

SAE 501

CONCEVOIR, RÉALISER ET
PRÉSENTER UNE SOLUTION
TECHNIQUE

RAPPORT DE PROJET

sous la supervision de
M. LABIOD

PROJET RÉALISÉ PAR :

Hugo MATHIEU
Léa MULENDA
Vladimir DYENS
Baptiste ARBIOL
Lucas PREDINE
Princy BOANALIDY

SAÉ5.01 Concevoir, réaliser et présenter une solution technique

Hugo MATHIEU, Léa MULENDA, Vladimir DYENS, Baptiste ARBIOL,
Lucas PREDINE, Princy BOANALIDY

Le check:

Le rapport doit suivre le modèle ci-dessous dans cet ordre :

- Page de garde.
- Sommaire
- Glossaire
- Liste des tables
- Liste des figures avec le même format que ci-dessus
- Une fiche d'une page décrivant le cahier des charges que vous avez défini durant votre SAE
- Chap1 : Introduction (votre numérotation commencera ici)
- Chap2 : Présentation étendue du cahier des charges mis en place ainsi qu'un argumentaire sur son adéquation avec ce qui vous a été demandé. Présentation de votre organisation durant le projet
- Chap3 : Présentation des outils et du matériel utilisés durant votre travail.
- Chap4 : Présentation de votre système ainsi qu'un argumentaire sur le choix de chacun des conteneurs adoptés.
- Chap5 : Présentation de la partie expérimentale et des résultats obtenus
- Chap6 : Une conclusion + un retour d'expérience et les principaux enseignements que vous avez pu tirer de cette SAE.
- Annexe : Bibliographie.

SOMMAIRE

Contexte et objectifs du projet.....	5
Présentation d'Open5GS et srsRAN.....	5
Prérequis Techniques.....	6
Configuration matérielle requise.....	6
Configuration logicielle requise.....	6
Analyse et Résolution des Problèmes.....	7
Diagnostic des problèmes de puissance du poste.....	7
Solutions et ajustements apportés.....	7

GLOSSAIRE

USIM (Universal **S**ubscriber **I**ntity **M**odule) : Périphérique universel de radio logicielle): Carte SIM universelle utilisée dans les réseaux mobiles.

USRP (Universal **S**oftware **R**adio **P**eripheral) : Matériel de radio logicielle utilisé pour la recherche et le développement en télécommunications

srsRAN : Logiciel open-source pour les stations de base 4G et 5G

Open5gs : Suite logicielle open-source pour les réseaux 5G

SBA (Service-**B**ased **A**rchitecture) : Architecture de réseau utilisée dans les réseaux 5G.

IMSI (International **M**obile **S**ubscriber **I**ntity) : Identité internationale de l'abonné mobile de la carte SIM. Elle est unique et sert à authentifier l'abonné auprès du réseau.

MCC/MNC (**M**obile **C**ountry **C**ode / **M**obile **N**etwork **C**ode): Code du pays / Code du réseau mobile de la carte SIM.

Ki (**K**ey **I**dentification) : Clé secrète qui est utilisée pour chiffrer et déchiffrer les données entre la carte SIM et le réseau.

OPc : Clé secrète utilisée pour sélectionner l'algorithme de chiffage utilisé pour chiffrer et décrypter les données entre la carte SIM et le réseau.

IMEI : Identifiant unique du téléphone

Liste des tables provisoire:
Liste des figures provisoire:

Description du cahier des charges

Ce projet vise à approfondir la compréhension et l'application pratique des technologies de communication mobiles, en se concentrant spécifiquement sur la mise en place d'un réseau LTE à l'aide des outils Open5GS et srsRAN. L'objectif est de construire un réseau LTE fonctionnel, permettant d'explorer les différentes composantes et configurations nécessaires pour une communication mobile efficace.

À l'issue de ce projet, un réseau LTE doit être mis en place en utilisant Open 5GS avec des équipements spécifiques et différents logiciels doivent être paramétrés. La vérification du bon fonctionnement de la communication entre le téléphone et le réseau LTE est également nécessaire.

