

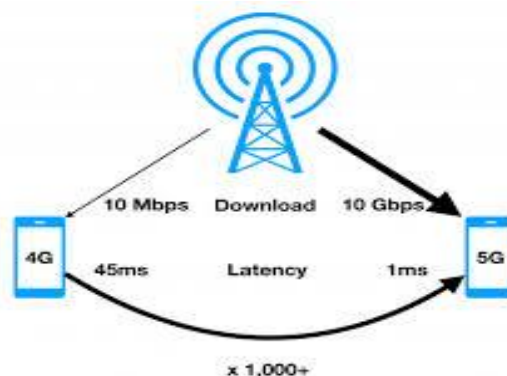
# RAPPORT DE STAGE

## Surveillance du réseau cœur 5G

Du 17/03/2025 au 09/05/2025

Thème :

**ETUDE ET ANALYSE DES INDICATEURS DE QUALITE DU SIGNAL 5G**



Tuteur pédagogique :

**Mme Yamina Amzal**

Maître de stage :

**Mr Bouamira Rachid**

Auteure :

**Mme SINA DIOP**

**BUT3 RESEAUX ET TELECOMMUNICATIONS PARCOURS ROM**

**Année 2024/2025**

**SINA DIOP**



## Remerciements

Avant tout, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à l'entreprise Future Networx pour m'avoir offert cette opportunité de stage. Cette expérience a été une véritable source d'apprentissage et de découverte, me permettant d'acquérir des compétences précieuses pour mon avenir professionnel.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur EL MOUKADIM, Directeur de Future Networx, pour la confiance qu'il m'a accordée en m'intégrant au sein de son entreprise. Son leadership et sa vision m'ont inspirée tout au long de mon stage, et je suis reconnaissante d'avoir eu l'opportunité d'évoluer dans un cadre aussi enrichissant.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur BOUAMIRA Rachid, mon maître de stage, pour son accompagnement bienveillant, ses précieux conseils et son encadrement tout au long de cette expérience. Grâce à son expertise et à sa pédagogie, j'ai pu progresser et approfondir mes connaissances.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance envers Madame Yamina Amzal, ma tutrice pédagogique, pour son suivi et ses conseils avisés qui m'ont aidée à évoluer de manière significative durant cette période.

Un immense merci à l'ensemble des collaborateurs de Future Networx, qui m'ont accueillie avec bienveillance et ont partagé avec moi leur savoir-faire et leur expérience comme je peux bien cité Mme Sonata une experte en intelligence artificielle, Mr Ismaël qui travaillait en parallèle sur le réseau cœur 5G. Leur aide et leur esprit d'équipe ont largement contribué à rendre ce stage des plus agréables et instructifs.

Enfin, je remercie toutes les personnes avec qui j'ai eu le plaisir de collaborer. Leur soutien, leur dynamisme et leur bonne humeur ont fait de cette aventure une expérience inoubliable, qui marquera mon parcours professionnel de manière positive.

# Sommaire

## Table des matières

<b>I. Présentation de l'entreprise .....</b>	<b>7</b>
<b>A. Historique .....</b>	<b>7</b>
<b>B. Expertise dans les réseaux 5G .....</b>	<b>8</b>
<b>II. Missions réalisées.....</b>	<b>10</b>
<b>A. Contexte du stage dans le cadre du déploiement des réseaux 5G .....</b>	<b>10</b>
<b>B. Problématique rencontrée.....</b>	<b>10</b>
1. Challenges liés à l'optimisation du réseau 5G.....	10
2. Problématique des KPI : .....	11
3. Problématiques de la qualité de service (QoS) et de la QoE.....	11
<b>C. Analyse critique.....</b>	<b>11</b>
1. Méthodes de collecte et d'analyse des KPI : .....	11
2. Efficacité des actions pour améliorer les KPI : .....	12
3. Limites rencontrées dans l'optimisation des réseaux 5G : .....	12
4. Réflexion sur les perspectives d'amélioration : .....	12
<b>D. Solutions proposées .....</b>	<b>13</b>
1. Mise en place d'un système avancé de collecte et d'analyse des KPI .....	13
2. Optimisation dynamique via l'intelligence artificielle et l'automatisation .....	13
3. Renforcement de la couverture et gestion des zones à forte densité.....	14
4. Mise en place d'un suivi qualité orienté utilisateur .....	14
<b>E. Démarches suivies.....</b>	<b>14</b>
1. Appropriation des notions fondamentales sur les KPI 5G .....	14
2. Intégration de Docker dans l'Infrastructure de Simulation 5G .....	15
3. Collecte des données KPI issues des réseaux 5G .....	18
4. Utilisation d'outil spécialisé pour l'analyse des performances .....	25
5. Accès à l'outil Grafana.....	28
<b>Conclusion .....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>41</b>
<b>Table des illustrations .....</b>	<b>41</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>42</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>43</b>
<b>Lexique .....</b>	<b>44</b>
<b>Index.....</b>	<b>46</b>



## **Abstract**

During my internship at Future Networx, I was actively involved in the deployment, monitoring, and optimization of 5G networks, focusing on Key Performance Indicators (KPI) to evaluate and improve network efficiency. The objective was to ensure a high level of performance by reducing latency, increasing data throughput, and optimizing coverage. My work contributed to enhancing the overall quality of service for end-users while addressing the technical challenges related to the large-scale implementation of 5G.

