délicate attention pour mon bien-être et ma pleine réussite.*

*À mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir.  
Que dieu leur procure bonne santé et longue vie,*

*À mes sœurs « Nesrine, Mayssane » et mon frère « Yacine », en leur souhaitant beaucoup de réussite dans leur vie,*

*À mes grands-parents maternels, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines pour leurs encouragements permanents.*

*À mes amis(es) en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables passés ensemble.*

*À « Amel », chère amie avant d'être binôme, pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet,*

*À Mr Bouida, pour l'aimable accueil dans son entreprise, pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*À tous ceux qui me sont chers,*

*À vous cher lecteur.*

*Yasmine...*

## Table des matières

Liste des figures .....	2
Liste des tableaux .....	2
Liste des abréviations.....	4
Introduction générale.....	4
<b>CHAPITRE I : Introduction aux réseaux IP/GSM .....</b>	<b>10</b>
I.    Introduction.....	11
II.   Voix sur IP : .....	11
1.  Définition : .....	11
2.  Architecture de la VOIP : .....	11
3.  Les protocoles de la VoIP : .....	14
3.1.Protocole H.323 : .....	14
3.2.Protocole SIP : .....	15
4.  Les avantages et les inconvénients de la VoIP : .....	16
4.1.Avantages : .....	16
4.2.Inconvénients : .....	18
III.  GSM .....	18
1.  Définition : .....	18
2.  Architecture GSM : .....	19
3.  Les protocoles du GSM : .....	20
4.  Les avantages et inconvénients de la GSM : .....	22
4.1.Avantages : .....	22
4.2.Inconvénients : .....	22
IV.  Conclusion .....	22
<b>CHAPITRE II : La carte Raspberry Pi.....</b>	<b>23</b>
I.    Introduction.....	24
II.   Raspberry Pi.....	24
1.  Définition : .....	24
2.  Les modèles de Raspberry pi : .....	25
3.  La comparaison entre les modèles : .....	26
4.  Domaine d'utilisation carte Raspberry pi : .....	27
5.  Systèmes d'exploitation : .....	27

5.1.Raspbian :	27
5.2.Ubuntu MATE :	28
III. Conclusion :	28
<b>CHAPITRE III : Réalisation d'une passerelle VoIP/GSM.....</b>	<b>29</b>
I. Introduction .....	30
II. Outils utilisés et architecture .....	30
1. Outils utilisés :	30
1.1.Software :	30
1.2.Hardware :	31
2. Architecture de notre réseau .....	31
III. Installation et configuration .....	32
1. Installation du système .....	32
2. Préparation du système .....	32
3. Configuration FreePBX.....	33
3.1.Création des comptes utilisateurs .....	34
3.2.Les alternatives possibles .....	38
a. 1 <sup>er</sup> cas : entre deux extensions SIP .....	39
b. 2 <sup>eme</sup> cas : entre extension SIP et extension IAX2.....	39
c. 3 <sup>eme</sup> cas : entre deux extensions IAX2 .....	42
d. 4 <sup>eme</sup> cas : entre VoIP/ GSM .....	42
4. Analyseur de paquets.....	44
a.Capture d'appel :	45
b.Décodage d'appel .....	47
c.Analyse des pertes de paquets .....	48
d.Relation temps/perte de paquets :	53
IV. Conclusion .....	54
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>55</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>59</b>

## Liste des figures

Figure 1 : La taille moyenne de l'entreprise .....	6
Figure 2 : La fréquence d'utilisation de la téléphonie.....	6
Figure 3 : Les opérateurs utilisés.....	6
Figure 4 : La durée d'appel.....	8
Figure 5 : Le coût mensuel de la téléphonie de l'entreprise .....	8
Figure 6 : Architecture VoIP/GSM .....	9
Figure 7 : L'architecture de la VOIP .....	12
Figure 8 : Architecture GSM .....	19
Figure 9 : Raspberry Pi 3 Modèle B .....	24
Figure 10 : Architecture du Raspberry Pi modèle B .....	25
Figure 11 : Architecture du réseau.....	31
Figure 12 : La console d'Asterisk .....	33
Figure 13 : Interface de FreePBX.....	33
Figure 14 : Identification de FreePBX .....	34
Figure 15 : La page d'accueil de FreePBX .....	34
Figure 16 : Ajout d'extensions SIP et IAX2.....	35
Figure 17 : Création extension SIP.....	35
Figure 18 : Création extension IAX2.....	35
Figure 19 : Affichage toutes les extensions.....	36
Figure 20 : Fichier sip.conf.....	36
Figure 21 : Fichier iax.conf .....	36
Figure 22 : Utilisateur SIP et IAX2 existants .....	37
Figure 23 : Configuration d'un softphone .....	38
Figure 24 : Test d'un appel entre deux extensions SIP.....	39
Figure 25 : Ajout d'un Trunk .....	39
Figure 26 : Création d'un Trunk.....	40
Figure 27 : Création d'une route sortante .....	40
Figure 28 : : La liste des numéros autorisés .....	40
Figure 29 : Ajout l'adresse IP du serveur au DMZ .....	41
Figure 30 : Test d'un appel entre IAX2 et SIP .....	41
Figure 31 : Configuration Ring group .....	42
Figure 32 : Test d'un appel entre deux extensions IAX2.....	42
Figure 33 : L'extension qui reçoit l'appel entrant .....	43
Figure 34 : Automate générale.....	43
Figure 35 : Test d'appel VoIP à GSM .....	44
Figure 36 : Test d'appel GSM à VoIP .....	44
Figure 37 : Capturer la VoIP .....	45
Figure 38 : Capture de la communication entre T-IP 2 et la passerelle.....	45
Figure 39 : Capture de la communication entre T-IP 1 et la passerelle.....	46
Figure 40 : Capture de la communication entre T-IP 1 et T-IP 2.....	46
Figure 41 : Résultats Wireshark capture d'une communication téléphonique.....	47
Figure 42 : Communication Téléphonique .....	48
Figure 43 : Communication Téléphonique décodé.....	48
Figure 44 : Communication téléphonique.....	49
Figure 45 : Graphe sans perte de paquets (WAN) .....	50
Figure 46 : Graphe sans perte de paquets (LAN) .....	50
Figure 47 : Graphe avec perte de paquets (MAN) .....	51
Figure 48 : Dégradation du delta dans le décodage d'appel .....	51
Figure 49 : Graphes des contraintes de transport de la voix .....	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 : La moyenne d'appel pendant la journée .....</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 2 : Les services à valeur ajoutée par la VOIP [4] .....</b>	<b>17</b>
<b>Tableau 3 : Comparaison entre les modèles .....</b>	<b>26</b>
<b>Tableau 4 : Signification les champs d'utilisateur .....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau 5 : Signification des paramètres dans sip.conf et iax.conf .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 6 : Signification des paramètres du Dial plan.....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 7 : Relation temps/ perte de paquets.....</b>	<b>53</b>



## Liste des abréviations

<b>ACK</b>	Acknowledgment
<b>BCM</b>	Business continuity management
<b>DMZ</b>	Demilitarized zone
<b>DNS</b>	Domain Name System
<b>HDMI</b>	High Definition Multimedia Interface
<b>HTTP</b>	Hyper Text Transfer Protocol
<b>IAX</b>	Inter-Asterisk eXchange
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LXDE</b>	Lightweight X11 Desktop Environment
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network
<b>MGCP</b>	Media Gateway Control Protocol
<b>MMC</b>	Microsoft Management Console
<b>NAT</b>	network address translation
<b>OS</b>	Operating System
<b>PBX</b>	Private Branch eXchange
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RNIS</b>	Réseau Numérique à Intégration de Services
<b>RTC</b>	Regional Transportation Commission
<b>RTP</b>	Real-Time Transport Protocol
<b>SDHC</b>	Secure Digital High Capacity
<b>SOC</b>	Standard Occupational Classification
<b>SSH</b>	Secure Shell
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>VP8</b>	Video Compression Format
<b>WAN</b>	Wide Area Network

# **Introduction générale**

## **MOTIVATION ET PROBLEMATIQUES**

Devant l'essor fulgurant des nouvelles technologies de l'information et de la communication, moteur du progrès culturel, social et économique, les entreprises se trouvent projetées dans le tourbillon de la mondialisation et de la concurrence internationale, qui leur font obligation d'améliorer la qualité de leurs produits et d'en minimiser les coûts en agissant particulièrement sur le budget de fonctionnement grevé par les factures salées des communications téléphoniques.

Le problème des coûts de communication élevés est d'autant plus important que le transport des données en entreprise est vital pour cette dernière. Aussi nous avons choisi de mettre en œuvre une solution permettant une réduction sensible des coûts de communication en entreprise, d'autant plus que certaines recherches menées par des institutions spécialisées font ressortir que les redevances de télécommunication, constituent une part importante de leurs charges !

Trois raisons primordiales justifient le choix et l'intérêt de notre sujet :

1- A l'issue de notre mémoire, nous allons s'approfondir nos connaissances dans le domaine de la voix sur IP qui est un domaine d'actualité vu les réseaux nouvelles générations qui ont connus un grand succès à nos jours comme la cinquième génération.

2- Cette thématique va nous permettre de transposer nos savoirs théoriques au domaine pratique, pour une formation intégrée et plus complète.

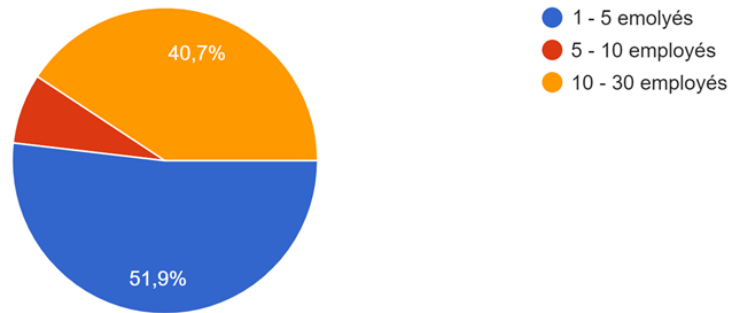
3- Nous visons à la fin de notre recherche, une solution dédiée à l'entreprise algérienne essaimée à l'intérieur ou l'extérieur du territoire national, une technologie beaucoup moins onéreuse pour leur système de communication téléphonique.

La technologie VoIP pourrait donc, constituer la solution idoine pour les entreprises, qui souhaiteraient réduire et maîtriser leurs frais de communication.

Avant d'entamer notre recherche, nous avons estimé utile de mener une enquête préliminaire auprès d'une trentaine d'entreprises et bureaux de travail, pour saisir quelques paramètres pouvant nous orienter dans la réalisation de notre solution.

Dans les paragraphes suivants, nous avons résumé et tracer les chiffres importants pour bien cerner et bien savoir quels sont les contraintes de ces entreprises pour essayer à la fin de proposer une solution adéquate.

Le coût des communications dans une entreprise dépend logiquement sur la taille de cette dernière, les entreprises partenaires lors de notre mémoire ont révélé que la majorité ont une taille assez importante, voir la figure 1.

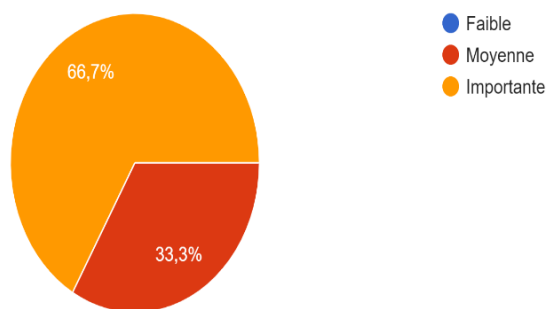


*Figure 1 : La taille moyenne de l'entreprise*

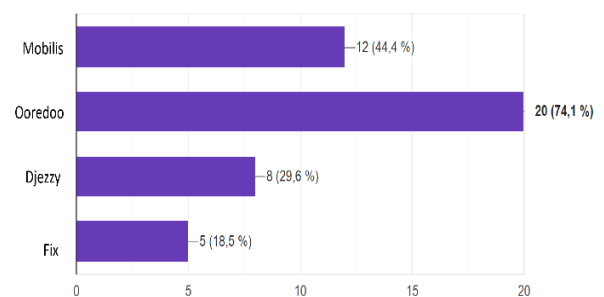
Nous remarquons qu'un grand pourcentage des entreprises partenaires à une taille de 10 à 30 employés.

La fréquence d'utilisation de la téléphonie par ces entreprises est illustrée dans la figure 2, sur 27 entreprises, la facture des communications téléphonique est assez importante.

Comme le coût de la communication dépend aussi des opérateurs, car chaque opérateur fixe ses propres stratégies, la diversité des trois opérateurs mobiles plus la ligne fixe d'Algérie télécom est détaillée dans la figure 3.

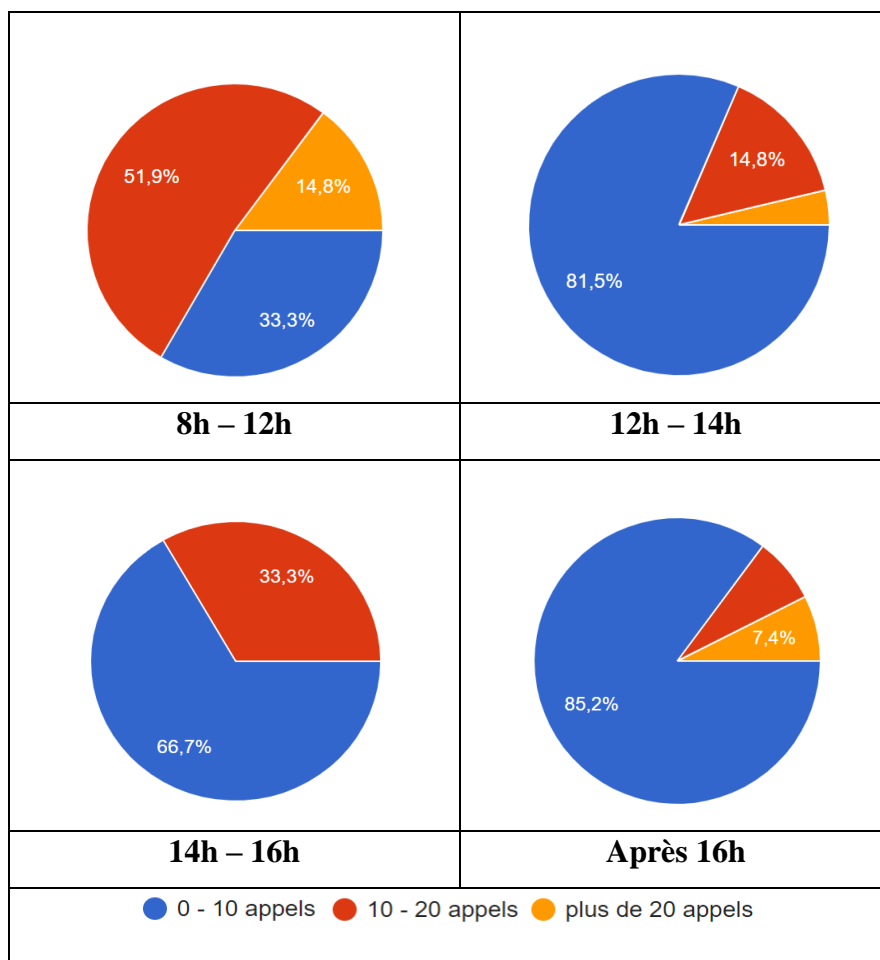


*Figure 2 : La fréquence d'utilisation de la téléphonie*



*Figure 3 : Les opérateurs utilisés*

Les chefs d'entreprises ont insisté sur la répartition des appels ; les appels sont répartis sur des plages horaires de travail ont abouti aux résultats schématisés ci-dessous (voir tableau 1), le but de cette enquête est de définir quelle est le moment ou le réseau est saturé ou non, ce détail nous permet de faire aussi nos tests finals suivant ces tranches horaires.

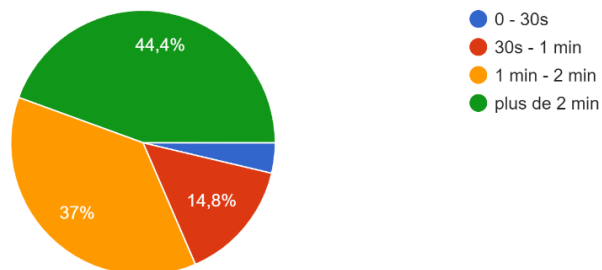


*Tableau 1 : La moyenne d'appel pendant la journée*

Une fréquence entre 10 et 20 appels occupe la matinée (8h – 12h).

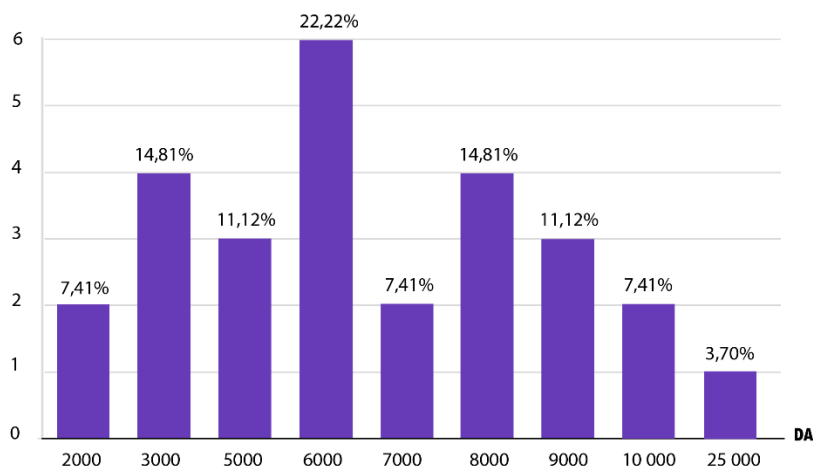
Une réduction importante du nombre d'appels entre 12h - 14h et au-delà de 16h, vu que les employés sont en pause ou bien ont déjà quitté leurs lieux de travail. Pour la période entre 14h-16h, les appels sont moins importants par rapport à la matinée.