Le projet doit être réalisé en 40 heures avec une équipe constituée de 6 personnes. Une bonne gestion de projet sera très importante pour réussir ce projet. Pour ce projet, la méthode agile SCRUM a été adoptée, ce qui permet de s'adapter rapidement à la demande du client et aux différents problèmes rencontrés.

INTRODUCTION

Ce rapport présente un projet technique ambitieux visant à concevoir, réaliser et présenter une solution technique pour la mise en place d'un réseau LTE et/ou 5G avec des USRP. Ce projet s'inscrit dans le cadre du module SAE5.01 de notre formation, qui vise à développer nos compétences en matière de conception, de réalisation et de présentation de solutions techniques intégrant diverses technologies de réseaux, de télécommunications et d'informatiques.

Le réseau LTE est une technologie de pointe qui offre des vitesses de connexion plus rapides et une capacité accrue par rapport aux générations précédentes de réseaux mobiles. L'utilisation de l'USRP (Universal Software Radio Peripheral) permet une flexibilité et une adaptabilité accrues dans la mise en œuvre de ces réseaux.

Dans ce projet, nous avons utilisé une approche de gestion de projet Agile qui favorise la flexibilité, l'adaptabilité et la collaboration continue.

Ce rapport détaille les différentes étapes de la mise en œuvre du projet, y compris la préparation matérielle, l'installation des logiciels, la configuration et l'exécution du réseau, ainsi que la validation et la vérification du réseau.

PRÉSENTATION ÉTENDUE DU CAHIER DES CHARGES

1. Contexte du projet

Dans un contexte académique, ce projet vise à approfondir la compréhension et l'application pratique des technologies de communication mobiles, en se concentrant spécifiquement sur la mise en place d'un réseau LTE (Long Term Evolution) à l'aide des outils Open5GS et srsRAN. L'objectif principal est de construire un réseau LTE fonctionnel, permettant d'explorer les différentes composantes et configurations nécessaires pour une communication mobile efficace. Ce projet sert non seulement à acquérir des compétences techniques avancées mais aussi à comprendre les défis réels associés à l'implémentation et à la gestion des réseaux mobiles modernes.

2. Définition du besoin

Ce réseau doit fournir une couverture réseau étendue, prendre en charge un grand nombre d'utilisateurs simultanément, assurer une qualité de service adéquate pour les appels, les données et la vidéo et s'intégrer avec d'autres réseaux existants.

3. Résultats attendus.

À l'issue de ce projet, nous devons mettre en place un réseau LTE en utilisant Open 5GS avec comme équipements un PC avec un processeur dual-core i5 ou quad-core i7 et USB 3.0, un USRP B200/B210 avec une antenne GPS, une carte SIM programmable (sysmoUSIM-SJS1). Nous devons aussi paramétrer les différents logiciels:

- Installation du pilote matériel UHD pour le USRP,
- Téléchargement, compilation et l'installation de srsRAN et d'Open5GS,
- Installation de MongoDB pour Open5GS,
- Et l'installation de l'interface Web d'Open5GS.

Enfin, nous devons vérifier le bon fonctionnement de la communication entre le téléphone et le réseau LTE.

4. Contraintes du projet.

Nous disposons de 40h pour réaliser ce projet et notre équipe est composée de 6 personnes: Hugo Mathieu, Léa Mulenda, Vladimir Dyens, Baptiste Arbiol, Lucas Predine et Princy Boanalidy: établir une bonne gestion de projet sera très important afin de réussir ce projet.

5. Ressources nécessaires.

Matériel:

- USRP B210
- Antennes

- Carte SIM programmable

Logiciels:

- srsRAN
- Open5GS
- UHD (USRP Hardware Driver)
- MongoDB

Personnel:

- Équipe de 6 personnes

6. Gestion de projet

Pour ce projet nous avons adopté la méthode agile SCRUM qui nous permet de nous adapter rapidement à la demande du client et aux différents problèmes rencontrés. Notre équipe est composée d'un scrum master (Hugo MATHIEU): il est responsable de l'équipe, il facilite les interactions entre les différents membres de l'équipe et de l'équipe de développement (Léa MULENDA, Baptiste ARBIOL, Princy BOANALIDY, Vladimir DYENS, Lucas PREDINE) responsable de l'organisation et de la réalisation du projet.