One of the key aspects of my mission was the real-time monitoring and analysis of network performance. By tracking critical KPIs such as latency, download and upload speeds, packet loss rate, and network congestion, I was able to identify areas that required optimization. This process involved collecting and analyzing large datasets to detect trends and anomalies that could affect the reliability of the 5G network. Using specialized tools, I was able to provide insights that helped improve network performance and ensure seamless user experiences.

The deployment of 5G posed several challenges, particularly in high-density urban areas where network congestion was a major issue. Managing the large volume of connected devices while maintaining stable performance required the implementation of advanced network technologies, including beamforming and MIMO (Multiple Input Multiple Output) systems. Additionally, integrating 5G with existing LTE and legacy infrastructures was another challenge, as it required careful planning to ensure compatibility and efficiency.

Another critical aspect of my work was the optimization of network slicing, a feature that allows operators to allocate dedicated resources to different applications. This capability is crucial for supporting emerging technologies such as autonomous vehicles, industrial automation, and real-time medical applications. By refining network slicing strategies, I contributed to improving the efficiency of resource distribution, ensuring that latency-sensitive applications received the necessary bandwidth and priority.

Ensuring Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) was a constant priority. The success of 5G depends on its ability to provide a consistent and reliable connection under various conditions. My role involved evaluating the impact of network optimizations on end-user experiences, ensuring that improvements in KPI metrics translated into tangible benefits for consumers and businesses. Identifying and addressing issues such as signal interference, handover failures, and inconsistent data speeds was an essential part of this process.

Throughout my internship, I worked with various network monitoring and optimization tools to enhance data collection and analysis. These tools allowed for precise tracking of network performance, enabling real-time decision-making to improve stability and efficiency. By leveraging data-driven insights, I was able to contribute to reducing latency, enhancing throughput, and optimizing overall network performance.

This experience at Future Networx has provided me with a deep understanding of 5G technology, network optimization techniques, and the challenges associated with large-scale deployment. I have developed strong analytical skills, as well as a solid foundation in wireless communications, network engineering, and performance management. Moving forward, I am eager to continue expanding my expertise in next-generation network technologies, focusing on innovations that will shape the future of wireless connectivity .

## **Introduction**

L'essor de la 5G marque une évolution majeure dans le domaine des réseaux mobiles, répondant aux exigences croissantes de connectivité, de faible latence et de haut débit. Cette nouvelle génération de communication sans fil joue un rôle clé dans le développement de technologies innovantes telles que l'Internet des objets (IoT), les véhicules autonomes, la télémédecine et l'industrie 4.0.

Dans le cadre de mes travaux et recherches sur la 5G, j'ai approfondi plusieurs aspects techniques liés aux infrastructures réseau, aux performances et aux indicateurs de qualité de service. L'étude des KPI c'est-à-dire les Key Performance Indicator permet d'évaluer l'efficacité des déploiements et d'optimiser l'exploitation des ressources réseau.

Ce rapport, réalisé au sein de Future Networx, présente une analyse détaillée des paramètres fondamentaux de la 5G, en mettant l'accent sur les concepts clés tels que le découpage réseau (network slicing), la gestion du spectre, les protocoles de communication et les fonctionnalités avancées comme l'IP Multimedia Subsystem et le Mission Critical Push-To-Talk. L'objectif est d'offrir une vision globale des enjeux technologiques et des performances attendues dans un réseau 5G, en tenant compte des défis liés à la latence, à la sécurité et à la gestion des ressources.

À travers cette étude, j'examine également le rôle du 3GPP, Third Generation Partnership Project dans la standardisation de la 5G et l'évolution des infrastructures réseau, du cœur de réseau aux stations de base. L'évaluation des indicateurs tels que le débit, la latence, le taux de perte de paquets et l'efficacité spectrale permet de comprendre les performances réelles du réseau et d'identifier les optimisations possibles.

Enfin, cette analyse met en lumière les implications de la 5G sur les réseaux actuels et futurs, ainsi que les défis liés à son déploiement, notamment en termes d'infrastructure, de compatibilité et d'impact environnemental.

# **I. Présentation de l'entreprise**

## **A. Historique**



Future Networx est une société par action simplifiée (SAS) fondée le 20 février 2023 par Abdelkhalek EL MOUKADIM. Basée à Palaiseau, au 42 Cours Pierre Vasseur, l'entreprise évolue dans le domaine du conseil en gestion et en stratégie.