Plus la tranche horaire, nous avons le taux de 44.4% des communications durent plus de 2 min, alors que 37% durent entre 1 min et 2 min et à la fin 14.8% n'excédant pas une minute, voir Figure 4.



*Figure 4 : La durée d'appel*

Puisque que le coût est notre priorité, quelques chefs d'entreprise ont révélé les coûts des communications téléphoniques mensuelles de leurs boites, la figure 5 illustre parfaitement le chiffre dépensé.



*Figure 5 : Le coût mensuel de la téléphonie de l'entreprise*

## **NOTRE OBJECTIF**

Notre questionnaire nous a permis de bien sceller la problématique, si on revient au coût des entreprises moyennes avec une taille entre 20 et 30 employés et qui dépense mensuellement plus de 8000da comme mentionné dans la figure 5, nous nous sommes posé la question sur les grandes entreprises qui ont plus de 1000 employés, quel est le prix a payés pour des communications entre les différents réseaux ? Cette question nous a motivé de proposer une solution qui pourra servir à ces entreprises pour réduire cette charge.

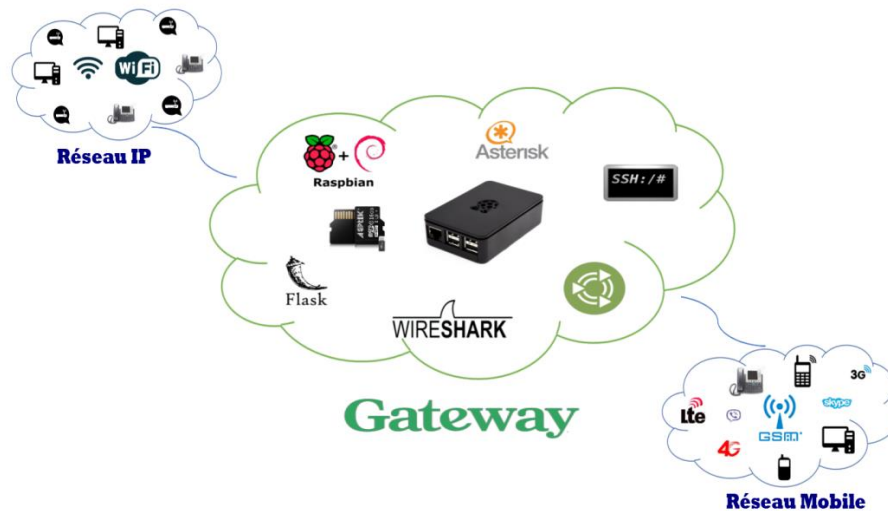
Pour le faire, nous avons procéder à l'installation d'un système basé sur la téléphonie VoIP (Voix sur IP), permettant de réduire au maximum les coûts d'implémentation et

d'exploitation des appels, tout en optimisant la communication entre entreprises à travers ses succursales au niveau national ou international.

Prendre en charge au moins deux problèmes essentiels :

- Définition des équipements nécessaires pour la réduction des coûts d'installation,
- Maximalisation de la capacité d'exploitation du système de communication téléphonique de l'entreprise.

Notre solution est le développement d'une passerelle (Gateway) entre deux réseaux distants, une passerelle robuste et fiable qui nous permet d'acheminer sans problème les communications entre les entreprises et aussi l'utilisation du réseau IP au sein de ces entreprises pour minimiser le cout d'une façon exponentiel. Pour avoir une idée sur notre solution, un schéma est mis en place, voir la figure 6.



*Figure 6 : Architecture VoIP/GSM*

Notre mémoire est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre nous allons faire une introduction à la VoIP qui sera notre réseau principal.
- Le deuxième chapitre nous allons détailler et définir l'équipement principal pour la réalisation de notre passerelle qui est le Raspberry Pi.
- Le dernier chapitre nous allons faire nos tests et discuté aussi sur les résultats obtenus et les perspectives.

# **CHAPITRE I**

Introduction aux réseaux **IP/GSM**



## **I. Introduction**

La Voix sur IP (en anglais, Voice over IP ou VoIP) est une nouvelle technologie de télécommunication vocale qui marque un tournant dans le monde de la communication en appliquant à la voix le même traitement que les autres types de données circulant sur Internet en transmettant des paquets de données-voix dans le bon ordre et dans un délai suffisamment réel.

La voix sur IP est un précieux avantage pour les entreprises, l'enjeu étant de réussir à faire connecter le réseau de données IP au réseau téléphonique actuel.

A cette fin nous considérons que le recours à Raspberry Pi est l'une des solutions la plus simple et la plus adaptée.

Ce premier chapitre comporte une analyse de la Voix sur IP axée principalement sur son architecture, ses protocoles et ses avantages et inconvénients, qui seront suivie d'une présentation de la carte Raspberry Pi et d'un état comparatif de ses différents modèles et des conditions d'utilisation des cartes disponibles en l'occurrence Raspberry Pi 3.

## **II. Voix sur IP :**

### **1. Définition :**

La voix sur IP (VoIP) est une technique qui permet le transport, à travers le protocole IP, des paquets de données correspondant à des échantillons de voix numérisée. Cette technique permet la conversion des signaux vocaux en signaux digitaux, acheminés en paquets, par internet, dans l'ordre requis, et dans les meilleurs délais pour que la voix soit correctement reproduite comme par exemple l'application Skype qui est basée sur la VoIP. [1]

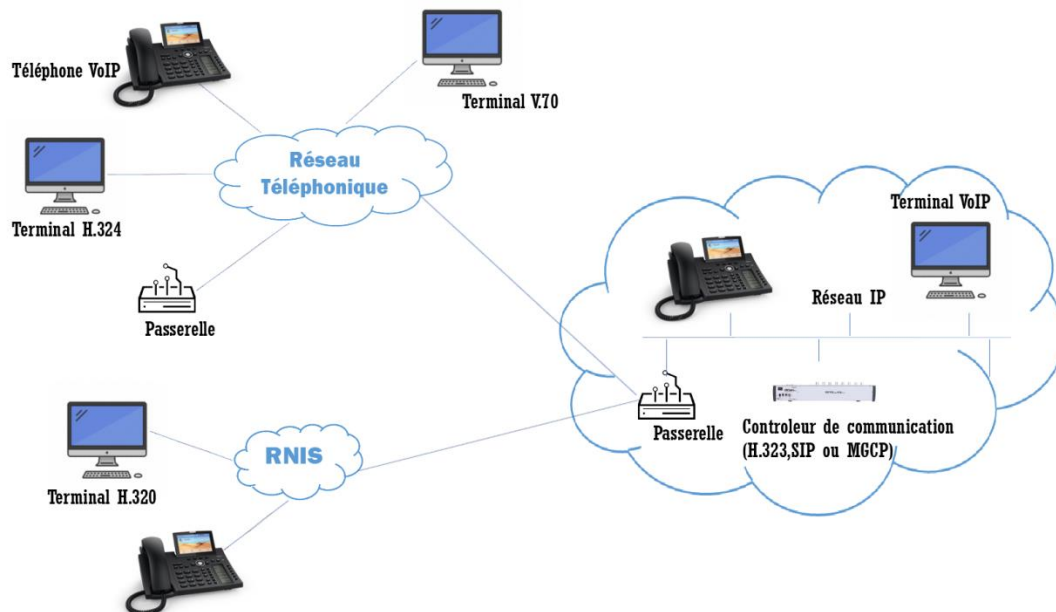
### **2. Architecture de la VOIP :**

La VoIP étant une nouvelle technologie de communication, les recherches n'ont pas encore abouti à l'adoption d'un modèle unique. Pour garantir une plus ou moins grande qualité de service, chaque constructeur apporte selon ses visées les normes et les fonctionnalités spécifiques à ses solutions.

Aussi nous rencontrons dans ce domaine trois principaux protocoles qui sont H.323, SIP et MGCP/MEGACO, et notons de ce fait plusieurs approches pour offrir des services de téléphonie et de visiophonie sur des réseaux IP, dont certaines adoptent un réseau

d'égaux ou de pairs qui, à l'aide de systèmes de communication et d'échange appropriés, permet à deux ou plusieurs individus de collaborer spontanément, sans nécessairement avoir besoin d'une coordination centrale.

De ce fait la responsabilité des échanges ou des communications se trouve aux marges ou à la périphérie du système, et que l'ensemble des ressources du système ne se trouve pas dans un même endroit physique, mais est réparti entre plusieurs machines.



*Figure 7 : L'architecture de la VOIP*

La figure 7 décrit, de façon générale, la topologie d'un réseau de téléphonie IP qui comprend des terminaux, un serveur de communication et une passerelle vers les autres réseaux, l'architecture d'une solution VoIP est composée de plusieurs éléments les suivants :

**Le routeur** : sa fonction est de constituer une table de routage qui permet l'acheminement des données dans les différentes branches du réseau vers leur destinataire. Il constitue par ailleurs un dispositif assurant la liaison optimale des paquets de données entre deux zones séparées d'un ou deux réseaux différents. Le routeur n'accepte que la trame dont l'adresse de destination est la sienne, en extrayant un paquet de niveau réseau et en sélectionnant le meilleur ou le plus court chemin par lequel faire transiter le paquet. Certains routeurs permettent de simuler un Gatekeeper

(élément qui fournit de l'intelligence à la passerelle) grâce à l'ajout de cartes spécialisées supportant les protocoles VoIP.

**La passerelle (Gateway) :** est un convertisseur de protocole. Tandis qu'un routeur peut accepter et transférer des paquets uniquement sur un réseau en utilisant des protocoles similaires, une passerelle permet à deux réseaux différents utilisant des protocoles différents de communiquer entre eux.

Quant à la passerelle de voix sur IP, elle est spécifiquement conçue pour permettre aux messages vocaux provenant d'un réseau téléphonique traditionnel d'être transmis sur un réseau utilisant le protocole IP, tout en leur offrant la possibilité d'effectuer le chemin inverse. Elle permet aussi de recevoir et de passer des appels sur un réseau de téléphonie normal.

Pour beaucoup d'entreprises, il est avantageux de continuer à utiliser des lignes téléphoniques traditionnelles pour garantir une meilleure qualité d'appel et une plus grande disponibilité.

**Le PABX :** (Private Automatic Branch eXchange) est un commutateur ou standard téléphonique privé. Il sert principalement à relier les postes téléphoniques d'un établissement (lignes internes) avec le réseau téléphonique public (lignes externes). Il offre en outre différents services : l'appel entre postes internes, la possibilité de définir, poste par poste, les droits d'accès au réseau public, le transfert d'appels, la messagerie vocale. En outre, le PABX ventile la facturation entre les différents services de l'entreprise. [2]

**Les Terminaux :** sont généralement de deux types logiciel (software phone) ou matériel (hardphone).

- **Terminal logiciel :** le logiciel doit être installé dans le PC de l'utilisateur. L'interface audio peut être un microphone et des haut-parleurs branchés sur la carte son. Pour une meilleure clarté, un téléphone USB ou Bluetooth peut être utilisé.
- **Terminal matériel :** est un téléphone IP qui utilise la technologie de la Voix sur IP pour permettre des appels téléphoniques sur un réseau IP tel que l'Internet au lieu de l'ordinaire système PSTN (public switched telephone network). Les

appels peuvent parcourir par le réseau internet comme par un réseau privé. Un terminal utilise des protocoles comme le SIP (Session Initiation Protocol) ou l'un des protocoles propriétaire tel que celui utilisée par Skype. [3]

### 3. Les protocoles de la VoIP :

Avec le développement du multimédia sur les réseaux en mode paquet, il est devenu nécessaire de développer des protocoles qui supportent les nouvelles fonctionnalités telles que la voix, la vidéo et la visioconférence avec un souci de données temps réel, le protocole étant un ensemble de procédures et de règles qui servent à l'émission et à la réception des données sur un réseau.

Les deux protocoles les plus utilisés actuellement dans les solutions VoIP présents sur le marché sont le H.323 qui a été élaboré dans le milieu des télécommunications, et le SIP qui a été développé récemment dans le milieu informatique (essentiellement le web).

#### 3.1. Protocole H.323 :

Le protocole H.323 a été développé par l'UIT (Union International des Télécommunications) en 1996, afin de fournir un mécanisme de transport IP pour la visioconférence. Il concerne le contrôle des appels, la gestion du multimédia ainsi que la gestion de la largeur de bande pour les conférences point à point et multipoint.

Le protocole H.323 est aujourd'hui considéré comme la norme incontournable de téléphonie sur Internet, qui s'applique à tous les réseaux en mode paquets, et non plus uniquement aux réseaux locaux. [4]

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 du protocole H323 qui ressemble davantage, à une association de plusieurs protocoles différents qui peuvent être regroupés en trois catégories : la signalisation, la négociation de codec, et le transport de l'information.

#### Avantages et inconvénients du protocole H323 :

Les avantages du protocole H323 sont :

- **Gestion 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 prioritaires sur le LAN, chaque terminal H.323

pouvant procéder à l'ajustement de la bande passante et à la modification du débit en fonction du comportement du réseau en temps réel (latence, perte de paquets et gigue).

- **Support Multipoint** : H.323 permet de faire des conférences multipoint via une structure centralisée de type MCU (Multipoint Control Unit).
- **Support Multicast** : H.323 permet également de faire des transmissions en multicast.
- **Interopérabilité** : H.323 permet aux utilisateurs de ne pas se préoccuper de la manière dont se font les communications car les paramètres (les codecs, le débit...) sont négociés de manière transparente.
- **Flexibilité** : une conférence H.323 peut inclure des terminaux hétérogènes (studio de visioconférence, PC, téléphones...) qui peuvent partager selon le cas, de la voix de la vidéo et même des données grâce aux spécifications T.120.

Dans les points suivants nous allons citer les inconvénients du protocole étudié :

- La complexité de mise en œuvre concernant la convergence des services de téléphonie et d'Internet, ainsi qu'un manque de modularité et de souplesse.
- Comprend de nombreuses options susceptibles d'être implémentées de façon différente par les constructeurs d'où problèmes d'interopérabilité.

### 3.2. Protocole SIP :

Le protocole SIP (Session Initiation Protocol) est un protocole de transport et de signalisation récent datant de 1996, conçu par l'IETF (internet Engineering Task Force), pour établir, modifier et terminer les appels vocaux et les sessions multimédias sur les réseaux IP (Intranet et/ou Internet). [4]

C'est aussi un protocole client-serveur : le téléphone (client) envoie des requêtes au serveur SIP ou vers d'autres clients SIP, les rôles du client et du serveur étant interchangeables, c'est-à-dire qu'un client peut se comporter comme un serveur, et vice-versa. Ces requêtes sont en fait des paquets de données qui contiennent des informations à destination du serveur SIP.

Le protocole SIP comporte sept messages textuels, qui sont :

- **INVITE** : invite un utilisateur à un appel téléphonique ou à une conférence
- **ACK** : confirme qu'un client a reçu une réponse positive à une requête INVITE.

- **OPTIONS** : sollicite des informations sur les capacités de l'utilisateur
- **STATUS** : informe un autre serveur des progrès d'actions de signalisation qui sont en cours
- **REGISTER** : achemine l'information de localisation de l'utilisateur vers un serveur SIP, méthode utilisée par le client pour enregistrer l'adresse dans l'URL TO par le serveur auquel il est relié.
- **BYE** : Requête de clôture d'un appel.
- **CANCEL** : termine une recherche d'utilisateur afin d'annuler une requête non validée par une réponse finale.

#### **Avantages et inconvénients du protocole SIP :**

Les avantages du protocole SIP sont :

- **Son Ouverture** : Les protocoles et documents officiels sont détaillés et accessibles à tous en téléchargement.
- **Standard** : L'IETF a normalisé le protocole et son évolution continue par la création ou l'évolution d'autres protocoles qui fonctionnent avec SIP.
- **Simple** : SIP est simple et très similaire à http.
- **Flexible** : SIP est également utilisé pour tout type de sessions multimédia (voix, vidéo, réalité virtuelle, etc.).
- **Téléphonie sur réseaux publics** : Il existe de nombreuses passerelles (services payants) vers le réseau public de téléphonie (RTC, GSM, etc.) permettant d'émettre ou de recevoir des appels vocaux. [2]

Comme inconvénients, nous pouvons citer :

- Une mauvaise implémentation ou une implémentation incomplète du protocole SIP dans les User Agents peut perturber le fonctionnement ou générer du trafic superflu sur le réseau.
- Le faible nombre d'utilisateurs : SIP est encore peu connu et utilisé par le grand public. N'ayant pas atteint une masse critique, il ne bénéficie pas de l'effet réseau.