PRÉSENTATION DES OUTILS ET DU MATÉRIEL UTILISÉS

Outils:

Ajouter Image / logo OPEN5GS

Open5GS est une implémentation en langage C des fonctions cœurs du réseau 5G et EPC (Evolved Packet Core), destinée aux réseaux NR/LTE de nouvelle génération (Release-17). En tant que framework ouvert, Open5GS permet aux chercheurs et aux ingénieurs de déployer et de tester des réseaux 5G et LTE, offrant ainsi une plateforme robuste pour l'innovation et l'éducation dans le domaine des télécommunications.

Ajouter Image / logo / lien SRSRAN

srsRAN est un logiciel open-source qui fournit un ensemble complet d'outils pour faciliter la mise en place et le test de réseaux LTE et 5G. Il inclut srsUE, srsENB et srsEPC, permettant respectivement de simuler un équipement utilisateur, un nœud B évolué et un cœur de réseau évolué. srsRAN est reconnu pour sa flexibilité et sa performance, ce qui en fait un choix privilégié pour les projets de recherche et les applications pédagogiques en télécommunications.

Ce projet intègre ces deux outils puissants pour établir une infrastructure de réseau LTE, en mettant en œuvre des composants clés tels que l'eNodeB (station de base) et l'EPC (cœur de réseau), tout en intégrant une carte SIM programmable et un dispositif radio USRP pour la communication réelle.

Matériel:

Pour ce projet, l'infrastructure matérielle nécessaire se compose de :

- Un **ordinateur portable** de moyenne performance est utilisé comme hôte pour VirtualBox 7, assurant la gestion des tâches associées à la virtualisation et à l'exécution des logiciels nécessaires au réseau LTE.
- **VirtualBox 7** : Un outil de virtualisation qui crée un environnement isolé (machine virtuelle) sur Ubuntu 20.04, permettant une gestion flexible et contrôlée des ressources logicielles.
- **USRP B210** : Ce dispositif radio est utilisé pour établir la liaison sans fil dans le réseau LTE, connecté via USB 3.0 obligatoirement.

- **Lecteur de Carte SIM et Carte SIM Programmable** : Un lecteur de carte SIM externe est utilisé pour l'interaction et la programmation de la carte SIM, qui joue un rôle clé dans l'authentification et la communication au sein du réseau.

Configuration logicielle:

La configuration logicielle est centrée sur une machine virtuelle sous Ubuntu 20.04, choisie spécifiquement pour sa compatibilité avec MongoDB version 3. Cette version de MongoDB est sélectionnée en raison des restrictions de VirtualBox, qui ne supporte pas les instructions AVX nécessaires aux versions plus récentes de MongoDB. Cette limitation est due à des contraintes d'émulation matérielle, empêchant l'utilisation des instructions AVX dans la VM.

Les logiciels essentiels pour le déploiement du réseau comprennent Open5GS pour le core réseau et srsRAN pour les éléments réseau et la station de base. Ces applications doivent être adaptées à l'environnement Ubuntu 20.04 et configurées pour fonctionner avec l'équipement matériel en place. En outre, toutes les dépendances requises, y compris les pilotes USRP et les bibliothèques de développement, doivent être installées et configurées correctement sur la machine virtuelle.

Cette configuration matérielle et logicielle crée un cadre solide pour l'installation et la mise en œuvre d'un réseau LTE expérimental, facilitant ainsi l'apprentissage pratique et l'exploration des technologies de télécommunication.

Présentation du système

Lecteur de carte SIM

En premier lieu, nous nous sommes intéressés à l'USIM. Il contenait des informations primordiales pour notre projet.

UTHAI



En effet, grâce au lecteur de carte SIM que Hugo a financé, nous avons réussi à connaître l'**IMSI**. Son code correspond au **999700000087095**.