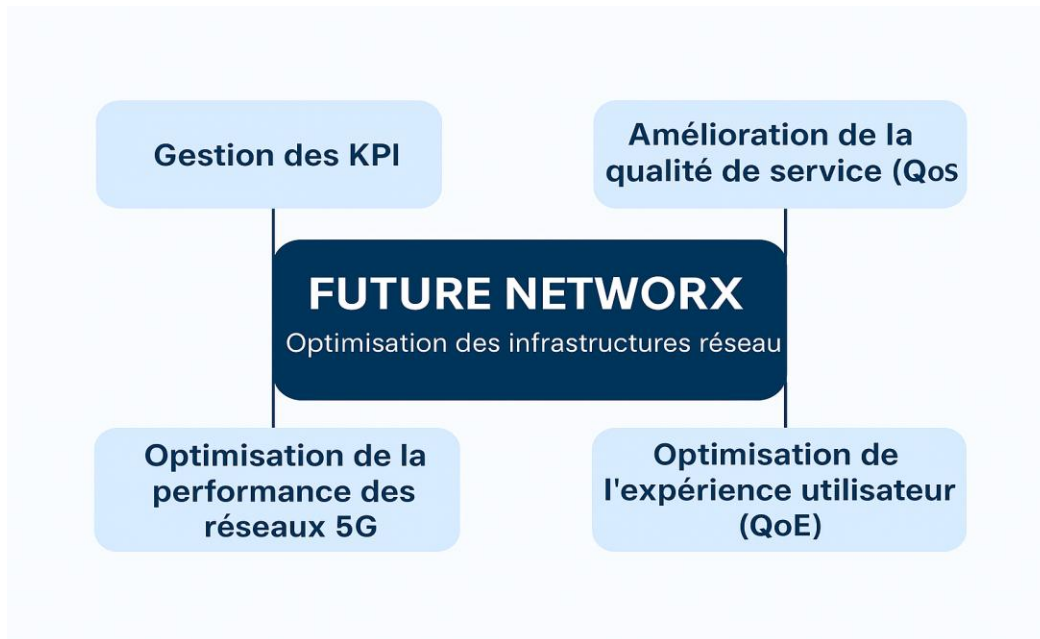
Dès sa création, Future Networx s'est fixé pour mission d'accompagner les entreprises dans l'optimisation et le déploiement de leurs infrastructures réseau, en mettant un accent particulier sur les nouvelles technologies de communication, notamment la 5G. Grâce à une approche innovante et une expertise pointue en analyse des KPI, amélioration de la qualité de service et gestion des performances réseau, l'entreprise s'est rapidement imposée comme un acteur clé du secteur.

Au fil du temps, Future Networx a su s'adapter aux exigences croissantes du marché en proposant des solutions adaptées aux défis de la transformation numérique et des télécommunications modernes. Forte d'une équipe d'experts passionnés, elle accompagne aujourd'hui divers clients dans la mise en place de réseaux fiables, performants et évolutifs, anticipant ainsi les besoins futurs en connectivité.

Grâce à son engagement envers l'innovation et la satisfaction client, Future Networx continue de se développer et d'explorer de nouvelles opportunités, contribuant activement à l'évolution du secteur des réseaux et télécommunications.

## **B. Expertise dans les réseaux 5G**

Future Networx est spécialisée dans l'optimisation des infrastructures réseaux, avec une expertise pointue en gestion des KPI, amélioration de la qualité de service (QoS) et optimisation des performances des réseaux 5G. Grâce à des outils avancés d'analyse et de surveillance, l'entreprise accompagne ses clients dans le suivi et l'amélioration de la latence, du débit, de la couverture et de la fiabilité des connexions. Son savoir-faire s'étend également à la gestion de la congestion du réseau, l'intégration des nouvelles technologies avec les infrastructures existantes et l'optimisation de l'expérience utilisateur (QoE). En alliant innovation et expertise technique, Future Networx s'impose comme un acteur clé du déploiement et de la performance des réseaux de nouvelle génération.



En parallèle de cette expertise technique, une compréhension approfondie de l'architecture du réseau 5G s'est avérée essentielle pour appréhender les enjeux liés aux indicateurs de performance.