#### **4. Les avantages et les inconvénients de la VoIP :**

##### **4.1. Avantages :**

La VoIP offre des nouvelles possibilités aux opérateurs et aux usagers qui bénéficient d'un réseau basé sur IP. On peut en citer :

- **Flexibilité** : la communication par Internet offre la gratuité des communications intersites ainsi qu'une facilité d'intégration des sièges distants.
- **Réduction des coûts** : Grâce au coût avantageux de la VoIP, la téléphonie IP offre de réelles économies pour les entreprises, surtout dans le cadre de communication internationale. Par ailleurs, la mise en place de la téléphonie IP permet de réduire et même d'éliminer les coûts relatifs aux déplacements des utilisateurs. De manière plus simple, la communication entre deux personnes utilisant la VOIP pourrait réduire leurs coûts de communication entre 60 et 70%.
- **Simplification de la gestion des réseaux voix, données et vidéo** : Effectivement l'entreprise ne va pas seulement substituer un transport opérateur RTC à un transport IP, mais va également simplifier la gestion des trois réseaux (voix, données et vidéo) par ce seul transport.
- **Mobilité** : Grâce à une connexion Internet, le téléphone IP peut accompagner son utilisateur même lors de son déplacement, contrairement à un téléphone classique, Le numéro de téléphone étant toujours à disposition où il se trouve.
- **Vidéoconférence** : VoIP permet des possibilités avancées de largeur de bande et la vidéoconférence améliorée et à un prix raisonnable.
- **De nouveaux services** :

Les services à valeur apportée par la VOIP	
Application	Description
Téléphonie	Service de téléphonie Vocal et fax
Messagerie unifiée	Convergence des messages (e-mails, messages vocaux, fax, SMS)
Audio /vidéo conférence	Echange simultané et en temps réel du son, des images et de documents
Click to dial	Communication directe avec un centre d'appels depuis un ordinateur
Messagerie instantanée	Gestion de présence et communication en temps réel (texte et voix)

*Tableau 2 : Les services à valeur apportée par la VOIP [5]*

#### 4.2. Inconvénients :

Malgré tous les avantages, la VoIP présente des inconvénients :

- **Le coût de la VOIP** : Le passage à la VOIP a un coût élevé dû à l'installation de l'infrastructure et l'achat des équipements.
- **Fiabilité et qualité sonore** : Un des problèmes les plus importants de la téléphonie sur IP est la qualité de la retransmission qui n'est pas encore optimale. Il se peut que des morceaux de la conversation manquent (des paquets perdus pendant le transfert) sans être en mesure de savoir si des paquets ont été perdus et à quel moment. En effet les problèmes de latence, de délais, perte de paquets peuvent beaucoup faire baisser la qualité et la fiabilité du service. Pour une bonne qualité Il faut un délai de moins de 150 ms de latence.
- **Sécurité** : La VoIP étant reliée à l'Internet et pouvant faire l'objet d'une attaque malveillante (le piratage des lignes, vol de service et de données, virus et malware, déni de service, Spamming, appel trifouillant, etc.). Le problème sécuritaire devient de ce fait son souci primordial et permanent. [2]

Le réseau IP ne sera pas le seul réseau téléphonique lors de notre étude, si on revient à notre questionnaire, le réseau téléphonique mobile avec ces trois opérateurs sont bien présents. Pour cette raison, nous avons jugé d'ajouter quelques concepts importants du réseau GSM

### III. GSM

#### 1. Définition :

Le réseau GSM (Global system for mobile communication) exécute la communication entre les stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. Classant actuellement la téléphonie la plus importante des services offerts.

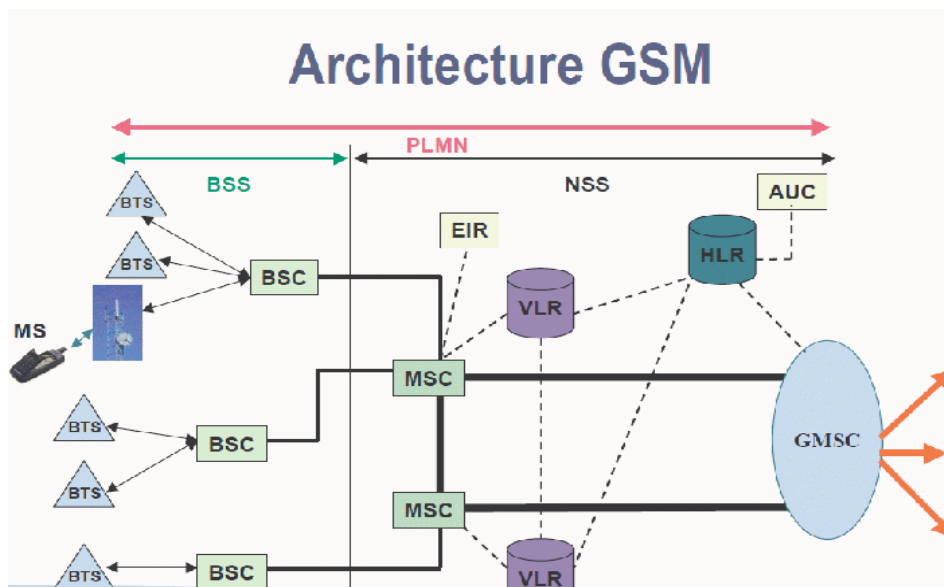
Ce réseau active la communication entre deux postes mobiles ou entre un poste mobile et un poste fixe. Ce standard de téléphonie est classé de seconde génération (2G), fonctionnant selon un mode entièrement numérique différent des téléphones portables de première génération.



Autorisant un débit maximal de 9.6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS) ou des messages multimédias (MMS).

## 2. Architecture GSM :

- ✓ **BSS** (Base Station Sub-System):
  - **BTS** (Base Transceiver Station)
  - **BSC** (Base Station Controller)
- ✓ **NSS** (Network and Switching Sub-system):
  - **MSC** (Mobile service Switching Center)
  - Deux bases de données
    - a) **HLR** (Home Location Register)
    - b) **VLR** (Visitor Location Register)
  - **AuC** (Authentication Center)
- ✓ **MS** (mobile Station)
- ✓ **Carte SIM** (Subscriber Identity Module)



*Figure 8 : Architecture GSM*

La figure 8 montre les différentes composantes de la GSM. GSM se compose de : BSS (base station sub-system), le NSS (network and switching sub-system) et MS (mobile station).

Les chemins de transmission entre les MSs et le NSS sont fournis et gérés par le BSS. Le BSS est constitué de BSCs à chacun desquels est associé un ensemble de BTSs qui sont en contact direct avec les mobiles via l'interface radio.

Gérant l'ensemble de l'interface radio (via la commande à distance des BTSs et des MSs) le BSC est le principal responsable de l'allocation et de désallocation des canaux radio ainsi que de la gestion du Handover.

Le NSS contient les fonctions principales de commutation du GSM. La commutation est effectuée par les MSCs. Les MSCs s'interfaçent avec les BSCs d'un côté (interface A) et avec les réseaux externes de l'autre.

En plus des MSCs, le NSS contient également les bases de données nécessaires aux données d'abonnés et à la gestion de la mobilité.

Quel que soit la localisation de l'abonné. Le HLR contient des informations associées à l'abonné ainsi que sa localisation courante. Au niveau du système le HLR est unique (ça n'empêche pas qu'il peut être distribué sur plusieurs équipements).

Le GSM fait usage d'une autre base de données : le VLR connecté à un ou plusieurs MSC. Elle est en charge du stockage temporaire des données associées aux abonnés localisés dans la zone de service du MSC correspondant. Elle contient également des informations plus précises que le HLR sur la localisation de l'abonné. Le mobile informe le VLR de ses changements de cellule. En cas où le changement concerne deux cellules associées à deux MSC différents, le nouveau VLR avise le HLR qui demande ensuite au précédent VLR de désenregistrer le mobile. [6]

### 3. Les protocoles du GSM :

Le réseau GSM est défini à partir de couches de protocoles utilisées au niveau des différentes interfaces :

- Au niveau du BSS :
  - Interface UM : entre MS et BTS.
  - Interface Abis : entre BTS et BSC.
- Au niveau du NSS :
  - Interface A : entre BSC et MSC.

Chaque interface a utilisé plusieurs protocoles les suivants :

- **Interface UM:** LAPDm (Link Access Protocol for the D channel Modified) et le MTP.
- **Interface Abis :** le transport des informations se fait numériquement, pour le support du signalisation le protocole LADP basé sur le protocole HDLC.
- **Interface A:**
  - **MTP** (Message Transfert Part) : qui est divisé en trois niveaux (MTP1, MTP2 et MTP3) proches des trois premières couches du modèle OSI (couche physique, couche liaison et couche réseau). Son but est de permettre le transport et la distribution fiable des informations de signalisation à travers le réseau et aussi de réagir aux pannes afin d'assurer continuellement la transmission.
  - **SCCP** (Signalling Connection Control Part) : ce protocole permet de transporter des informations de signalisation avec ou sans connexion.
  - **BSSAP** (*BSS Application Part*) : comprend le BSSMAP et le DTAP. L'échange de deux types de messages entre le BSC et le MSC est possible : l'interprétation des messages par le BSC intéresse la sous-couche BSSMAP et les autres messages circulants entre le mobile et le MSC sont traités par la sous-couche DTAP (dans ce deuxième cas, le BSC joue le rôle d'un répéteur). Un système de distribution permet d'orienter correctement les messages suivant leur type DTAP ou BSSMAP. [7]
  - **BSSMAP** (*BSS Management Application Part*) : cette sous-couche BSSMAP gère les ressources radio. Elle est utilisée pour gérer les HO et les mises à jour de localisation. Les trames BSSMAP sont incorporé dans la partie "données" des trames SCCP.
  - **DTAP** (*Direct Transfert Application Part*) : ce protocole prend en charge les messages CM et MM entre le mobile et le MSC. Le BSC est estimé comme "transparent" : la transition des messages sans modification entre le mobile et le MSC. Les trames DTAP sont incorporé directement dans des trames SCCP ou bien dans des trames BSSMAP. [6] [7]

**4. Les avantages et inconvénients de la GSM :****4.1. Avantages :**

- Couverture étendue.
- Meilleure qualité d'écoute.
- Une plus grande variété de téléphones.
- Taille réduite.
- Pas de frais d'itinérance sur les appels internationaux.
- Confidentialité des communications.

**4.2. Inconvénients :**

- Décalage de la bande passante.
- Lenteur de l'envoi des données.
- Provoque des interférences électroniques.

**IV. Conclusion**

Le développement technologique a conduit à l'émergence de la VOIP, qui est devenu une solution rentable pour effectuer des conversations. Technologie en vogue en ce début de siècle renforce des technologies antérieures qui ont présentées des faiblesses, plusieurs entreprises étrangères exploitent la VOIP vu les avantages qu'elles présentent.

Cette innovation est encore à l'état embryonnaire en Algérie vu l'absence des fournisseurs de VoIP, Les créateurs ont inventé PBX se qui a permis de gérer les paquets IP en fonction des différentes contraintes.

# **CHAPITRE II**

## **La carte Raspberry Pi**

## I. Introduction

Pour le développement de notre solution, nous avons mis en place un cahier de charge qui comporte tous les équipements hard/soft. La pièce maitresse de notre solution est une carte Raspberry Pi. La carte Raspberry Pi est une petite carte électronique de taille d'une vieille K7 audio et ayant la forme d'une seule et simple carte mère, il est créé par l'anglais David Braben. C'est une curiosité technologique des plus fabuleuses, en le souhaitant pratique à manipuler de par sa taille et son faible poids, peu cher et facile à utiliser, il désire offrir aux plus jeunes générations la possibilité de s'initier à l'informatique de manière ludique et efficace.

Ce chapitre comporte une présentation du Raspberry Pi axée principalement sur ses systèmes d'exploitation, et d'un état comparatif de ses différents modèles et des conditions d'utilisation de la carte disponible en l'occurrence Raspberry Pi 3.

## II. Raspberry Pi

### 1. Définition :

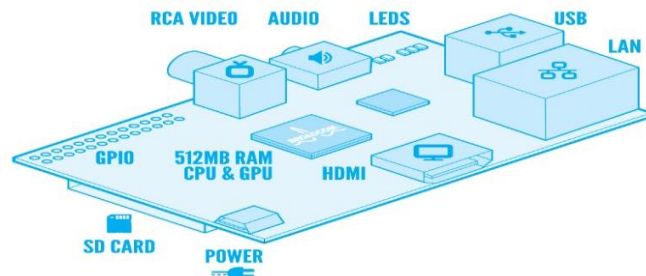
Le Raspberry Pi est connu comme un ordinateur à carte unique (voir figure 9), ce qui signifie exactement à quoi il ressemble : c'est un ordinateur, tout comme un ordinateur de bureau, un ordinateur portable ou un smartphone, mais construit sur une seule carte de circuit imprimé.

Le Raspberry peut être utilisé sans un écran, un clavier ou bien une souris, car sur certains systèmes d'exploitation le protocole SSH est présent et activé, ce qui permet de le contrôler à distance dès qu'il démarre.



*Figure 9 : Raspberry Pi 3 Modèle B*

La carte Raspberry Pi nécessite également un stockage de masse, pour cela nous utilisons une carte mémoire flash SD. Pour que la carte Raspberry Pi démarre à partir de cette carte SD de la même manière qu'un PC démarre dans Windows à partir de son disque dur. La figure 10 montre l'architecture de Raspberry Pi 3 modèle B.



*Figure 10 : Architecture du Raspberry Pi modèle B*

- Poids : 45 g.
- Taille : 85.60 mm x 53.98 mm.
- Processeur: 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM11).
- Système sur puce (Soc) : Broadcom BCM2835.
- Processeur graphique (GPU) : décodeur BroadcomVideoCore IV, API logicielle vidéo OpenGL ES 2.0, MPEG-2 et VC-1, décodage vidéo 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC.
- Mémoire (SDRAM) : 256 Mo [Modèle A] ou 512 Mo [Modèle B] partagée avec le processeur graphique.
- Ports USB 2.0 : 1 [Modèle A] ou 2 [Modèle B].
- Sortie vidéo : RCA Composite (PAL et NTSC) et HDMI (rev 1.3& 1.4).
- Sortie audio : 3.5 mm jack, HDMI.
- Unité de lecture-écriture de carte mémoire : SDHC / MMC / SDIO.
- Réseau : 1 port réseau Fast Ethernet (10/100 Mbits/s) sur le [Modèle B] uniquement.
- Périphériques bas niveau : 8 × GPIO, UART, bus I2C, bus SPI.
- Besoin en alimentation : 5 V via MicroUSB ou GPIO ,300 mA (1.5W) [Modèle A] ou 700 mA (3.5 W) [Modèle B]. [8]

## 2. Les modèles de Raspberry pi :

Depuis la sortie de Raspberry jusqu'à aujourd'hui il y'a plusieurs modèles. L'apparition de Raspberry Pi zéro en premier, améliorer on Raspberry Pi zéro W et suivi par Raspberry Pi WH, par l'évolution de la technologie on a abouti aux modèles A (Février 2012) et B (Octobre 2012)

plus performant que les précédents notre itérer et orienté vers ces deux modèles, il y'a plusieurs différences entre eux et la principale différence est le port USB. La carte Raspberry Pi A consomme moins d'énergie et n'inclut pas de port Ethernet par contre la carte du modèle B comprend un port Ethernet. Chaque modèle est composé de plusieurs types les suivants :

**Modèle A :**

- ✓ Raspberry pi modèle A+
- ✓ Raspberry pi 3 modèle A+

**Modèle B :**

- ✓ Raspberry pi modèle B+
- ✓ Raspberry pi 2 modèle B
- ✓ Raspberry pi 3 modèle B et B+
- ✓ Raspberry pi 4 modèle B+

**3. La comparaison entre les modèles :**

Le tableau 3 représente la comparaison entre les modèles du Raspberry Pi. [9]

Raspberry Pi	Raspber ry Pi model A+	Raspber ry Pi model B+	Raspber ry Pi 2 model B	Raspber ry Pi 3 model B	Raspberry Pi 3 model A+	Raspberry Pi 3 model B+	Raspberry Pi 4 model B
<b>Soc</b>	BCM2835	BCM2835	BCM2836/7	BCM2837 A0/B0	BCM2837 B0	BCM2837 B0	BCM2711
<b>Speed (MHz)</b>	700	700	900	1200	1400	1400	1500
<b>RAM</b>	512 MB	512 MB	1GB	1GB	512 MB	1GB	2/4/8 GB
<b>USB ports</b>	1	4	4	4	1	4	2x USB2
<b>Ethernet</b>	No	100Base-T	100Base-T	100Base-T	NO	1000Base-T	1000Base-T
<b>Wireless</b>	NO	NO	NO	802.11n	802.11ac/n	802.11ac/n	802.11ac/n
<b>Bluetooth</b>	No	No	No	4.1	4.2	4.2	5.0

*Tableau 3 : Comparaison entre les modèles*



Pour des raisons de disponibilité des cartes on a choisi le modèle B, la taille de la mémoire est plus au moins suffisante pour notre projet.

#### 4. Domaine d'utilisation carte Raspberry pi :

Nous pouvons l'utiliser pour de nombreuses tâches que votre ordinateur effectue, comme un ordinateur à usage général, un centre des médias, apprendre l'électroniques et à programmer, prendre des photos, contrôle les robots, stockage réseau, console de jeux Retro, station de météo, radio internet et machine d'arcade...

L'objectif principal de la conception du Raspberry pi est d'encourager l'apprentissage, l'expérimentation et l'innovation pour les utilisateurs. La carte Raspberry pi peu coûteuse et portable. Presque la totalité des ordinateurs Raspberry Pi sont utilisés dans la téléphonie mobile.

Raspberry Pi c'est la machine parfaite pour généraliser l'informatique en classe, chez soi et le tiers monde, utilisé par les amateurs pour réaliser de meilleurs projets.

Raspberry Pi fait la promotion de ces clubs et contribue à développer le réseau internet dans le monde afin de garantir à chaque utilisateur un accès à l'apprentissage de l'informatique. De même, les Raspberry Jams sont des événements axés sur le Raspberry Pi pour que les personnes de tous âges se réunissent pour en apprendre davantage sur le Raspberry Pi et partager des idées et des projets. [10] [11]

#### 5. Systèmes d'exploitation :

Les systèmes d'exploitation qui fonctionneront sur le Raspberry Pi comprennent la plupart des distributions Linux à base de Raspbian ou Ubuntu.