Dans l'IMSI, deux données nous intéressent :

- le **MCC** (précisant le pays d'origine) est le **999** ;
- et le **MNC** (précisant l'opérateur) est ici le **70**.

```
[enb]
enb_id = 0x19B
mcc = 999
mnc = 70
mme_addr = 127.0.1.2
gtp_bind_addr = 127.0.1.1
s1c_bind_addr = 127.0.1.1
s1c_bind_port = 0
n_prb = 50
#tm = 4
```

USRP B210

Tout d'abord, nous avons branché de petites antennes aux ports **Rx/Tx** de l'USRP avant de connecter l'appareil à l'ordinateur via USB 3.0. Le PC choisit est en réalité une VM avec pour système d'exploitation Ubuntu 20 qui est la seule version avec laquelle le système fonctionne.

Nom de la VM: Ubuntu OAI

Identifiant : vitrygtr

Mot de passe: vitrygtr24

Ensuite, nous avons installé UHD (USRP Hardware Driver), le logiciel associé à notre USRP en téléchargeant simplement les paquets affiliés : *ppa:ettusresearch/uhd* et *libuhd-dev uhd-host*. Il a aussi fallu installer les paquets d'images FPGA pour mettre à jour le firmware du FPGA images afin d'ajouter de nouvelles fonctionnalités, d'améliorer les performances ou de corriger des bugs à la partie du logiciel qui gèrent les opérations.



srsRAN

Pour installer ce logiciel qui va nous permettre de traiter, gérer et coordonner les fonctions radio de notre maquette, il a fallu charger les bibliothèques nécessaires.

```
$ sudo apt install cmake libfftw3-dev libmbedtls-dev libboost-program-options-dev  
libconfig++-dev libsctp-dev
```

Ensuite, nous avons construit à partir de la source le srsLTE :

```

$ git clone https://github.com/srsRAN/srsRAN.git
$ cd srsRAN
$ git checkout release_22_10
$ git rev-parse HEAD
254cc719a9a31f64ce0262f4ca6ab72b1803477d
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ../
$ make
$ make test

```

Open5GS

Il a fallu télécharger le logiciel **MongoDB v.3**, Open5GS et son interface Web sur Ubuntu.
Voici comment nous avons procédé :

Tout d'abord, nous avons configuré les informations sur les abonnés dans l'interface Web d'Open5GS.

Ensuite, nous avons modifié le fichier **mme.yaml** pour définir l'adresse IP S1AP, l'ID PLMN et le TAC.

```

(
{
  // rf_port = 0;
  cell_id = 0x01;
  tac = 0x0005;
  pci = 1;
  // root_seq_idx = 204;
  dl_earfcn = 1600;
  //ul_earfcn = 21400;
  ho_active = false;
  //meas_gap_period = 0; // 0 (inactive), 40 or 80
  //meas_gap_offset_subframe = [6, 12, 18, 24, 30];
  // target_pusch_snr = -1;
  // target_pucch_snr = -1;
  // enable_phr_handling = false;
  // min_phr_thres = 0;
  // allowed_meas_bw = 6;
  // t304 = 2000; // in msec. possible values: 50, 100, 150, 200, 500, 1000, >

```

Le MCC et le MNC ne sont pas les seules informations que le lecteur de carte à donner sur l'USIM :

> **Ki** : 82E9053A1882085FF2C020359938DAE9

Ki signifie **Key Identification**. Il correspond à l'identifiant de clé de la carte SIM: c'est une clé secrète qui est utilisée pour chiffrer et déchiffrer les données entre la carte SIM et le réseau.

> **OPC** : BFD5771AAAF4F6728E9BC6EF2C2533BDB

Il s'agit de la clé de chiffrement préférée de l'opérateur de la carte SIM. L'**OPC** est une clé secrète qui est utilisée pour sélectionner l'algorithme de chiffrement qui est utilisé pour chiffrer et décrypter les données entre la carte SIM et le réseau.

Ces données sont indispensables pour la suite de notre projet sur Open5GS.