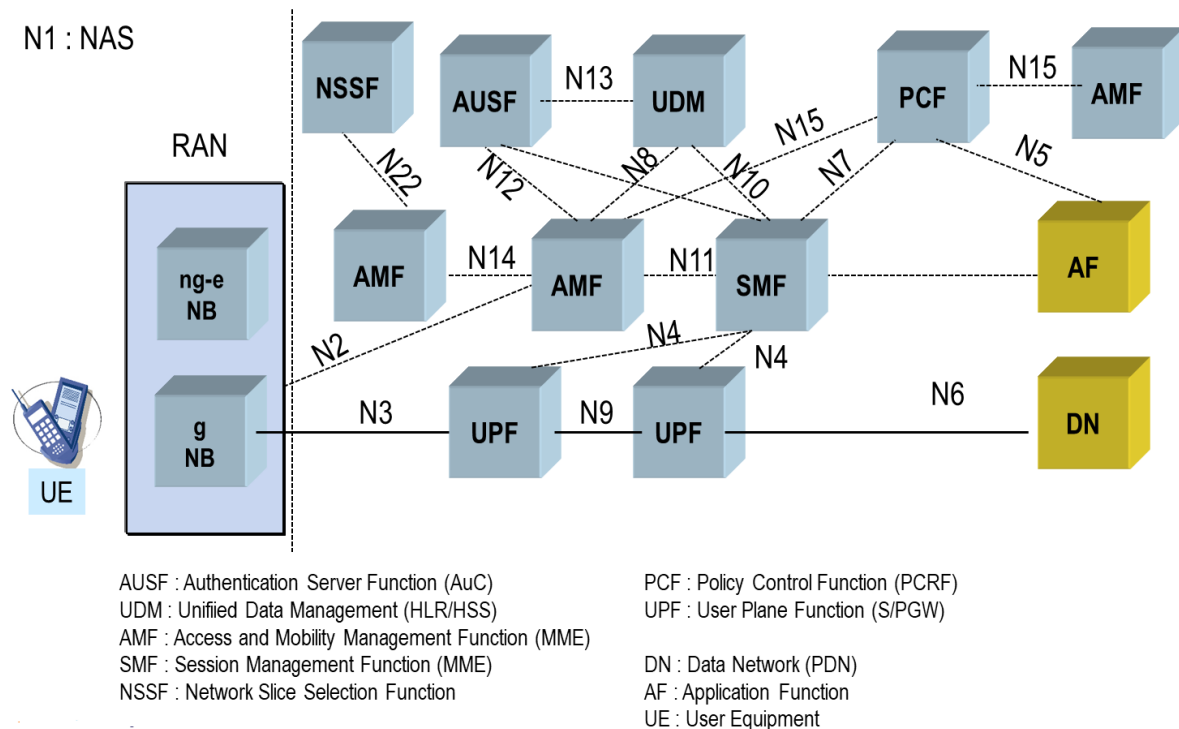


Figure 1: Architecture simplifiée du cœur de réseau 5G

## **C. Organisation**

Chez Future Networx, l'équipe est dirigée par M. Abdelkhalek El Moukadim, Président de la société. J'ai intégré l'équipe technique dans le cadre de mon stage, où j'interviens sur l'analyse des performances réseaux 5G, en particulier le traitement et l'exploitation des KPI. Je travaille en étroite collaboration avec un stagiaire chargé des simulations de performances, dont les résultats me permettent d'extraire des données critiques pour l'optimisation. Une fois la simulation finalisée, je récupère et analyse les données. J'y introduis ensuite volontairement certaines anomalies afin que mon collègue, en charge de la solution d'intelligence artificielle, puisse tester la capacité de cette dernière à les détecter. Ce processus collaboratif permet à l'équipe de surveiller efficacement la qualité de service (QoS) et d'affiner les mécanismes de détection et de réponse face aux dégradations du réseau.

## **II. Missions réalisées**

### **A. Contexte du stage dans le cadre du déploiement des réseaux 5G**

Au cours de mon stage chez Future Networx, j'ai été chargée de l'analyse et du suivi des KPI (Key Performance Indicator) propres aux réseaux 5G, tels que le débit, la latence, la couverture ou encore le taux de réussite des connexions. Cette mission impliquait également l'optimisation des performances réseau en interprétant les données issues de simulations, ainsi que l'étude approfondie de l'impact de ces KPI sur la qualité de service (QoS) et l'expérience utilisateur (QoE). Par ailleurs, j'ai participé au suivi du déploiement des infrastructures 5G et collaboré étroitement avec l'équipe technique afin d'intégrer ces données dans un modèle d'intelligence artificielle en cours de développement.

### **B. Problématique rencontrée**

#### **1. Challenges liés à l'optimisation du réseau 5G**

L'optimisation du réseau 5G soulève plusieurs défis techniques majeurs. Le premier est la gestion des problèmes de congestion du réseau, notamment dans les environnements urbains denses où le volume de connexions simultanées peut fortement impacter la qualité du service. Il faut alors adapter intelligemment les ressources radio pour garantir une connectivité stable. Ensuite, l'optimisation de la couverture dans les zones à forte densité nécessite une planification rigoureuse du déploiement des antennes et une configuration dynamique des cellules pour maximiser la portée et limiter les zones d'ombre. Enfin, l'intégration de la 5G dans les infrastructures réseau existantes pose des contraintes techniques importantes. En effet, les

équipements en place ne sont pas toujours compatibles avec les nouvelles exigences de la 5G, rendant indispensable une modernisation progressive tout en assurant la continuité des services.

## **2. Problématique des KPI :**

La définition et la gestion des KPI pertinents pour les réseaux 5G représentent un enjeu central dans l'évaluation de la performance réseau. Il est nécessaire d'identifier des indicateurs fiables tels que le taux de transfert, la latence, la capacité ou encore le taux de réussite des connexions, afin de pouvoir évaluer la qualité du réseau avec précision. Cependant, la mise en place de ces indicateurs s'avère complexe, car elle requiert des outils adaptés et une structuration rigoureuse des données collectées. L'un des défis majeurs réside dans la difficulté à garantir la fiabilité et la cohérence des données issues de différentes sources, notamment en situation de forte mobilité ou en présence d'interférences. De plus, le suivi de la performance en temps réel et dans des conditions réelles d'utilisation est indispensable pour ajuster dynamiquement les paramètres réseau. Cela implique une surveillance continue et une capacité d'analyse rapide, souvent appuyée par des solutions d'automatisation ou d'intelligence artificielle.