##### 5.1. Raspbian :

Raspbian est le système officiel que la fondation Raspberry a choisi de mettre en avant. Il nous est impossible d'établir un classement qualitatif des différents OS, l'utilisation de la distribution relativement simple du Raspbian qui a surtout été spécialement conçue et optimisée.

Raspbian bénéficie d'un très bon support et d'une grande communauté vers laquelle se tourner pour apprendre, partager ses expériences et aisément le prendre en main.

Raspbian possède également un large éventail de possibilités. Optimisé pour être léger comme l'air-notamment grâce à son environnement de bureau LXDE. Cette distribution est par ailleurs livrée avec 35 000 paquets à installer sur votre petite machine. [12]

## 5.2. **Ubuntu MATE :**

**Ubuntu** est un système d'exploitation GNU/Linux open source qui jouit d'une très bonne réputation. Lui aussi basé sur l'architecture Debian, il est amplement utilisé pour les serveurs et autres solutions de cloud, pour les ordinateurs de bureau, mais aussi pour le Raspberry Pi grâce à sa version optimisée **Ubuntu MATE** qui, comme son nom l'indique exploite l'environnement de bureau MATE.

Ubuntu MATE sera parfait pour ceux qui sont déjà rodés à l'utilisation d'Ubuntu. [12]

Comme tout système embarqué, Raspberry Pi a besoin d'un firmware ou système d'exploitation pour pouvoir démarrer et exploiter le hardware.

Après avoir été confronté à quelques difficultés au niveau d'installation, on a trouvé une solution qui est l'image « RasPBX » basée sur Debian Buster Raspbian et contient Asterisk 16.6.1, FreePBX 15.0.16.22 et qui sera plus détaillée dans le chapitre suivant.

## III. **Conclusion :**

Cette petite carte Raspberry Pi qui est de la taille d'une carte de crédit, son CPU n'est pas vraiment à la hauteur pour surfer confortablement sur internet. De ce point de vue, le Raspberry Pi est encore loin des usages d'un ordinateur normal.

A cette fin nous considérons que le recours à Raspberry Pi est l'une des solutions la plus simple et la plus adaptée. Dans le chapitre suivant, on va exposer la partie environnement matériel et logiciel de ce travail.

# **CHAPITRE III**

**Réalisation d'une passerelle**

**VoIP/GSM**

## I. Introduction

Après avoir passé en revue le concept de la VoIP , GSM et la carte Raspberry tout ce qui est ensemble d'outils, appareils et composants , on a entamé la partie Software en montrant la configuration de l'image RasPBX qui contient Asterisk 16 qui est un IPBX (Internet Protocol - Private Branch eXchange = Server VOIP), c'est une solution de téléphonie sur IP Open Source, et contient aussi FreePBX une distribution qui apporte une interface graphique pour Asterisk et qui nous permet de configurer notre PBX de manière simple et intuitive.

Dans ce chapitre nous détaillons toutes les étapes de l'installation et la configuration d'un RasPBX et des clients (ZoiPer, Téléphone IP et MicroSIP). Et nous validons l'implémentation sur le Raspberry Pi 3.

## II. Outils utilisés et architecture

### 1. Outils utilisés :

#### 1.1. Software :

- **RasPBX** : Avant d'insérer la carte SD dans le Raspberry, il faut y graver une image disque du système d'exploitation Raspbx, qui est optimisé pour Raspberry, et qui contient :
  - Une version d'Asterisk PBX logiciel libre (open source) développée spécialement pour Raspberry, qui fournit toutes les fonctionnalités et services comme les appels téléphoniques, la messagerie vocale, les files d'attentes, transfert d'appel, gestion des boîtes vocales, transfert d'appel, les conférences. Il supporte pratiquement tous les protocoles de VoIP, par le biais de téléphones SIP ou IAX du marché, et il est compatible avec la majorité des équipements de téléphonie numériques et analogiques.
  - FreePBX l'interface graphique qui permet de gérer Asterisk sans passer par les fichiers de configuration (qui se modifient en ligne de commande). [13]
- **Wireshark** : Wireshark est un logiciel libre d'analyse de protocole de réseaux informatiques et de paquets, utilisé dans le dépannage, l'éducation, la rétro-ingénierie, et le piratage. C'est l'analyseur réseau le plus connu et le plus rentable. Il fournit des informations sur des protocoles applicatifs à partir de données capturées sur un réseau, dont il analyse les trames, et les convertit en fichiers audio, dans le cas de conversations

téléphoniques. Son but est de réaliser des captures de trames dévoilant des failles de sécurité, voire de localiser des pertes de performances sur le réseau. Wireshark est utilisé par de nombreuses entreprises et fait partie de la boîte à outil des experts réseau.

## 1.2. Hardware :

En plus de la carte Raspberry Pi nous citons :

- **USB mobile dongle « Huawei » E173** : Pour la passerelle GSM on a choisi les clés 3G. En les utilisons comme passerelle GSM/VoIP dont le but est de passer la voix, pour cela il faut activer la fonctionnalité d'appel vocal caché sur la clé 3G ou d'utiliser une clé qui supporte l'appel vocal. Donc, la passerelle GSM est obtenue à l'aide d'une clé 3G supportant les appels vocaux et le pilote chan\_dongle installé dans Asterisk, aussi elle fournit des appels entrants et sortants sur des réseaux GSM / 3G.
- **Un Serveur** sur lequel nous avons installé Asterisk, dans notre projet on a choisi un Raspberry.
- Des utilisateurs SIP ou IAX2 : sont des softphones.
- Un routeur : un modem.

## 2. Architecture de notre réseau

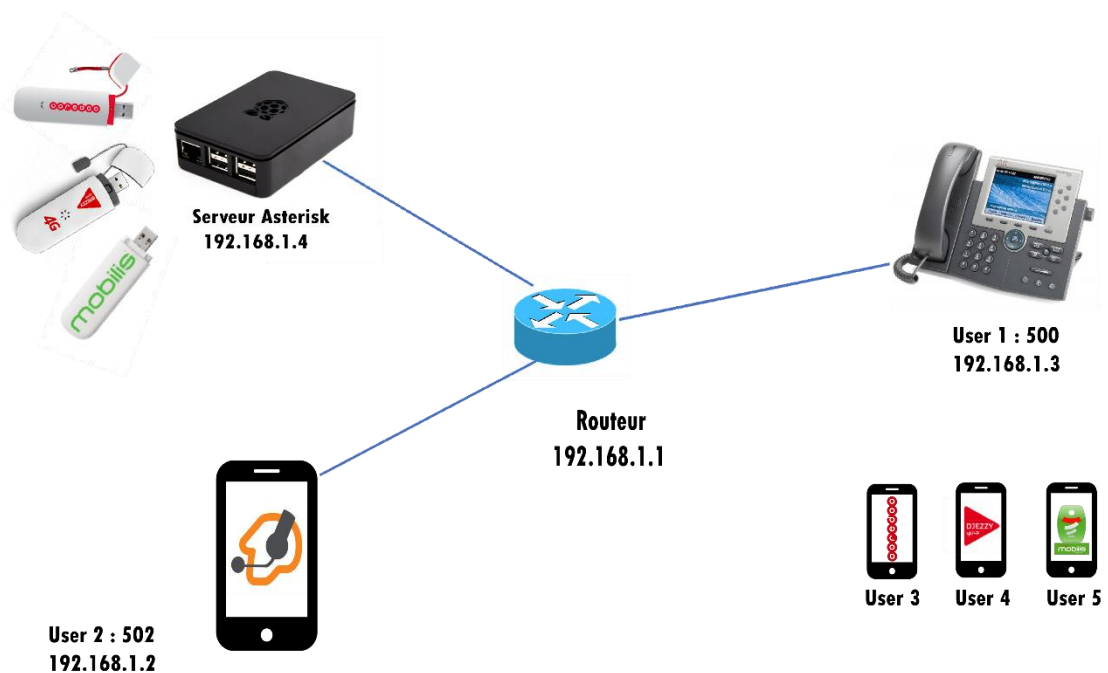


Figure 11 : Architecture du réseau

La figure 11 montre l'architecture globale du réseau, cette dernière composée d'un centre distributeur qui est un routeur (un simple modem wifi), d'un Raspberry Pi comme passerelle doté d'un serveur Asterisk pour créer des comptes à un certain nombre d'utilisateurs, l'ensemble représente la VoIP. Une adjonction de clés 3G donne à cette architecture la fonction de VoIP/GSM.

### III. Installation et configuration

#### 1. Installation du système

- Tout d'abord nous avons créé la carte SD pour le Raspberry (les étapes sont détaillées en annexe 1).
- Une fois que le RasPBX a démarré avec succès, on exécute cette commande dans le terminal pour installer les dernières mises à jour :

```
root@raspbx:~# raspbx-upgrade
```

#### 2. Préparation du système

- Ensuite on installe le pilote chan\_dongle, un accès GSM très abordable peut être obtenu en utilisant une clé Huawei fournissant des appels entrants et sortant sur les réseaux GSM/3G, par l'exécution de cette commande :

```
root@raspbx:~# install-dongle
```

Ce script installe chan\_dongle, en créant une configuration initiale. Une fois le programme d'installation terminé, on branche la clé 3G au Raspberry Pi (pour plus de détails voir annexe 2).

- Pour se connecter au serveur Asterisk, on a utilisé la commande suivante (voir figure 12).

```

root@raspbx:~# asterisk -r
Asterisk 16.9.0, 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 details.
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 16.9.0 currently running on raspbx (pid = 1209)
raspbx*CLI> █

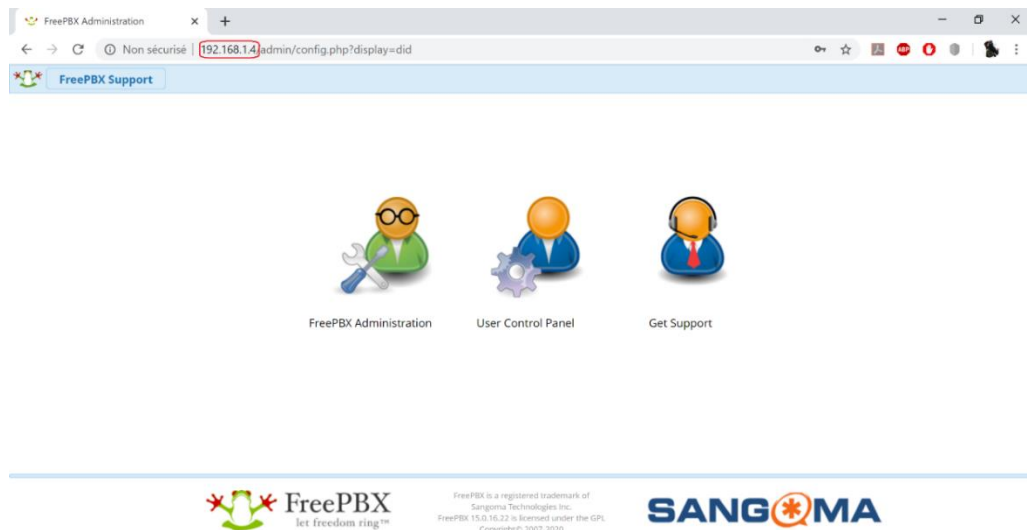
```

*Figure 12 : La console d'Asterisk*

- Dès que l'installation d'Asterisk est effectuée, plusieurs fichiers sont créés (voir annexe 3) dont, celui qui s'intègre le mieux à notre projet est `/etc/asterisk/` vu qu'il contient les fichiers de configuration du serveur Asterisk, parmi lesquels on trouve : **asterisk.conf**, **extensions.conf**, **iax.conf**, **rtp.conf** et **sip.conf** (voir annexe 4).
- Pour la configuration d'Asterisk, la solution la plus abordable est d'utiliser FreePBX, l'outil de configuration à distance d'Asterisk. C'est une interface web qui facilite énormément la gestion de notre PABX.

### 3. Configuration FreePBX

- Dans la barre d'adresse du navigateur du PC connecté sur le réseau LAN de notre Raspberry (figure 13), on introduit l'adresse du serveur RasPBX (qu'on a pu récupérer lors de l'installation), en l'occurrence 192.168.1.4.



*Figure 13 : Interface de FreePBX*

- Cliquer sur « FreePBX administrator », pour accéder à l'outil de gestion en ligne d'Asterisk.
- Créer un utilisateur, puis introduire le nom et le mot de passe (figure 14).

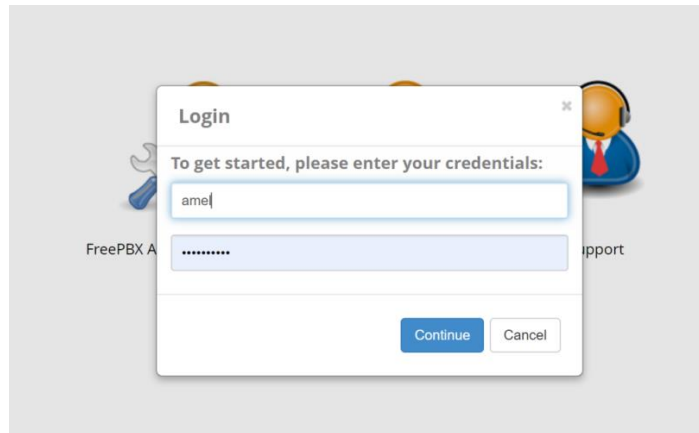


Figure 14 : Identification de FreePBX

- Après avoir connecté avec succès dans FreePBX, la page d'accueil s'affiche comme suit (figure 15).

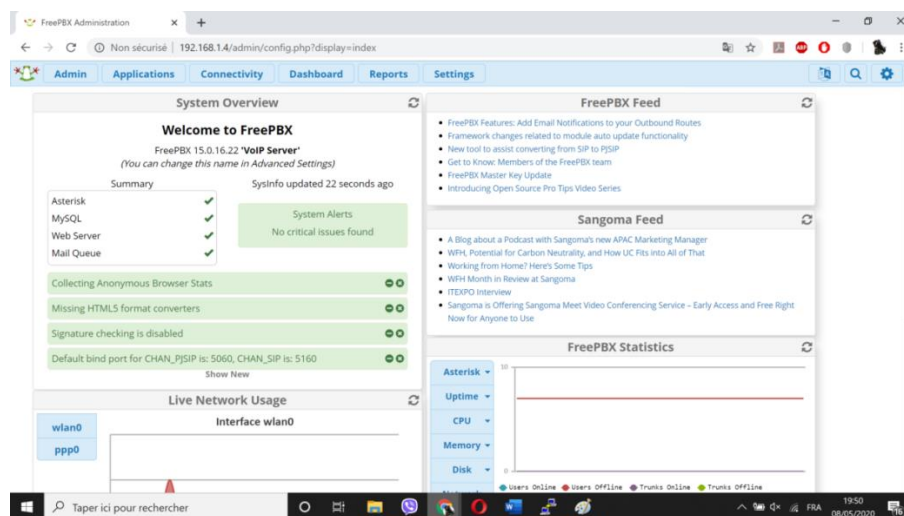


Figure 15 : La page d'accueil de FreePBX

### 3.1. Création des comptes utilisateurs

#### La 1<sup>ère</sup> méthode : sous l'interface de FreePBX

En allant dans l'onglet « Applications » puis « Extensions », nous optons pour l'intégration des deux types d'extensions SIP et IAX2 comme elle montre la figure 16.



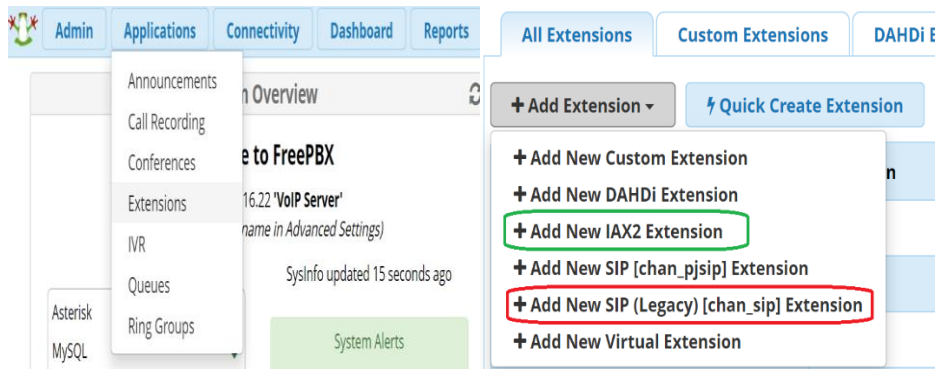


Figure 16 : Ajout d'extensions SIP et IAX2

**Extension SIP :**

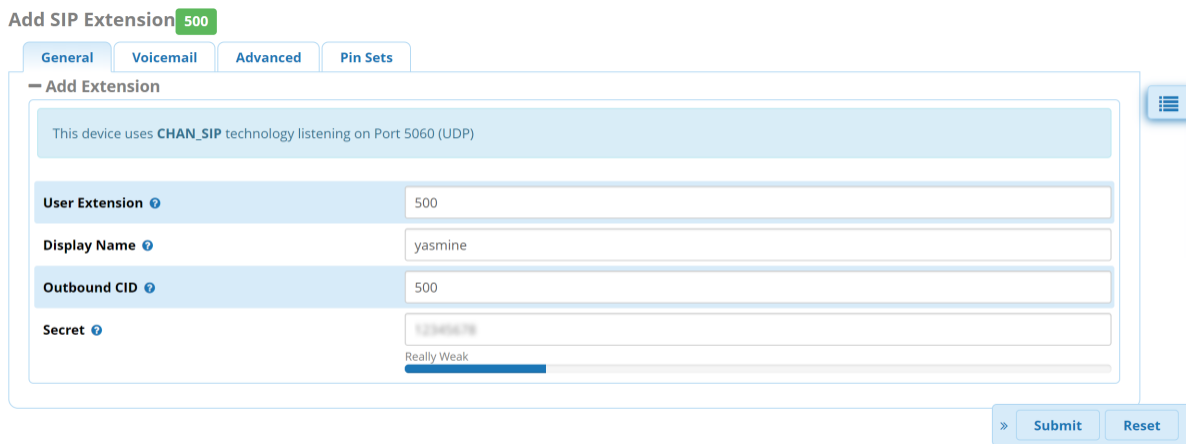


Figure 17 : Création extension SIP

**Extension IAX2 :**



Figure 18 : Création extension IAX2

Remplir les champs des utilisateurs, on explique ce que veut dire chaque ligne lors de la création d'un utilisateur dans le tableau 4.