Open5GS possède une interface Web qu'il nous a fallu installer sur dans la VM :

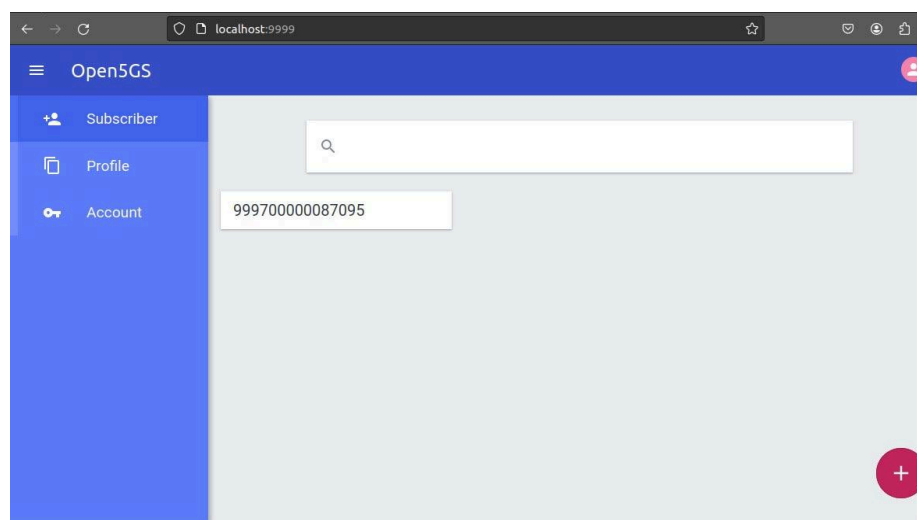
```
$ sudo apt update
$ sudo apt install -y ca-certificates curl gnupg
$ sudo mkdir -p /etc/apt/keyrings
$ curl -fsSL https://deb.nodesource.com/gpgkey/nodesource-repo.gpg.key | sudo gpg --
dearmor -o /etc/apt/keyrings/nodesource.gpg
$ NODE_MAJOR=20
$ echo "deb [signed-by=/etc/apt/keyrings/nodesource.gpg]
https://deb.nodesource.com/node_$NODE_MAJOR.x nodistro main" | sudo tee
/etc/apt/sources.list.d/nodesource.list
$ sudo apt update
$ sudo apt install nodejs -y
$ curl -fsSL https://open5gs.org/open5gs/assets/webui/install | sudo -E bash -
```

Avec l'URL "<http://localhost:9999>", nous sommes arrivés sur l'UI Web et avons dû nous connecter avec le compte **d'administration**.

Sur l'interface Web UI, dans l'onglet "**Subscriber**", nous avons cliqué sur **le bouton "+"** pour nous ajouter en tant que nouvel abonné.

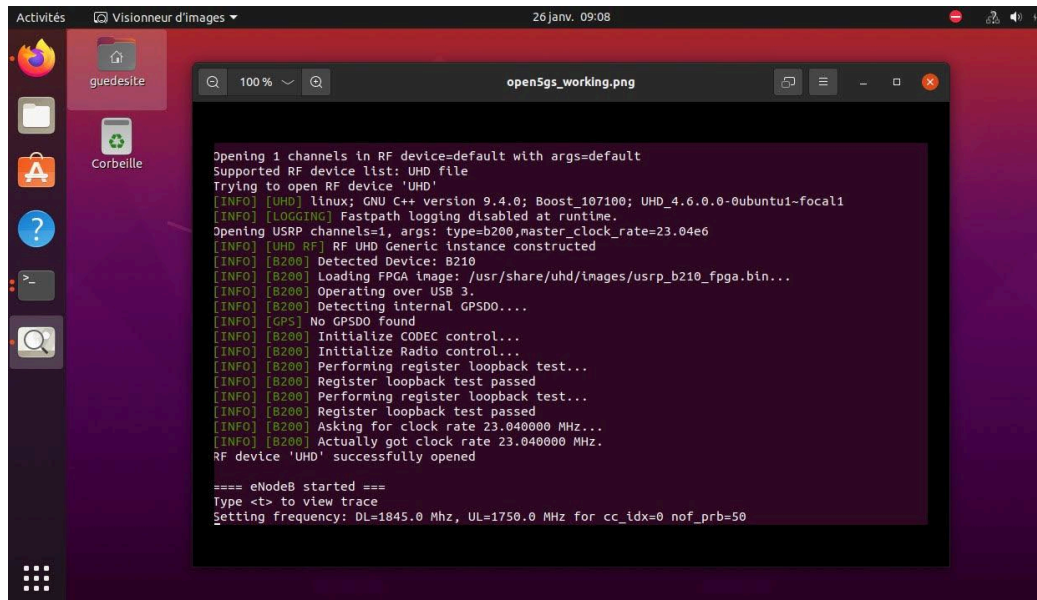
Nous avons renseigné des informations tels que l'IMSI, le contexte de sécurité (K, OPc, AMF) et l'APN de l'abonné.