## **3. Problématiques de la qualité de service (QoS) et de la QoE**

Le suivi de la QoE (Quality of Experience) constitue un axe fondamental dans l'évaluation des performances des réseaux 5G. Il ne suffit pas de garantir des indicateurs techniques élevés ; il faut également s'assurer que l'expérience réelle des utilisateurs soit fluide, stable et satisfaisante. L'un des défis majeurs consiste à identifier rapidement les problèmes de qualité qui impactent les utilisateurs finaux, tels que les coupures, les lenteurs ou les pertes de connexion. Une autre difficulté réside dans l'équilibre à maintenir entre les performances réseau globales (débit, latence, capacité) et les attentes spécifiques des utilisateurs, qui varient selon les usages (vidéo en streaming, jeux en ligne, applications industrielles, etc.). Cet équilibre exige une analyse fine et contextualisée des données, combinée à une réactivité accrue dans l'optimisation des ressources réseau pour garantir une expérience utilisateur optimale tout en maintenant une infrastructure performante et stable.

## **C. Analyse critique**

### **1. Méthodes de collecte et d'analyse des KPI :**

L'analyse des indicateurs de performance dans un réseau 5G repose sur l'utilisation d'outils spécialisés capables de capter des données en temps réel sur des aspects tels que le débit, la latence, la couverture, ou encore le taux de réussite des connexions. Durant le stage, une réflexion a été menée sur la pertinence et l'efficacité des outils utilisés, notamment pour leur capacité à fournir des données précises et exploitables. Cependant, certaines limites ont été observées : manque de granularité dans les mesures, difficultés à collecter des données dans des

conditions de forte charge réseau, ou encore délais de traitement empêchant une réactivité optimale. Ces contraintes techniques ont parfois complexifié l'interprétation des résultats, soulignant l'importance d'améliorer ou de compléter les outils existants pour affiner le diagnostic et l'optimisation du réseau.

## **2. Efficacité des actions pour améliorer les KPI :**

L'une des principales missions consistait à mettre en place des actions concrètes pour améliorer les indicateurs clés de performance du réseau 5G. Une comparaison a ainsi été effectuée entre les performances réseau avant et après les différentes optimisations apportées. Ces ajustements ont permis d'observer une réduction notable de la latence, une amélioration du débit descendant et montant, ainsi qu'une meilleure stabilité des connexions. Le retour d'expérience sur ces interventions a mis en lumière l'efficacité de certaines approches, comme l'ajustement des paramètres de couverture ou l'optimisation des ressources radio. Toutefois, certaines améliorations se sont heurtées à des contraintes techniques ou à un manque de données, ce qui a limité leur portée. Cette phase a été essentielle pour comprendre l'impact direct des ajustements sur la qualité de service et affiner les stratégies d'optimisation future.

## **3. Limites rencontrées dans l'optimisation des réseaux 5G :**

L'optimisation des réseaux 5G a rapidement révélé certaines limites structurelles et techniques. D'abord, les contraintes liées à l'infrastructure, notamment la densité d'antennes nécessaire pour garantir une couverture optimale, ont représenté un véritable défi, en particulier dans les zones urbaines ou complexes d'un point de vue topographique. Les interférences entre cellules ou bandes de fréquences ont également compliqué les ajustements, limitant la marge de manœuvre pour certaines optimisations. Par ailleurs, un manque de données ou la faible qualité de certaines informations récoltées a freiné l'analyse approfondie des performances. Ces lacunes dans les jeux de données disponibles rendaient difficile la prise de décisions éclairées, notamment lorsqu'il s'agissait d'identifier précisément les sources de dégradation du service ou d'anticiper les comportements du réseau. Ces limites ont souligné l'importance d'une infrastructure solide, d'un système de collecte de données performant et d'une collaboration étroite entre les différents acteurs du projet.

## **4. Réflexion sur les perspectives d'amélioration :**

Face aux enjeux observés dans le suivi et l'optimisation des réseaux 5G, plusieurs pistes d'amélioration se dégagent. Tout d'abord, une gestion plus structurée et automatisée des KPI serait bénéfique. Cela inclut l'implémentation de systèmes de monitoring plus précis, capables de remonter des données en temps réel avec une meilleure fiabilité, mais aussi l'intégration d'intelligence artificielle pour analyser dynamiquement les performances et anticiper les dysfonctionnements. Par ailleurs, il devient essentiel d'harmoniser les indicateurs de

performance afin de garantir une lecture cohérente des résultats à toutes les étapes du déploiement et de l'exploitation. Enfin, une planification stratégique à long terme est indispensable pour réussir les futurs déploiements 5G. Cela passe par une anticipation des zones à forte densité, une meilleure préparation des infrastructures support et une prise en compte des évolutions technologiques à venir. Une telle approche proactive permettra non seulement d'optimiser les investissements, mais aussi d'assurer une meilleure qualité de service aux utilisateurs finaux.