Paramètres	Signification
User Extension	C'est le nom ou le numéro utilisé pour faire les conversations.
Display Name	C'est le nom de l'extension utilisé pour l'affichage.
Outbound CID	C'est le numéro de l'appelant pour un appel sortant.
Secret	C'est le mot de passe de votre compte.

Tableau 4 : Signification les champs d'utilisateur

- Cliquer **impérativement** sur le bouton **Apply Config** pour enregistrer les modifications (figure 19).

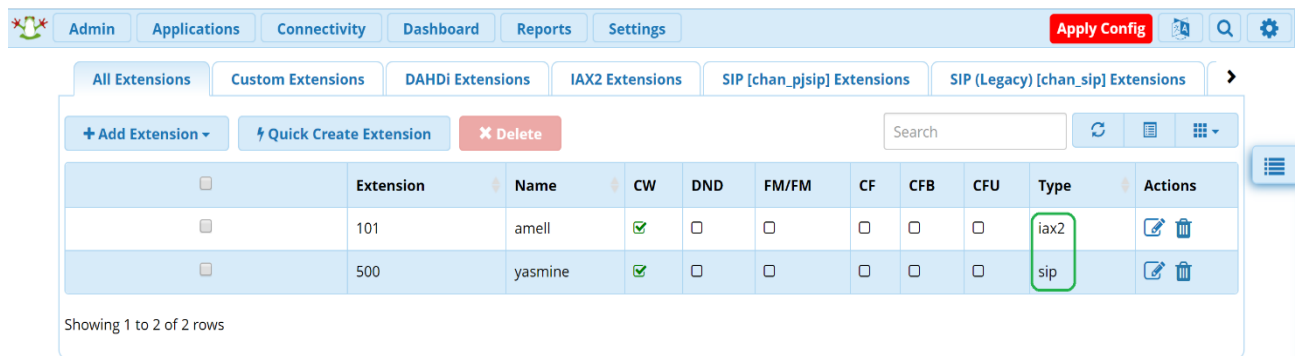


Figure 19 : Affichage toutes les extensions

La 2<sup>ème</sup> méthode : Avec la ligne de commande

- La figure 20 et 21 montre que nous avons ajouté les lignes suivantes dans les fichiers de configuration **sip.conf** et **iax.conf** :

```
[500]
type = friend
secret = 12345678
host = dynamic
context = from-internal
dtmfmode = rfc2833
username = yasmine
allow = all
```

Figure 20 : Fichier sip.conf

```
[101]
type = friend
secret = 12345678
host = dynamic
context = from-internal
username = amell
allow = all
```

Figure 21 : Fichier iax.conf

On explique ce que veut dire chaque ligne lors de la création d'un utilisateur dans le tableau 5.

Paramètres	Signification
[500]	Numéro SIP
type = friend	Type d'objet SIP, friend = utilisateur
host = dynamic	Vous pouvez vous connecter à ce compte SIP à partir de n'importe quelle adresse IP.
dtmfmode = rfc2833	Type de rfc utilisé (sauf dans sip.conf)
allow = all	Activation de tous les codecs
username = yasmine	Nom d'utilisateur
secret = 12345678	Mot de passe du compte SIP
context = from-internal	Le contexte

*Tableau 5 : Signification des paramètres dans sip.conf et iax.conf*

- Une fois les fichiers (**sip.conf** et **iax.conf**) enregistrés, taper dans la console Asterisk les commandes suivantes :
  - core reload
  - sip show users (pour afficher les utilisateurs SIP existants)
  - iax show users (pour afficher les utilisateurs IAX2 existants)

La figure 22 montre l'affichage du deux utilisateurs SIP et IAX2.

```

raspbx*CLI> sip show users
Username      Secret      Accountcode  Def.Context  ACL  Forcerport
500           12345678
raspbx*CLI> iax2 show users
Username      Secret      Authen      Def.Context  A/C  Codec Pref
101          12345678    000000000000002  from-internal  Yes  Host

```

*Figure 22 : Utilisateur SIP et IAX2 existants*

- Ajouter les 3 lignes suivantes dans le fichier **extensions.conf** :

```

[from-internal]
exten => _XXX,1,Dial(SIP/${EXTEN},20)
exten => _XXX,2,Hangup()

```

On explique ce que veut dire chaque ligne lors de la création d'un utilisateur dans le tableau 6.

Paramètres	Signification
exten =>	Déclare l'extension (on peut aussi simplement dire numéro)
_XXX	Prend les extensions de 000 à 999, le « _ » permet d'utiliser des expressions régulières
1	Ordre de l'extension (priorité)
Dial	Application qui va être utilisée
SIP	Protocole qui va être utilisé
\${EXTEN}	Variable de l'extension composée
20	Temps d'attente avant de passer à l'étape suivante

Tableau 6 : Signification des paramètres du Dial plan

**exten => \_XXX,1, Dial(SIP/\${EXTEN},20)**: cette requête se traduit par la composition d'un numéro entre 000 et 999 (500 par exemple) , on appelle le numéro 500 et si au bout de 20 secondes il n'y a aucun répondant , le système exécute la requête suivante **exten => \_XXX,2, Hangup()** qui permet de raccrocher l'appel.

- A l'issue de l'étude comparative entre les deux méthodes, notre choix s'est porté sur la configuration softphone ci-dessous (figure 23) relative à l'interface de FreePBX.

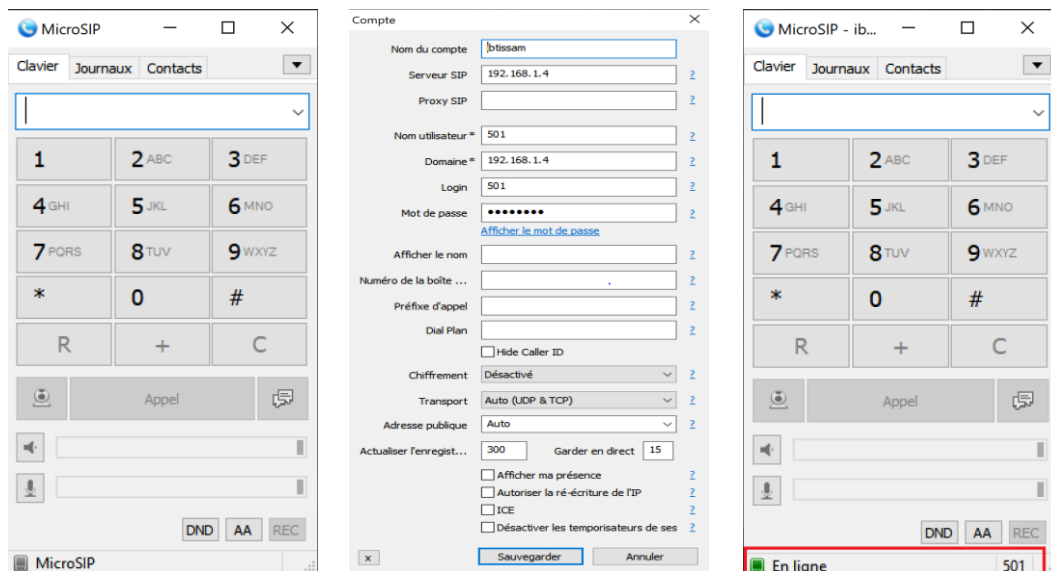


Figure 23 : Configuration d'un softphone

### 3.2. Les alternatives possibles

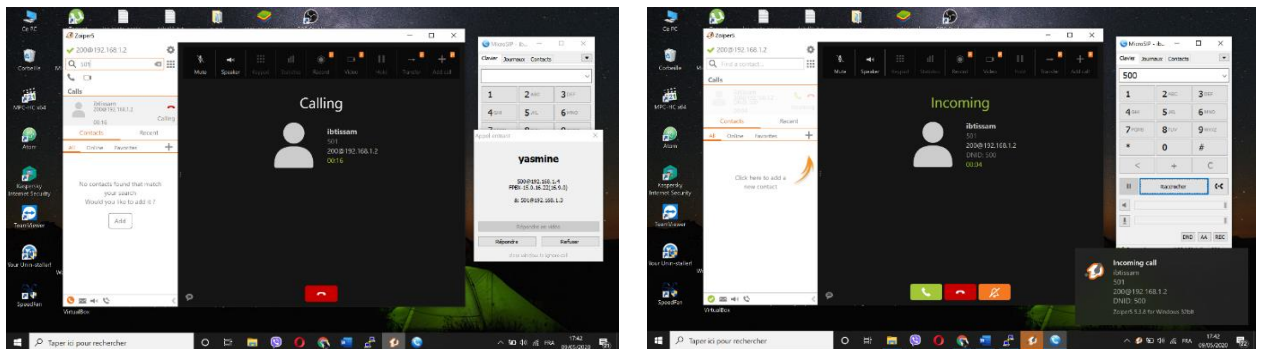
On dispose de quatre alternatives d'appels :

- Entre deux extensions SIP.
- Entre extension SIP et extension IAX2.
- Entre deux extensions IAX2.
- Entre VoIP/GSM

**a. 1<sup>er</sup> cas : entre deux extensions SIP**

On doit disposer de deux numéros d'extension SIP et deux softphones correspondants pour passer l'appelle utilisant les deux extensions déjà créés 500 et 501.

**Test d'appel :**

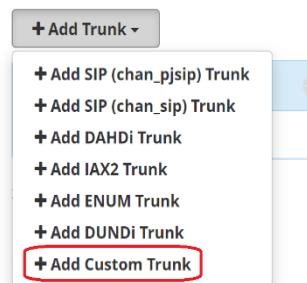


*Figure 24 : Test d'un appel entre deux extensions SIP*

**b. 2<sup>eme</sup> cas : entre extension SIP et extension IAX2**

Pour permettre les communications entre les deux extensions SIP et IAX2, on ajoute un Trunk SIP qui nous permet de passer et de recevoir des appels par internet, à travers les étapes suivantes :

- Cliquer sur l'onglet « Connectivity » puis « Trunks », ensuite créer un Custom Trunk voir figure 25.



*Figure 25 : Ajout d'un Trunk*

- Remplir les deux champs suivants comme elle montre la figure 26.

Figure 26 : Création d'un Trunk

- Créer une route sortante : Les routes sortantes permettant à un softphone de router les appels sortants. Les appels peuvent être routés via différents trunks (passerelles ou Trunks SIP) basés sur un appel individuel ou multiple.
  - Aller dans l'onglet « Connectivity » puis « Outbound Routes ». Attribuer un nom à la route, et choisir un Trunk comme démontré la figure 27.

Figure 27 : Création d'une route sortante

- Saisir les numéros d'appels autorisés en précisant leurs longueurs voir figure 28.

Figure 28 : : La liste des numéros autorisés

- Il existe deux méthodes différentes pour se connecter à notre serveur Asterisk en dehors de notre réseau local :
  - Redirection de port

- VPN
- Ayant opté pour **la redirection de port**, nous devons introduire l'adresse IP de notre modem (généralement 192.168.1.1), via un navigateur Web qui disposerait d'une option permettant le transfert du port IAX vers le serveur d'Asterisk 192.168.1.4, en suivant le cheminement **Advanced > NAT > DMZ** voir figure 29.



Figure 29 : Ajout l'adresse IP du serveur au DMZ

- Ensuite, ajouter un compte Duck DNS comme montre la figure 30.
- Et enfin, créer un répertoire pour l'installation de nos fichiers, et lancer le script principal (voir annexe 5).
- Configurer un softphone qui supporte IAX2 dans ce 2ème cas. (Voir annexe 6).

**Test d'appel :**

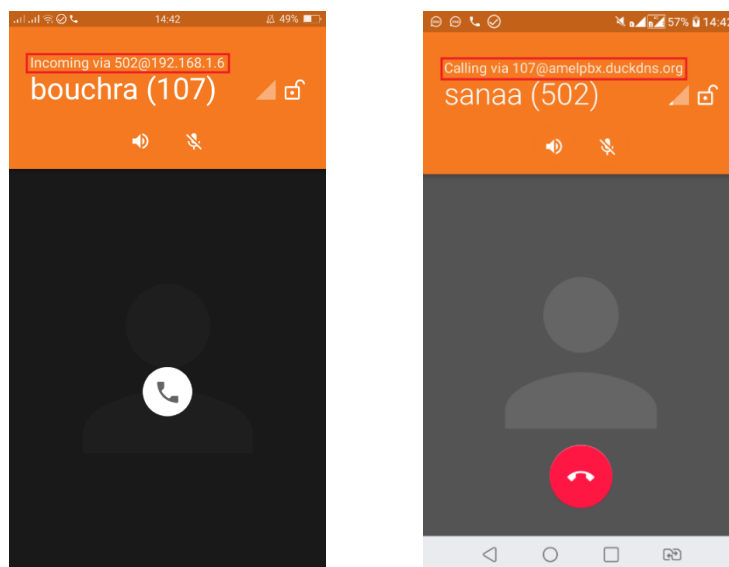


Figure 30 : Test d'un appel entre IAX2 et SIP

### c. 3<sup>ème</sup> cas : entre deux extensions IAX2

- La figure 32 montre que pour concevoir un groupe, en allant dans l'onglet « Connectivity » puis « Ring Groups ».

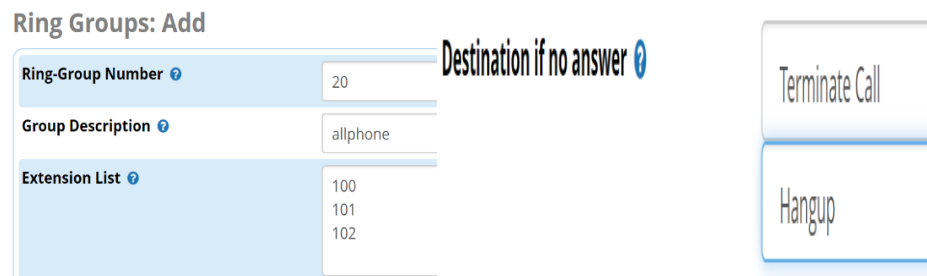


Figure 31 : Configuration Ring group

- Créer enfin une route entrante : Les routes entrantes étant utilisées comme mécanismes pour la réception des appels entrants en provenance des Trunks.
- Se déplacer dans l'onglet « Connectivity » puis « Inbound Routes », et choisir la destination d'un appel entrant, pour mettre un appel entre eux.

### Test d'appel :

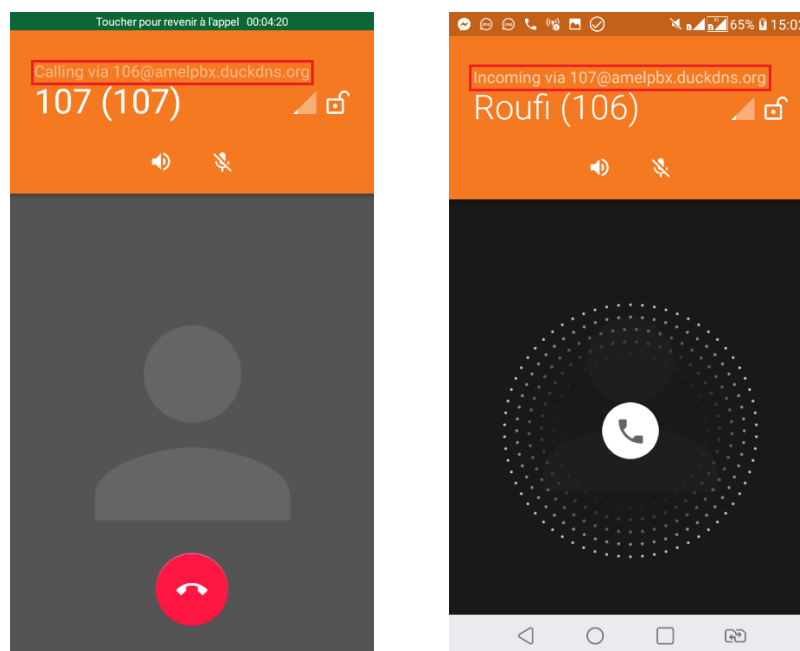


Figure 32 : Test d'un appel entre deux extensions IAX2

### d. 4<sup>ème</sup> cas : entre VoIP/ GSM

Sortant de la zone VoIP seulement et intégrant avec cette dernière la GSM, donc pour avoir un appel VoIP/GSM nous avons besoin d'une clé 3G, un softphone et un téléphone avec carte SIM, pour cela on va suivre les étapes suivantes.



- Se déplacer dans l'onglet « Connectivity » puis « Inbound Routes »
- La figure 34 montre que nous avons choisir une destination, extension qui reçoit l'appel entrant.