Nous avons ensuite enregistré ses informations: c'est ce qui a fait qu'on soit reconnu comme abonné par Open5GS.



Lorsque ça a été fait, nous avons redémarré les *daemons* d'Open5GS, puis avons configuré le routage IP et les règles NAT.

Pour que le srsRAN fonctionne avec Open5GS, il faut évidemment mettre à jour les fichiers de configuration avec l'adresse MME, le TAC, l'ID PLMN et le DL EARFCN tous corrects avant d'exécuter srsRAN.

A screenshot of a Linux desktop environment. The background is a dark purple wallpaper. On the left, there is a vertical dock with icons for Firefox, a home folder, a file manager, a terminal, and a search icon. The top of the screen shows a panel with the date and time '26 janv. 09:08'. A terminal window titled 'open5gs_working.png' is open, displaying a series of log messages in green and white text on a black background. The logs show the initialization of the Open5GS system, including loading the FPGA image, detecting the device, and starting the eNodeB. The terminal text is as follows:

```
Opening 1 channels in RF device=default with args=default
Supported RF device list: UHD file
Trying to open RF device 'UHD'
[INFO] [UHD] linux; GNU C++ version 9.4.0; Boost_107100; UHD_4.6.0.0-0ubuntu1-focal1
[INFO] [LOGGING] Fastpath logging disabled at runtime.
Opening USRP channels=1, args: type=b200,master_clock_rate=23.04e6
[INFO] [UHD RF] RF UHD Generic instance constructed
[INFO] [B200] Detected Device: B210
[INFO] [B200] Loading FPGA image: /usr/share/uhd/images/usrp_b210_fpga.bin...
[INFO] [B200] Operating over USB 3.
[INFO] [B200] Detecting internal GPSDO....
[INFO] [GPS] No GPSDO found
[INFO] [B200] Initialize CODEC control...
[INFO] [B200] Initialize Radio control...
[INFO] [B200] Performing register loopback test...
[INFO] [B200] Register loopback test passed
[INFO] [B200] Performing register loopback test...
[INFO] [B200] Register loopback test passed
[INFO] [B200] Asking for clock rate 23.040000 MHz...
[INFO] [B200] Actually got clock rate 23.040000 MHz.
RF device 'UHD' successfully opened

==== eNodeB started ====
Type <t> to view trace
Setting frequency: DL=1845.0 Mhz, UL=1750.0 Mhz for cc_idx=0 nof_prb=50
```

Ensuite, nous avons allumé la maquette ainsi que le téléphone.

Présentation de la partie expérimentale et des résultats obtenus

Analyse et Résolution des Problèmes

Diagnostic des problèmes de puissance du poste

Au cours de l'implémentation du projet, nous avons rencontré un problème majeur lié à la puissance de calcul du poste informatique. Le symptôme principal était une incapacité à exécuter correctement MongoDB 6.0 dans la machine virtuelle sur VirtualBox, qui nécessite l'extension Advanced Vector Extensions (AVX) pour fonctionner. Cette limitation s'est manifestée par l'erreur "status=4/ILL", indiquant que le processus a tenté d'exécuter une instruction illégale, comme expliqué dans les discussions sur Stack Overflow <https://stackoverflow.com/questions/74986772/failed-to-start-mongod-6-0-in-virtualbox-machine-with-ubuntu-20-04>.