## **D. Solutions proposées**

Pour répondre aux défis liés au déploiement et à l'optimisation des réseaux 5G chez Future Network, nous proposons une série de solutions techniques et organisationnelles visant à améliorer la performance, la fiabilité et la qualité de service. La démarche s'appuie sur une progression structurée, allant de la collecte et l'analyse des données KPI à l'intégration d'outils avancés d'automatisation et de pilotage réseau.

### **1. Mise en place d'un système avancé de collecte et d'analyse des KPI**

La première étape consiste à déployer une infrastructure capable de collecter en temps réel des données précises sur les indicateurs clés de performance tels que le débit, la latence, la couverture et le taux de réussite des connexions. Pour cela, nous utiliserons des outils dédiés au monitoring réseau capables d'extraire et d'agréger ces données de manière fiable. Ces outils permettront aussi d'alerter automatiquement en cas de dégradation de la qualité de service. L'analyse fine de ces KPI facilitera la prise de décision pour ajuster les ressources réseau selon les besoins.

### **2. Optimisation dynamique via l'intelligence artificielle et l'automatisation**

Afin d'améliorer la performance du réseau en continu, nous envisageons d'intégrer un moteur d'intelligence artificielle capable d'interpréter les données collectées, d'anticiper les congestions et de proposer des actions correctives automatisées. L'utilisation de scripts et d'outils d'automatisation permettra d'appliquer rapidement des configurations adaptées (comme le rééquilibrage de la charge, la gestion de la qualité de service, ou l'ajustement des antennes) sans intervention manuelle, réduisant ainsi les temps d'indisponibilité et optimisant l'expérience utilisateur.

### **3. Renforcement de la couverture et gestion des zones à forte densité**

Pour pallier les difficultés d'intégration de la 5G avec les infrastructures existantes et répondre aux besoins spécifiques des zones urbaines denses, nous mettrons en place une cartographie dynamique des zones de couverture, couplée à des outils de simulation et de planification. Ces outils permettront d'identifier rapidement les zones à renforcer et d'adapter le déploiement des antennes et équipements en conséquence, assurant ainsi une meilleure qualité de signal et une diminution des interférences.

### **4. Mise en place d'un suivi qualité orienté utilisateur**

Enfin, un système de suivi basé sur la qualité de service (QoS) et la qualité de l'expérience utilisateur (QoE) sera développé. Ce système reposera sur des sondes et des retours utilisateurs pour détecter les anomalies affectant l'usage final, permettant d'équilibrer la performance réseau avec les attentes réelles des utilisateurs. Des tableaux de bord interactifs offriront une visibilité claire sur les indicateurs d'expérience, facilitant la priorisation des actions correctives.

## **E. Démarches suivies**

### **1. Appropriation des notions fondamentales sur les KPI 5G**

Dans le cadre de mon stage chez Future Networkx, j'ai entamé mes travaux par une phase d'apprentissage théorique indispensable portant sur les réseaux 5G et les indicateurs de performance clés (KPI) qui en permettent l'évaluation.

Sous la supervision de mon maître de stage, j'ai eu accès à un ouvrage de référence spécialisé sur la qualité de service (QoS) et la qualité d'expérience utilisateur (QoE) dans les réseaux mobiles de nouvelle génération. Ce support pédagogique m'a permis d'approfondir la compréhension de notions fondamentales telles que la latence, le débit montant et descendant, la stabilité des connexions, la gestion des ressources radio, ou encore les taux de réussite des transferts inter-cellules (handovers).

Dans ce cadre, j'ai entrepris la création d'un tableau de synthèse des KPI 5G, basé sur les spécifications du 3GPP. Ce tableau regroupe les principaux indicateurs utilisés dans l'analyse des performances réseau, en précisant : leur définition technique, leur méthode de calcul, et les compteurs nécessaires à leur mesure.

Ces indicateurs sont classés en fonction de leur domaine d'impact : accès radio (RSRP, RSRQ, SINR...), transport (jitter, latence...), ou encore cœur de réseau (taux de perte, taux d'échec d'établissement de session...).

Cette phase préparatoire a été cruciale pour la suite de mes missions, notamment dans le traitement des données collectées lors des simulations ou tests réseau, mais aussi dans la conception de modèles intelligents visant à anticiper et corriger les dégradations de service.