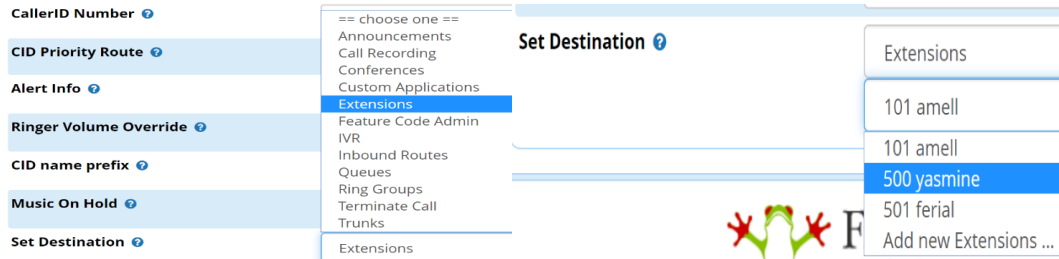


Figure 33 : L'extension qui reçoit l'appel entrant

Pour bénéficier des offres d'appels à moindre coût, nous signalons que nous avons utilisé les trois clés dongle 3G « Ooredoo, Mobilis, Djezzy », chacune ayant ses spécificités. Chaque appel devra passer par la clé correspondante, l'automate suivant montre les différents étapes (voir figure 34).

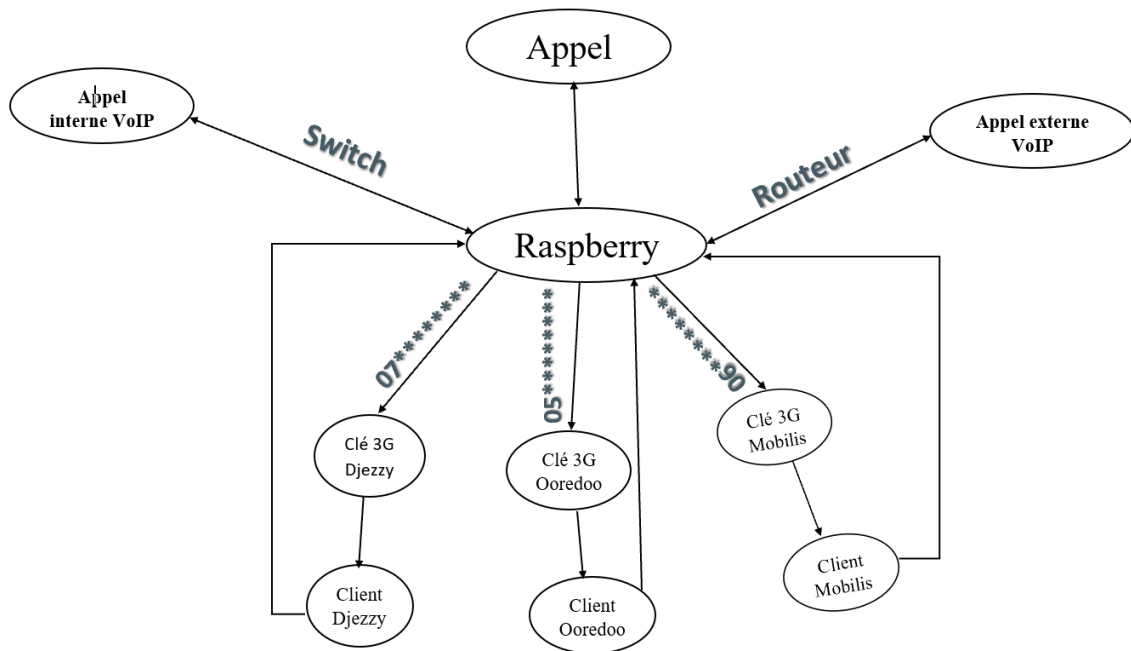
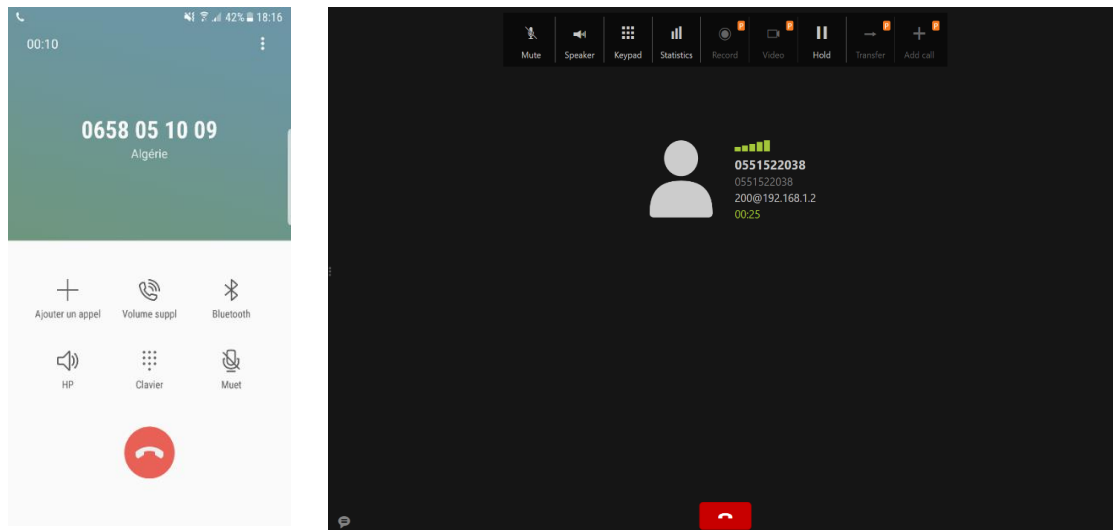
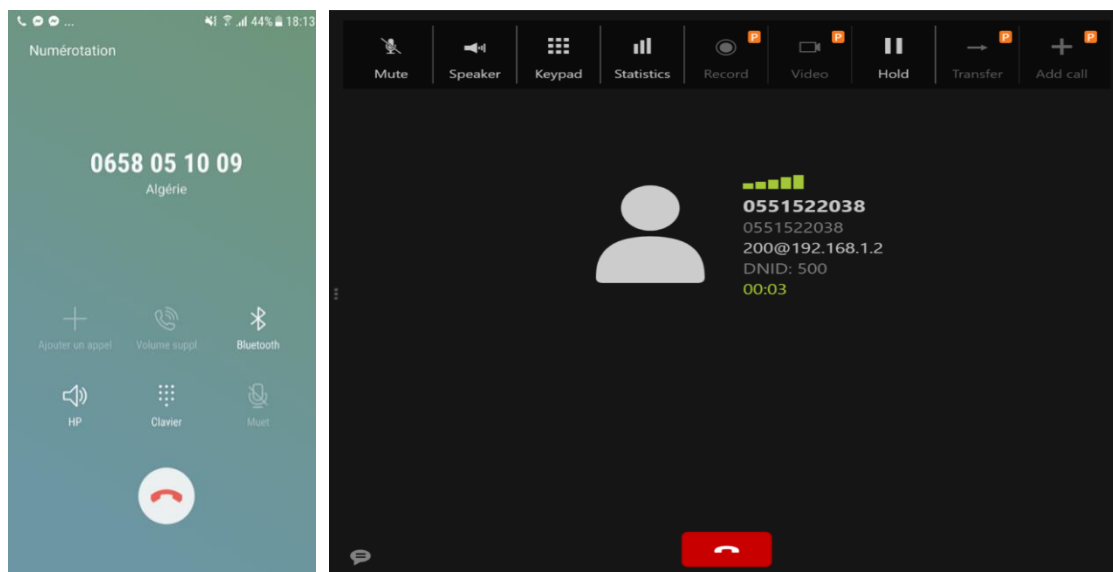
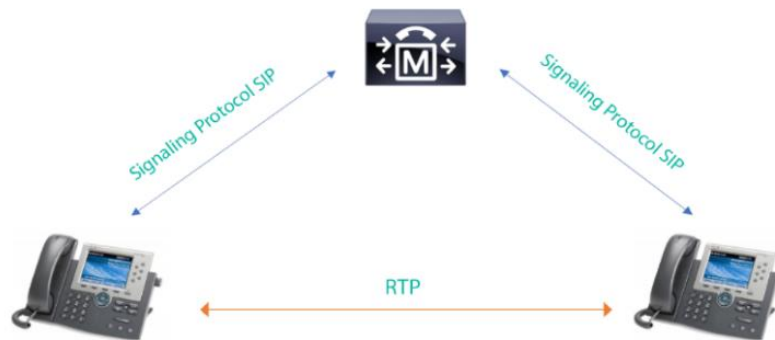


Figure 34 : Automate générale

Cela permettra aussi aux appels émanant de l'étranger et inscrit dans notre solution de bénéficier de la gratuité des communications sans frais comme si les appels provenaient d'Algérie, en passant par l'une des clés correspondantes.

**Test d'appel :***Figure 35 : Test d'appel VoIP à GSM**Figure 36 : Test d'appel GSM à VoIP***4. Analyseur de paquets**

Dans le cadre de notre projet, l'utilisation de Wireshark a pour objectif de capturer, d'analyser les paquets qui circulent dans le réseau VoIP, pour l'obtention des informations spécifiques particulièrement les adresses IP et les pertes de paquets, et de permettre l'écoute d'une communication entre deux clients en décodant les paquets RTP vu qu'ils contiennent les conversations audio (écoute clandestine).

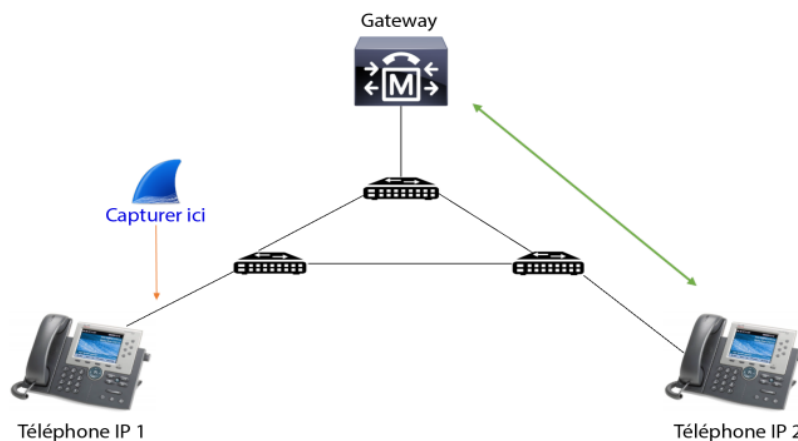
**a. Capture d'appel :**

*Figure 37 : Capturer la VoIP*

On dispose de 3 cas pour capturer la VoIP.

**▪ Le 1<sup>er</sup> cas :**

- En installant le Wireshark dans le réseau du téléphone IP 1, on a capturé la communication entre le téléphone IP 2 et la passerelle (voir figure 38).



*Figure 38 : Capture de la communication entre T-IP 2 et la passerelle*

**▪ Le 2<sup>ème</sup> cas :**

- En installant le Wireshark dans le réseau du téléphone IP 2, on a capturé la communication entre le téléphone IP 1 et la passerelle (voir figure 39).

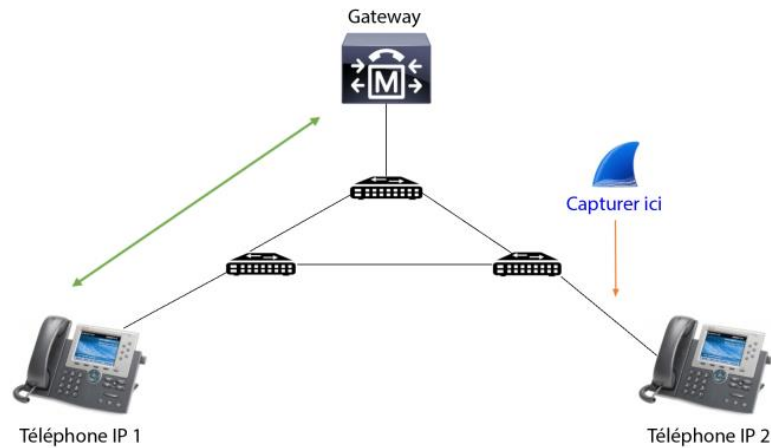


Figure 39 : Capture de la communication entre T-IP 1 et la passerelle

▪ Le 3<sup>ème</sup> cas :

- En installant le Wireshark au niveau de la Gateway (voir figure 40), on a intercepté la communication entre les 2 téléphones IP, opération la plus intéressante pour notre projet. Pour cela on a dû suivre les étapes ci-dessous.

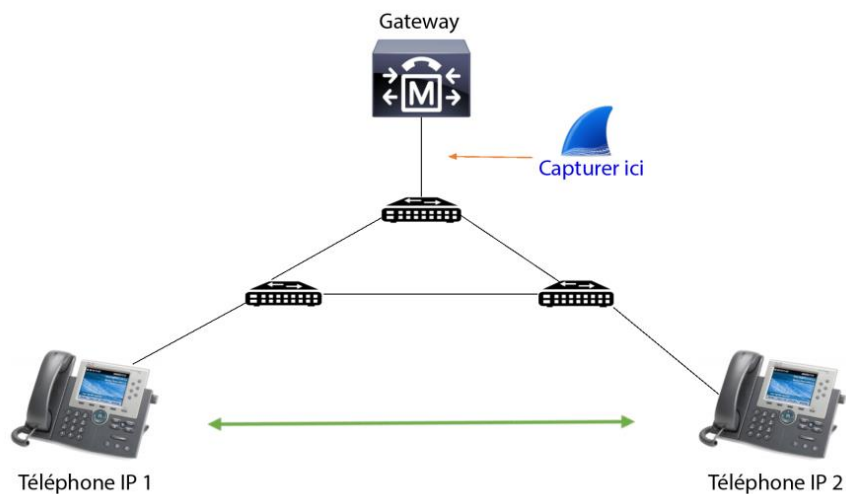


Figure 40 : Capture de la communication entre T-IP 1 et T-IP 2

- Installer le logiciel Wireshark sur une autre machine, nous avons installé sur « Windows » pour une bonne visualisation des captures et des graphes d'analyse du trafic circulant dans notre réseau.
- Lancer la capture des trames.
- Initialiser une connexion entre les deux clients :
  - «500 » ayant comme adresse IP 192.168.1.4.
  - «106 » ayant comme adresse IP 192.168.1.3.

- Utiliser la commande Tcpcap comme outil d'analyse de paquets.
- Lancer la commande ci-dessous dans le terminal, pour la capture et l'enregistrement de paquets.

```
root@raspbx:~# tcpdump -w - -p -n -s 0 udp > /tmp/capture-asterisk.pcap
```

- Les données Wireshark s'affiche dans trois sections :
  - 1) La section supérieure affiche la liste des trames capturées avec un résumé des informations de paquets IP.
  - 2) La section centrale liste les informations correspondant à la trame sélectionnée dans la partie supérieure de l'écran, et sépare une trame capturée par ses couches de protocole.
  - 3) La section du bas affiche les données brutes de chaque couche, sous formes hexadécimale et décimale. [14]

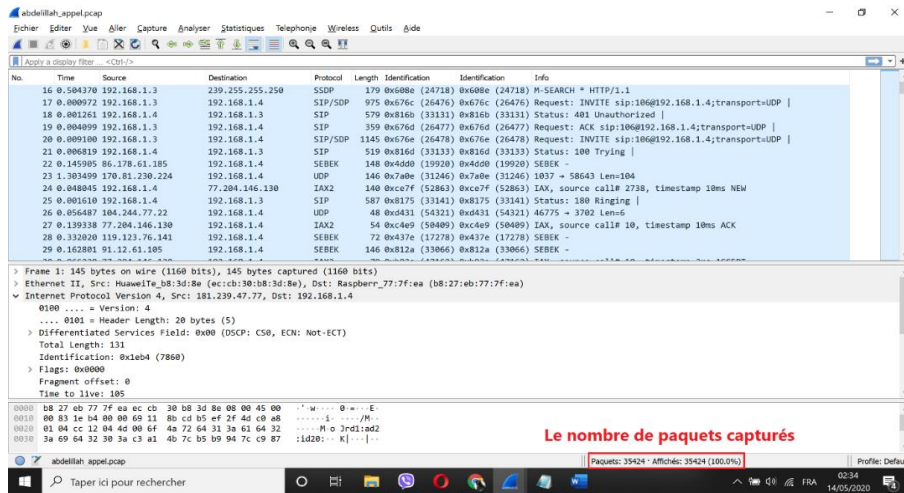


Figure 41 : Résultats Wireshark capture d'une communication téléphonique

**b. Décodage d'appel**

- Après avoir identifié les paquets RTP, nous procédons au décodage d'appel, en allant dans le menu de Wireshark, et en cliquant sur « Téléphonie » => « VoIP Calls », ce qui permet l'ouverture d'une fenêtre contenant les communications dans les deux sens, du client 192.168.1.3 vers 192.168.1.2, et vice versa (voir figure 42).