L'analyse a révélé que le processeur de l'ordinateur portable ne supportait pas les instructions AVX ou que la virtualisation n'était pas configurée pour les prendre en charge. Comme MongoDB version 6.0 et ultérieures requièrent ces instructions pour des opérations optimales, l'environnement virtuel s'est avéré inadéquat pour leur exécution, soulignant un problème de puissance de calcul et de compatibilité matérielle.

Solutions et ajustements apportés

Pour surmonter ce défi, plusieurs mesures ont été prises :

Downgrade de MongoDB : La solution immédiate a été de remplacer MongoDB 6.0 par MongoDB version 3. Cette version antérieure ne nécessite pas les instructions AVX, ce qui la rend compatible avec l'environnement de virtualisation sur l'ordinateur portable. Bien que cette solution ait des limitations en termes de fonctionnalités et de performances par rapport aux versions plus récentes, elle permet de maintenir la stabilité et la fonctionnalité du réseau LTE.

Optimisation de l'environnement virtuel : Des ajustements ont été faits sur la configuration de VirtualBox pour maximiser l'utilisation des ressources disponibles sur l'ordinateur portable. Cela inclut l'allocation optimale de la mémoire vive et du nombre de processeurs virtuels, ainsi que la vérification que la virtualisation est pleinement activée et prise en charge par le BIOS/UEFI de l'ordinateur.

Surveillance des ressources : Un suivi continu des performances du système a été instauré pour s'assurer que l'environnement virtuel reste stable et fonctionnel. Cela comprend la surveillance de l'utilisation du CPU, de la mémoire et du stockage, permettant d'identifier rapidement tout goulot d'étranglement ou défaillance.

Documentation et communication : Toutes les étapes de diagnostic et de résolution ont été soigneusement documentées. Cette documentation sert non seulement à fournir un historique détaillé des actions entreprises mais aussi à faciliter la communication avec les parties prenantes du projet, notamment les superviseurs et les collègues, pour garantir la transparence et la compréhension mutuelle des défis rencontrés et des solutions apportées.

Chap6 : Une conclusion + un retour d'expérience

Notre projet 5G LTE a permis de comprendre l'étendue des réseaux de communication radio ainsi que la gestion d'un groupe de 6 personnes.

Nous avons d'abord identifié de nouveaux logiciels open source tels que srsRAN et Open5GS et de nouveaux matériels comme l'URSP B210. Nous avons également revu des notions que nous avions vu l'année dernière (les USIM et l'IMSI comportants le MCC et le MNC).

La base de données MongoDB, également intégrée au projet, est utilisée pour stocker les informations d'abonnement des utilisateurs ainsi qu'une carte USIM pour l'authentification des abonnés.

Avant tout, nous avons dû nous documenter sur comment utiliser ces nouveaux outils pour ensuite les utiliser de la meilleure des manières.

Lorsque l'on se réunissait autour d'un crunch, chacun devait dire où il en était, s'il était en difficulté et nous essayons de le régler ensemble.

Malheureusement, à cause de problèmes variés, le résultat n'a pas abouti à la conclusion à laquelle nous nous attendions.

Malgré cela, ce projet nous a permis d'explorer et de maîtriser des technologies émergentes dans le domaine des réseaux mobiles tout en offrant une expérience pratique de déploiement et de gestion d'un réseau LTE.

En effet, bien que nous ayons rencontré des défis, nous avons acquis une précieuse expérience dans la gestion de projets de cette envergure. Nous avons développé de nouvelles compétences techniques, telles que la manipulation des technologies LTE, ainsi que des compétences en gestion d'équipe et en résolution de problèmes.

Nous avons apprécié ce projet pour l'autonomie qu'il nous a donnée et la manière dont à trouver des solutions par nous-mêmes. Cela nous sera sans doute très utile pour la suite de nos parcours professionnels.

BIBLIOGRAPHIE

Informations sur l'USIM

<https://geni.orbit-lab.org/wiki/Documentation/gWide/bLTESIM>

Informations sur le projet

<https://open5gs.org/open5gs/docs/tutorial/01-your-first-lte/>