KPI	Référence sur 3GPP	Description	Mode de calcul	Compteurs dépendants
Latence (End-to-End Delay)	TS 38.331	Temps écoulé entre l'émission et la réception d'un paquet.	Tr – Te/nombre	Temps d'émission, Temps de réception
Débit descendant (DL Throughput)	TS 28.552	Capacité de transmission en téléchargement (Mbps).	Débit DL= $\Sigma \text{Volume DL} / \Sigma \text{Temps}$	Volume de données DL, Temps de transmission
Débit montant (UL Throughput)	TS 28.552	Capacité de transmission en upload (Mbps)	Débit DL= $\Sigma \text{Volume UL} / \Sigma \text{Temps}$	Volume de données UL, Temps de transmission
Taux de perte de paquets (Packet Loss Rate)	TS 38.300	Proportion des paquets perdus par rapport aux paquets envoyés.	PLR= Paquets perdus /paquets envoyés x100	Nombre de paquets envoyés, Nombre de paquets reçus
Bande passante effective (Effective Bandwidth)	TS 38.552	Quantité de données transmises en tenant compte des pertes.	B=Volume utile transmis/ Durée de la transmission	Volume utile, Temps de transmission
Taux d'échec d'établissement de session (Call Drop Rate - CDR)	TS 38.331	Pourcentage d'appels interrompus involontairement.	PRB Utilization= Nombre de PRB utilisés/ PRB disponibles x 100	Nombre de sessions établies, Sessions échouées
RSRQ (Reference Signal Received Quality)	TS 38.214	Qualité du signal reçu, prenant en compte les interférences.	RSRQ=RSRP/RSSI	RSRP ,RSSI
RSRP (Reference Signal Received Power)	TS 38.214	Puissance reçue du signal de référence.	RSRP=Préférence / N° d'antennes utilisées	Puissance du signal, Nombre d'antennes

Figure 2: Base de données technique pour l'analyse des performances 5G

## 2. Intégration de Docker dans l'Infrastructure de Simulation 5G

Docker a été utilisé pour conteneuriser les différentes fonctions du cœur de réseau 5G, telles que l'AMF, le SMF, l'UPF, et les simulateurs d'UE. Cette approche a permis une isolation efficace des services, facilitant le déploiement, la gestion et la scalabilité de l'environnement de test.



## 2.1. Architecture Conteneurisée du Cœur de Réseau

Chaque composant du réseau 5G a été encapsulé dans un conteneur Docker, assurant ainsi une portabilité et une cohérence de l'environnement de développement à la production. Cette architecture conteneurisée permet une gestion simplifiée des services et une meilleure isolation des processus.

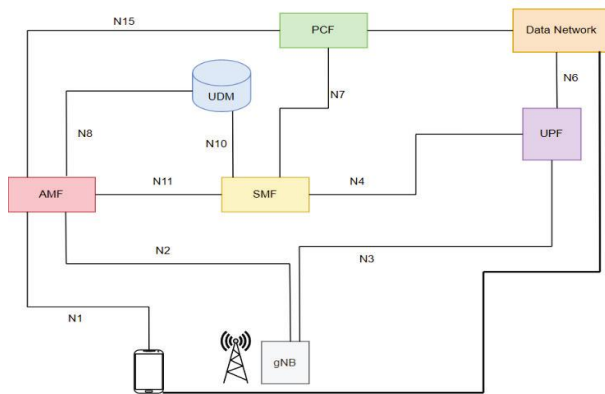


Figure 3: Schéma de l'architecture conteneurisée du cœur de réseau 5G, illustrant les différents services encapsulés dans des conteneurs Docker

## 2.2. Orchestration avec Docker Compose

Docker Compose a été utilisé pour définir et gérer l'ensemble des services dans un fichier unique (docker-compose.yml). Cela a simplifié l'orchestration des conteneurs, permettant de lancer l'ensemble de l'infrastructure de simulation avec une seule commande.

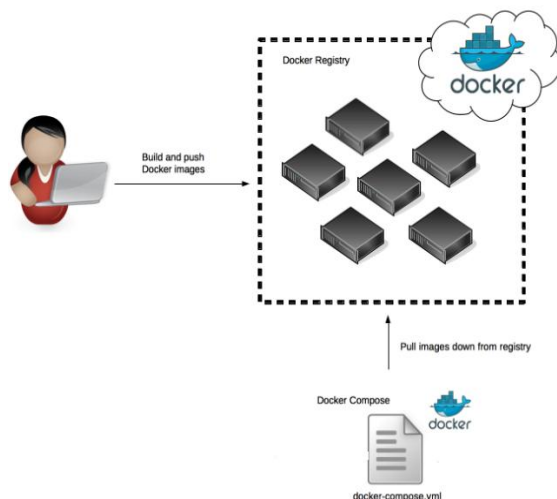


Figure 4: Architecture du déploiement multi-conteneurs avec Docker Compose

## 2.3. Automatisation et Déploiement

Des scripts d'automatisation ont été développés pour faciliter le déploiement rapide des conteneurs et la mise à l'échelle de l'infrastructure de simulation. Ces scripts permettent de déployer l'ensemble des services en quelques minutes, réduisant ainsi le temps de mise en place des tests.



Figure 5: Automatisation pour le déploiement des conteneurs Docker du cœur de réseau 5G

## 2.4. Surveillance des Performances

L'intégration d'outils de monitoring tels que Grafana a permis la visualisation des métriques en temps réel, facilitant la surveillance des performances du réseau simulé. Les tableaux de bord Grafana affichent des indicateurs clés tels que la latence, le débit et le taux de perte de paquets.