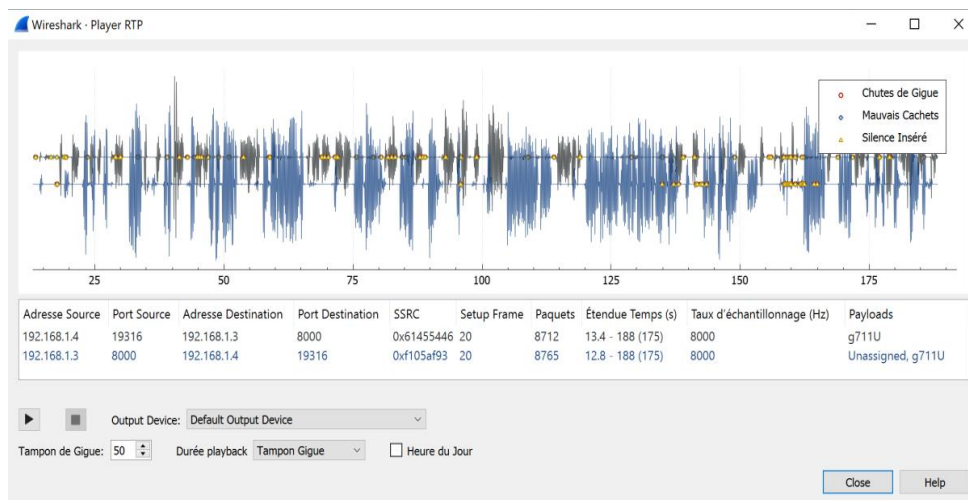
Start Time	Stop Time	Initial Speaker	From	To	Protocole	Duration	Paquets	State	Comments
7.174766	12.808093	192.168.1.3	<sjp:500@192.168.1.4;transport=UDP>	<sjp:106@192.168.1.4>	SIP	00:00:05	9	IN CALL	INVITE 401 200
8.693494	178.784004	192.168.1.4	500	s	IAX2	00:02:50	116	COMPLETED	

*Figure 42 : Communication Téléphonique*

- Cliquer enfin sur le bouton « Jouer Flux », après avoir choisi une des communications détectées, une fenêtre « RTP Player » s'ouvre alors pour le décodage.

### Test :

- Le test sur la communication qui se dirige de l'adresse IP 192.168.1.3 vers l'adresse IP 192.168.1.4 est concluant (figure 43).



*Figure 43 : Communication Téléphonique décodé*

### c. Analyse des pertes de paquets

Pour le dépannage de la VoIP efficace, il faut une surveillance continue des clés suivantes :

- Temps de la latence
- La perte de paquets
- La gigue

- Une visibilité des données
- Un plan de contrôle

Nous procédons à l'analyse de paquets, en allant dans le menu Wireshark, et en suivant cet enchaînement « Téléphonie » => « RTP » => « Flux RTP », une fenêtre s'ouvre contenant l'aller-retour des communications. Cliquer ensuite sur le bouton « Analyse », après avoir sélectionné une des communications détectées comme ci-dessous (voir figure 44).

Adresse Source	Port Source	Adresse Destination	Port Destination	SSRC	Payload	Paquets	Perdu	Delta Max (ms)	Gigue Max	Gigue Moyenne	Etat
192.168.1.4	13354	192.168.1.6	64430	0x5a9d5d14	g711U	13272	0 (0.0%)	95.293	23.747	6.214	
192.168.1.6	64430	192.168.1.4	13354	0xcdfd901	g711U, Unassigned	1311	0 (0.0%)	238.579	29.696	9.531	
192.168.1.6	64430	192.168.1.4	13354	0xa10ab6be	g711U, Unassigned	4356	788 (15.3%)	16923.268	79.109	18.969	*
192.168.1.6	64430	192.168.1.4	13354	0x86080d25	g711U, Unassigned	4252	624 (12.8%)	12854.212	59.568	18.202	*
192.168.1.6	64430	192.168.1.4	13354	0x5ac14069	g711U, Unassigned	1516	406 (21.1%)	9404.454	102.769	11.892	*

5 flux 2 sélectionnés, 17504 paquets au total. Cliquez pour plus d'options.

*Figure 44 : Communication téléphonique*

Une fenêtre s'ouvre contenant tous les informations sur une communication téléphonique entre les deux appelants. Deux cas peuvent se présenter :

- 1<sup>er</sup> cas sans perte de paquets
- 2<sup>eme</sup> cas avec perte de paquets

#### **Appel sans perte de paquets :**

- Aucune perte de paquets dans ce test qui est réalisé avec un réseau de type WAN (voir figure 45).

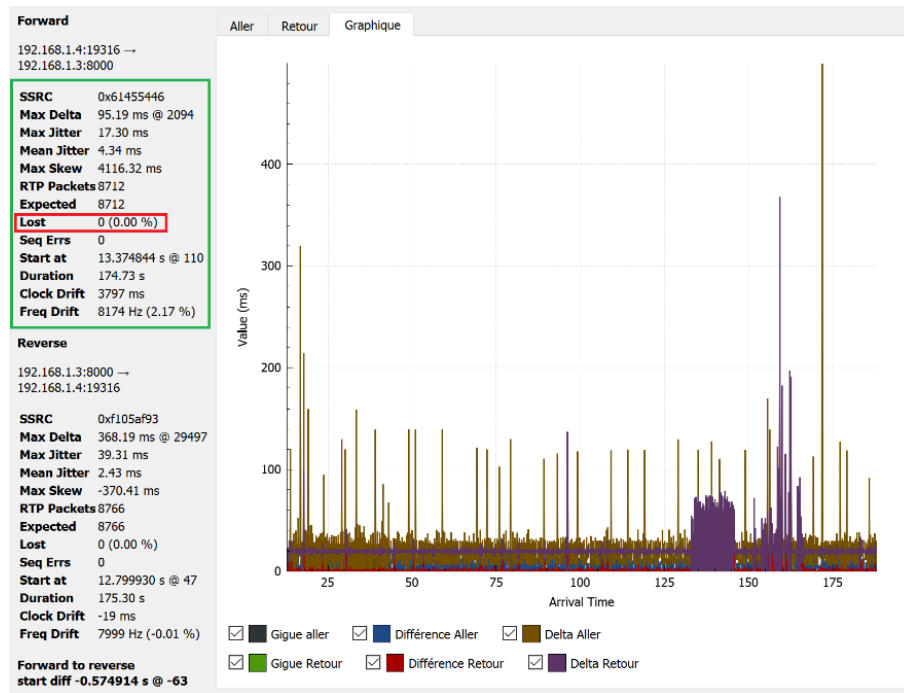


Figure 45 : Graphe sans perte de paquets (WAN)

- On a remarqué aussi, qu'aucune perte de paquets ne peut être détectée sur un réseau de type LAN (voir figure 46).

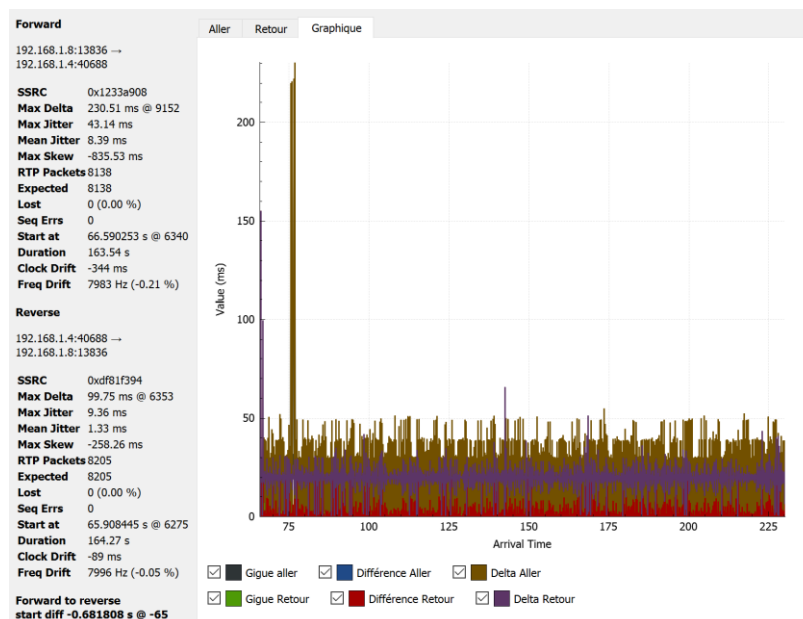


Figure 46 : Graphe sans perte de paquets (LAN)



Appel avec perte de paquets

En éteignant le modem afin de forcer une perte de paquets, on a réussi à détecter 624 paquets perdus, ce qui est équivalent à 12.80%, cela est réalisé avec le type de réseau MAN (voir figure 47).

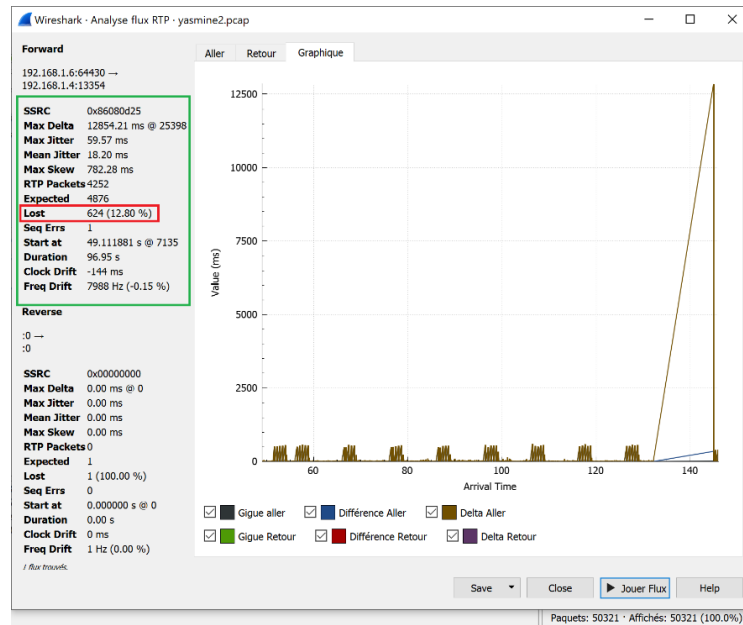


Figure 47 : Graphe avec perte de paquets (MAN)

- Dans la figure 48 ci-dessous, on voit la variance du delta dans le décodage de la communication entre les deux appelants.

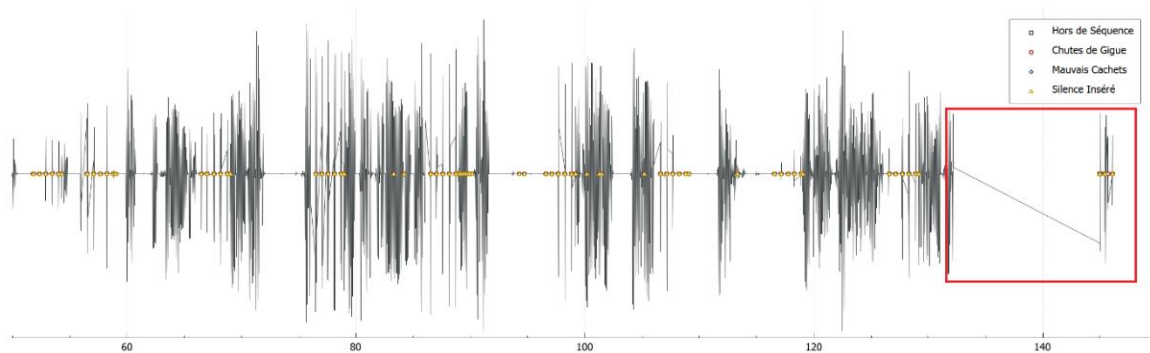


Figure 48 : Dégradation du delta dans le décodage d'appel

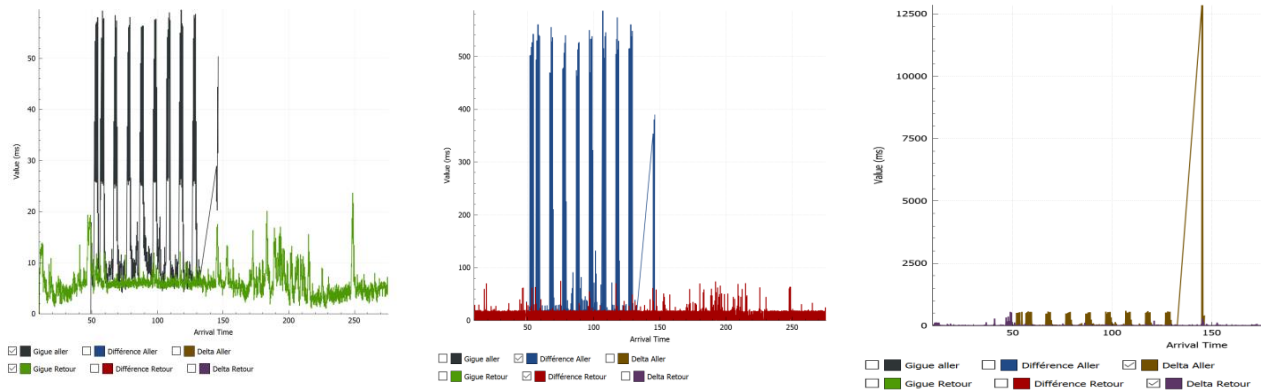


Figure 49 : Graphes des contraintes de transport de la voix

### Résultat (1<sup>er</sup> graphe) :

Sachant que la gigue est la variance statistique du délai de transmission, et qu'elle mesure la variation temporelle entre le moment où des paquets auraient dû arriver et le moment de leur arrivée effective, nous constatons dans ce cas, qu'elle est élevée ce qui dénote une dégradation de la qualité de service se traduisant par une perte de paquets due au dépassement du délai maximum, le cheminement ayant rencontré des déformations de synchronisation (signal inachevé ou retardé) relativement au trafic original.

### Résultat (2<sup>eme</sup> graphe) :

Le graphe nous indique la différence entre la transmission et la réception des paquets, et la relation entre l'arrivée des paquets à l'interface de capture par rapport à l'heure d'arrivée prévue et l'arrivée des paquets à l'interface de capture en fonction de l'horodatage RTP.

### Résultat (3<sup>eme</sup> graphe) :

Ce graphe représente le temps Delta entre la fin d'un paquet et la fin du paquet suivant. Un appel de qualité sans frais peut durer jusqu'à 300 millisecondes aller-retour comme ligne de base. Plus le delta est élevé, plus il est probable que l'appel sonne mal en raison de la connexion entre les deux appelants.

## d. Relation temps/perde de paquets :


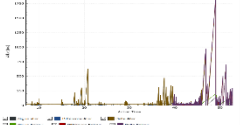

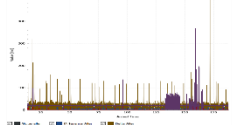

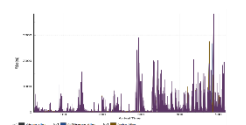

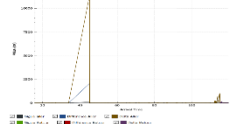
Heure	Débit	Perte de paquets	Graphe
8h – 12h	 Votre vitesse de connexion est de <b>980</b> Kbps	<b>RTP Packets</b> 23693 <b>Expected</b> 23994 <b>Lost</b> 301 (1.25 %)	
12h – 14h	 Votre vitesse de connexion est de <b>1.7</b> Mbps	<b>RTP Packets</b> 8712 <b>Expected</b> 8712 <b>Lost</b> 0 (0.00 %)	
14h – 16h	 Votre vitesse de connexion est de <b>1.2</b> Mbps	<b>RTP Packets</b> 2213 <b>Expected</b> 2214 <b>Lost</b> 1 (0.05 %)	
Après 16h	 Votre vitesse de connexion est de <b>690</b> Kbps	<b>RTP Packets</b> 4733 <b>Expected</b> 5201 <b>Lost</b> 468 (9.00 %)	

Tableau 7 : Relation temps/ perte de paquets

Aujourd'hui, le réseau est le fondement de la performance de l'entreprise. Lorsque le réseau rencontre des problèmes de performances, c'est finalement l'entreprise qui en souffre. Un certain nombre de problèmes opérationnels peuvent affecter les performances du réseau. La perte de paquets est l'un des plus courants.

Nos enquêtes auprès des entreprises de Tlemcen, ont fait ressortir les réalités que l'exploration des pertes de paquets aux différents moments de la journée nous a révélé de bonne capacité (voir tableau 7).

- De 8h à midi, pour un débit moyen de la connexion de 980 Kbps, la perte de paquets est de 1.25% sur 23994 paquets.
- De midi à 14h (pause), pour un débit moyen de la connexion de 1,7 Mbps, la perte de paquets est de 0.00% (nulle) sur 8712 paquets.
- De 14h à 16h, pour un débit moyen de la connexion de 1,2 Mbps, la perte de paquets est de 0.05% sur 2214 paquets.
- Après 16h, pour un débit moyen de la connexion de 690 Kbps, la perte de paquets est de 9.00% sur 5201 paquets, probablement en relation avec le nombre d'utilisateurs élevé mais ceci n'a pas d'intérêt économique puisque la majorité des entreprises sont hors travail.

Nous pouvons considérer au vu de ces résultats que l'objectif assigné à notre recherche, a été atteint puisque la perte de paquets se situe entre 0.00% et 1.25%, pour les plages de travail des entreprises locales, la plage au-delà de 16h n'étant pas prise en compte dans notre projet.

#### **IV. Conclusion**

Tout au long de ce chapitre, nous avons procédé à l'étude de l'ensemble des outils choisis pour la réalisation de notre PFE. On s'est intéressé à mettre en place les principes de base d'un Raspbx (Asterisk et FreePBX), comme nous avons décrit brièvement le processus de réalisation de notre projet à travers l'environnement de développement, l'implémentation des étapes de la réalisation et l'application des différents tests y afférents.

# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale :**

Sachant que les entreprises de par la mondialisation économique et de la terrible concurrence, qui règnent sur les systèmes des échanges, doivent rechercher continuellement à alléger les coûts de leurs produits, particulièrement les frais compressibles comme ceux des communications téléphoniques qui grèvent leurs budgets de fonctionnement.

Aussi avons-nous jugé utile tout d'abord de mener une enquête auprès d'un certain nombre d'entreprises, pour confirmer cette tendance, et se lancer dans une recherche d'une solution de réduction des coûts d'appels, à travers la VoIP sur un réseau WIFI.

Nous avons ainsi procédé à l'exploitation des outils et matériels suivants : PABX, GSM, Dongle USB, Raspberry, Asterisk, FreePBX, Wireshark, RasPBX et des clients (ZoiPer, Téléphone IP et MicroSIP), qui nous ont permis de concrétiser notre objectif, en proposant et en testant la solution adéquate.

Cette expérience, nous a été exquise durant là qu'elle on a pu acquérir des connaissances enrichissantes et intéressantes sans pour autant nier la phase « difficulté » qui n'a pas été des moindres, mais cela ne nous a pas empêchées de donner le meilleur de nous-même et concrétisées nos capacités sans oublier que ce laborieux travail est le fruit de plusieurs années d'apprentissage.

Nous avons eu aussi une chance inouïe de nous familiariser avec le monde informatique de près et nous rapprochées de l'un des piliers les plus important de la recherche scientifique. Les clés de notre réussîtes ont été, l'organisation du travail, le partage et la compréhension.

### **Perspectives :**

Quelques aspects peuvent être développés dans les projets à venir :

- Actions de sécurisation pour une meilleure fiabilité.
- Création d'une application Android ou Desktop pour l'utilisateur.
- Développement d'une application web pour l'administration.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- [1] O. Ben Rahal, M. Sahmoudi et M. Ouezghar, «Mise en Œuvre d'une Solution VOIP,» 2015.
- [2] S. Dominique et D. Danièle , Architecture des réseaux.
- [3] R. Bouzaida, *Étude et Mise en place d'une Solution VOIP sécurisée*, 2011.
- [4] S. Déon, VoIP et ToIP Asterisk: La téléphonie sur IP.
- [5] . M. E. A. ABDELLAOUI et A. BENHAMOU, *Application mobile de la voIP sur un réseau Wifi*, 2014.
- [6] J. Eberspächer, GSM - Architecture, Protocols and Services, 2009.
- [7] K. e. khazen, «Piles de protocoles du système GSM,» 2016. [En ligne]. Available: [http://www.elkhazen.org/internet\\_mobile\\_6.html](http://www.elkhazen.org/internet_mobile_6.html). [Accès le 07 Mars 2020].
- [8] «Présentation du Raspberry Pi,» Lea Linux, [En ligne]. Available: [https://lea-linux.org/documentations/Pr%e9sentation\\_du\\_Raspberry\\_Pi](https://lea-linux.org/documentations/Pr%e9sentation_du_Raspberry_Pi). [Accès le 03 Mars 2020].
- [9] «The differences between Raspberry Pi models,» [En ligne]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#hardware>. [Accès le 04 Mars 2020].
- [10] G. Halfacree, Raspberry Pi Beginner's Guide How to use your new computer, 2018.
- [11] P. Pujades, «RASPBerry INSTALLATION & MISE EN FONCTIONNEMENT,» 2015.
- [12] «OS installer sur un Raspberry Pi,» [En ligne]. Available: <https://www.clubic.com/raspberry-pi/article-850017-1-os-installer-raspberry-pi.html>. [Accès le 13 Mars 2020].
- [13] «Installation et configuration Serveur Téléphonique FreePBX».
- [14] «Cisco Networking Academy,» 2015.
- [15] C. Dupaty, «Raspberry Pi installation-configuration interfaces de communication,» [En ligne]. Available: <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/4346/4346-1-rpi-presentation.pdf>. [Accès le 03 Mars 2020].



# **Annexes**

## Annexe 1 : Création de la carte SD

**Étape 1 :** On a téléchargé la distribution RasPBX du site officiel du projet.

### RasPBX images based on Raspbian 10 Buster:

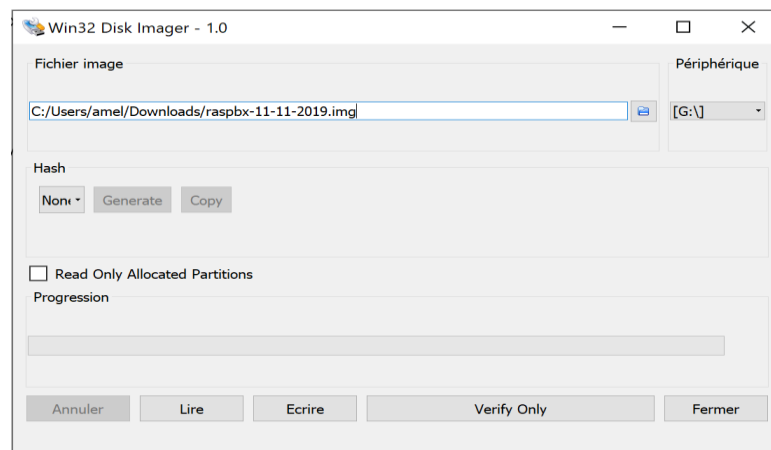
The latest image supports Pi 4, Pi 3 and Pi 2 (Pi 1 and Pi zero no longer supported):

Torrent	<a href="#">raspbx-11-11-2019.zip.torrent</a>
HTTP	<a href="#">raspbx-11-11-2019.zip</a>
SHA-1	3d403f60c9f08fae96de0a7dbc7df6b7834d84df
Contents	Asterisk 16.6.1 & FreePBX 15.0.16.22

An 8GB card or larger is recommended.

**Étape 2 :** L'image téléchargé est une archive compressée (.zip) qui contient le code source, on aura besoin de l'extraire avant la compilation.

**Étape 3 :** Ensuite on a téléchargé l'utilitaire Win32DiskImager, et l'exécuter. Et puis sélectionner le fichier image qu'on a extraite "distributionname.img".



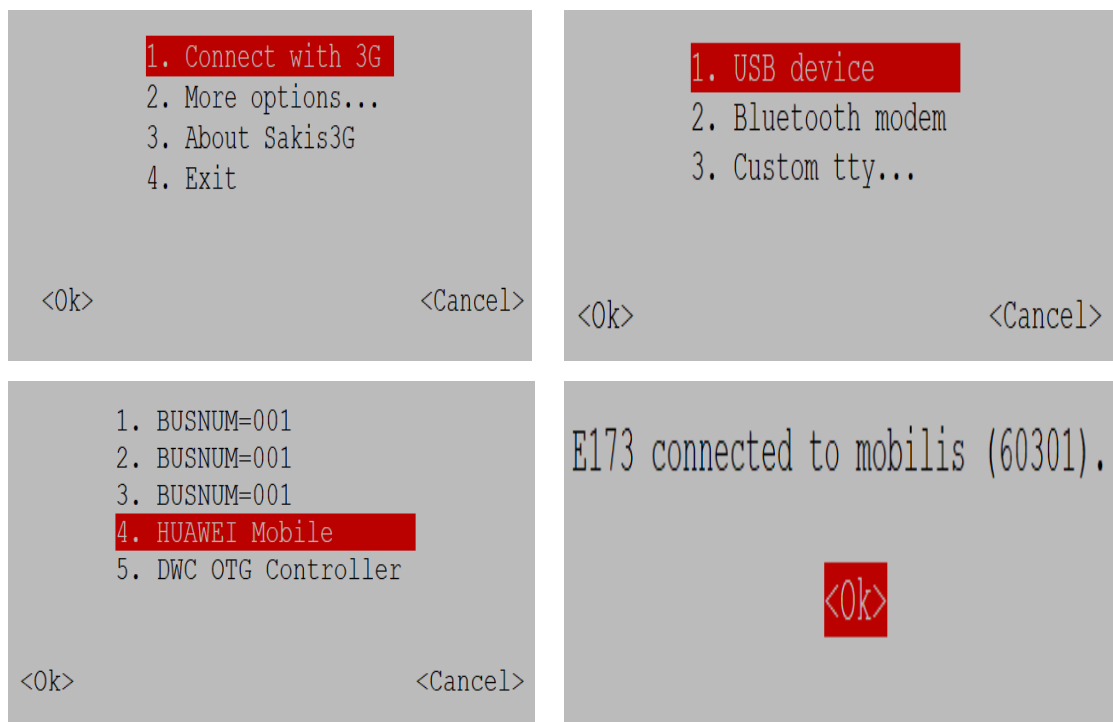
On clique sur le bouton Ecrire et attendre que l'écriture soit terminée.

**Étape 4 :** Après avoir fermer la fenêtre on éjecte la carte SD, ensuite on la branche dans le Raspberry Pi.

## Annexe 2 : Les étapes suivies pour connecter à la clé 3G

Nous avons installé sakis3g, extraire le fichier pour le rendre exécutable et lancer la commande suivante.

```
root@raspbx:~/3GDongle# ./sakis3g --interactive
```



### Annexe 3 : Les fichiers créés dans Asterisk

- **/usr/sbin/** : Contient le fichier binaire d'Asterisk (programme principal).
- **/usr/lib/asterisk/** : Contient les fichiers binaires qu'Asterisk utilise pour fonctionner.
- **/usr/lib/asterisk/modules/** : Contient les modules pour les applications, les codecs, et les drivers.
- **/var/lib/asterisk/sounds/** : Contient les fichiers audios utilisés par Asterisk, par exemple pour les invites de la boîte vocale.
- **/var/run/asterisk.pid** : Fichier contenant le numéro du processus Asterisk en cours.
- **/var/spool/asterisk/outgoing/** : Contient les appels sortants d'Asterisk.
- **/etc/asterisk/** : Contient tous les fichiers de configuration.

### Annexe 4 : Les fichiers de configuration du serveur Asterisk

**asterisk.conf** : Définit certaines variables pour l'utilisation d'Asterisk. Il sert essentiellement à indiquer à Asterisk où chercher certains fichiers et certains programmes exécutables.

**extensions.conf** : Configure le comportement d'Asterisk.

**iax.conf** : Configure les conversations VoIP en utilisant le protocole Inter-Asterisk EXchange (IAX).

**rtp.conf** : Ce fichier de configuration définit les ports à utiliser pour le protocole RTP (Real-Time Protocol). Il faut noter que les numéros listés sont des ports UDP.

**sip.conf** : Il contient les informations relatives aux téléphones sip.

### Annexe 5 : Installation du Duck DNS

On a créé un répertoire dans lequel on place nos fichiers

```
mkdir duckdns  
cd duckdns  
we duck.sh
```

Nous avons copié le texte et on a met dans notre script principal.

Maintenant le fichier duck.sh exécutable.

```
chmod 700 duck.sh
```

Ensuite, nous utiliserons le processus cron pour exécuter le script toutes les 5minutes.

```
crontab -e
```

Nous avons copié le texte et collez-le en bas de la crontab.

```
* / 5 * * * * ~ / duckdns / duck.sh> / dev / null 2>& 1
```

La commande suivante permet de tester le script.

```
./duck.sh
```

Nous pouvons également voir si la dernière tentative a réussi (OK ou mauvais KO).

```
cat duck.log
```

D'abord nous démarrons simplement manuellement le crontab avec la commande suivante :

```
sudo service cron start
```

## Annexe 6 : Configuration d'un softphone supporte IAX2

The image displays three sequential screenshots of the ZoiPer account setup process:

- First Screenshot:** Shows the 'Account setup' header, the ZoiPer logo, and a form with 'Username @ PBX/VoIP provider' (101) and 'Password' fields. Below the form are buttons for 'Create an account' and 'Providers list', and a QR code for login.
- Second Screenshot:** Shows the 'Account setup' header and a form asking to 'Fill in your hostname and select your provider from the list'. The 'hostname or provider' field contains 'amelpbx.duckdns.org' and a 'Next' button is visible.
- Third Screenshot:** Shows the 'Account setup' header and a selection screen titled 'Please choose between the following configurations'. It lists four options: SIP TLS (Not found), SIP TCP (Not found), SIP UDP (Not found), and IAX UDP (Found). A 'Finish' button is at the bottom right.

## Annexe 7 : installation Wireshark

Pour le téléchargement et l'installation du logiciel Wireshark nous avons suivi les étapes suivantes :

### Étape 1 : Téléchargez Wireshark

- Wireshark peut être téléchargé à partir de [www.wireshark.org](http://www.wireshark.org).
- Cliquer sur **Download Wireshark (Télécharger Wireshark)**.
- Sélectionner la version de logiciel en fonction de l'architecture et du système d'exploitation de votre ordinateur.

### Étape 2 : Installez Wireshark

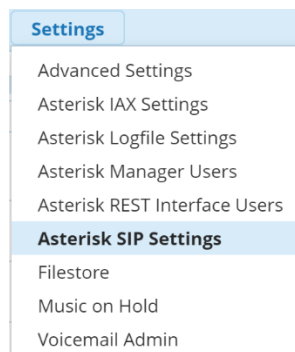
- Le fichier téléchargé est nommé **Wireshark-win64-x.x.x.exe**, où **x** représente le numéro de version. Cliquer sur le fichier pour lancer la procédure d'installation.
- Répondre à tous les messages de sécurité qui s'affichent à l'écran.
- Accéder à l'assistant de configuration de Wireshark, et cliquer sur **Next (Suivant)**.
- Wireshark commence à installer ses fichiers et affiche une fenêtre distincte avec l'état de l'installation. Cliquer sur **Next (Suivant)** une fois l'installation terminée.

## Annexe 8 : Appel Vidéo

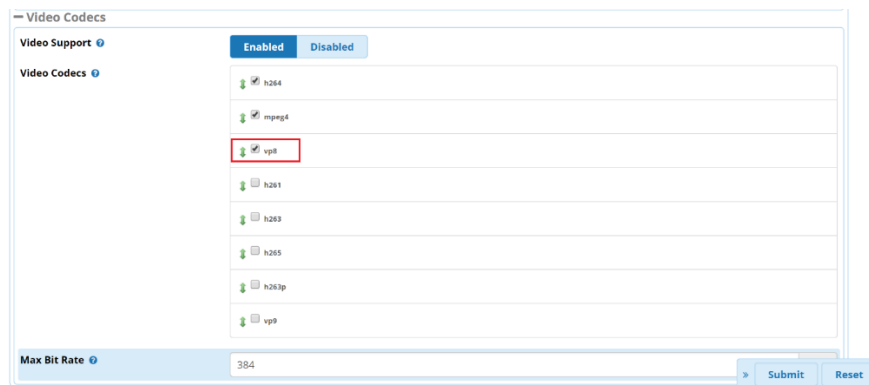
Après l'essai concluant d'un simple appel VoIP, ainsi qu'un appel vidéo IP, nous avons procédées au cheminement suivant :

- Configurer un softphone qui supporte l'appel vidéo.

- Aller dans l'onglet « Settings » puis « Asterisk SIP Settings ».

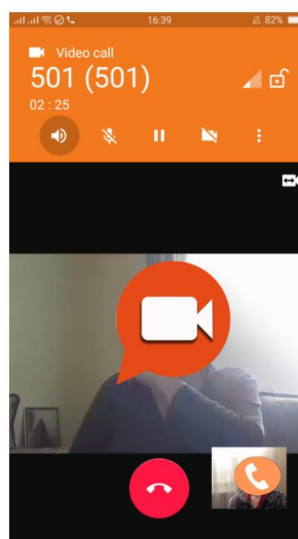


- Cocher la colonne VP8 dans la partie de la vidéo Codecs, étant nécessaire pour notre configuration.



- Faire une modification dans l'application softphone, en allant dans les paramètres du codec vidéo, et en y couchant aussi VP8.

### Test d'appel vidéo IP :



## Résumé

La VoIP est une technologie qui s'impose progressivement dans tous les domaines. De plus, tout le monde utilise la GSM, donc nous avons profité de l'occasion pour combiner La VoIP et la GSM pour avoir une technologie qui permet la communication entre les employés d'une entreprise, et elle leur permet de communiquer aussi avec les abonnés du réseau cellulaire via un dongle 3G attaché au Raspberry Pi. La mise en œuvre de ce service repose principalement sur un système Raspbx avec un logiciel appelé Asterisk qui utilise le protocole SIP, un softphone ZoiPer et des téléphones IP. L'objectif principal du projet est d'offrir aux entreprises des services adaptés à moindre coût.

**Mots-clés:** VoIP, SIP, RTP, GSM, Raspbx, Asterisk, Raspberry PI, Dongle 3G.

## Abstract

VoIP is a technology that is gradually gaining ground in all areas. In addition, everyone uses GSM, so we took the opportunity to combine VoIP and GSM to have a technology that allows communication between employees of a company, and it also allows them to communicate with cellular network subscribers via a 3G dongle attached to the Raspberry Pi. The implementation of this service is mainly based on a Raspbx system with a software called Asterisk which uses the SIP protocol, a ZoiPer softphone and IP phones. The main objective of the project is to offer businesses adapted services at a lower cost.

**Keywords:** VoIP, SIP, RTP, GSM, Raspbx, Asterisk, Raspberry PI, 3G dongle.

## ملخص

لقد اكتسبت تقنية الاتصال عبر الأنترنت VOIP مكانتها تدريجيا في جميع المجالات. كما أن استخدام الهاتف الخليوي GSM غزا عامة كل الأوساط في العالم. الأمر الذي دفع بنا إلى استغلال هذه الفرصة لدمج تقنيتي VoIP و GSM للحصول على تقنية تسمح بالتواصل بين موظفي الشركة، كما تسمح لهم بالتواصل مع مشتركو الشبكة الخلوية عبر دونجل 3G متصل بـ Raspberry Pi. يعتمد تنفيذ هذه الخدمة بشكل أساسي على نظام Raspbx مع برنامج يسمى Asterisk والذي يستخدم بروتوكول SIP و هواتف ZoiPer و هواتف IP و هواتف IP. الهدف الرئيسي من المشروع هو تقديم خدمات ملائمة وغير مكلفة في مجال الاتصالات.

**الكلمات المفتاحية:** الصوت عبر بروتوكول الإنترنت (VoIP)، شبكة الجوال (GSM)، SIP، Raspbx، RTP، Asterisk، Raspberry Pi، Dongle 3G.