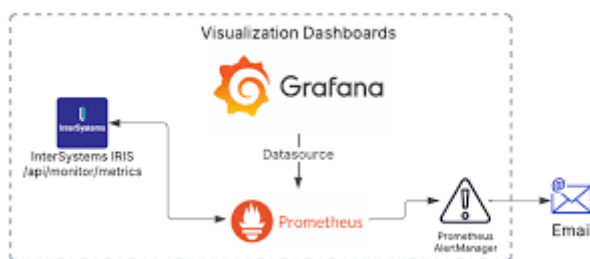


Figure 6: Lien entre Grafana et Docker

## 2.5. Pourquoi Docker ?

Le choix de Docker pour notre projet de simulation du réseau 5G repose sur sa capacité à offrir une solution légère, portable et efficace pour le déploiement et la gestion des services réseau. Contrairement aux machines virtuelles traditionnelles, Docker utilise des conteneurs qui partagent le noyau du système d'exploitation hôte, ce qui permet une utilisation plus efficace des ressources et une réduction de la surcharge système. Cette approche facilite le déploiement rapide des composants du réseau 5G, tels que l'AMF, le SMF ou le UPF, en assurant leur

isolation et leur indépendance. De plus, Docker permet une portabilité accrue des applications, garantissant leur fonctionnement cohérent sur différents environnements, qu'ils soient locaux, sur le cloud ou à la périphérie du réseau. Cette flexibilité est essentielle pour tester diverses configurations et scénarios dans notre environnement de simulation. Enfin, l'intégration de Docker avec des outils d'orchestration comme Docker Compose ou Kubernetes simplifie la gestion, la mise à l'échelle et la surveillance des services, ce qui est crucial pour évaluer la performance et la résilience du cœur de réseau 5G dans des conditions variées.

### 3. Collecte des données KPI issues des réseaux 5G

La seconde étape de mon travail a consisté à collecter des données précises sur les KPI (Key Performance Indicator) propres aux réseaux 5G, notamment le débit, la latence, la couverture réseau et le taux de réussite des connexions. Ces données provenaient des simulations effectuées par l'équipe, en particulier celles générées par Amir, en fin de simulation. Une fois les fichiers transmis, je pouvais initier leur traitement.

Je me suis connectée à l'URL, pour accéder à l'interface graphique

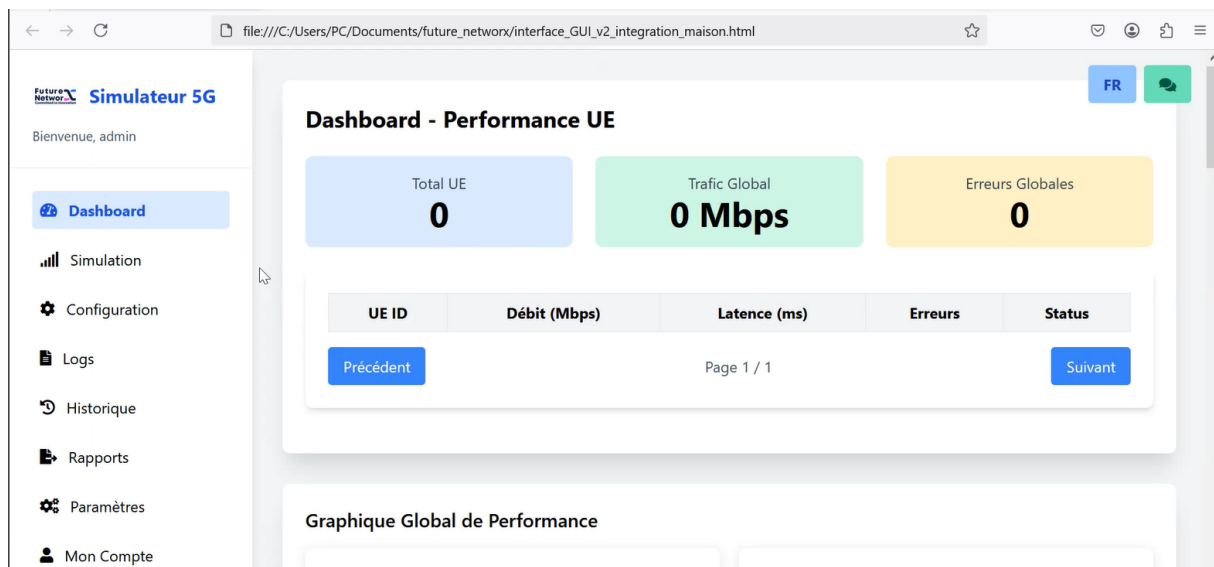


Connexion à l'interface graphique avec comme login admin:

A screenshot of a web application login page. At the top, there is a logo for 'Future Network' with the tagline 'Committed to Innovation'. Below the logo, the word 'Connexion' is displayed in a large, bold, black font. Underneath, there are two input fields: the first is labeled 'Nom d'utilisateur' and contains the text 'admin'; the second is labeled 'Mot de passe' and contains the placeholder text 'Votre mot de passe'. At the bottom of the form, there is a blue button with the text 'Se connecter' in white.

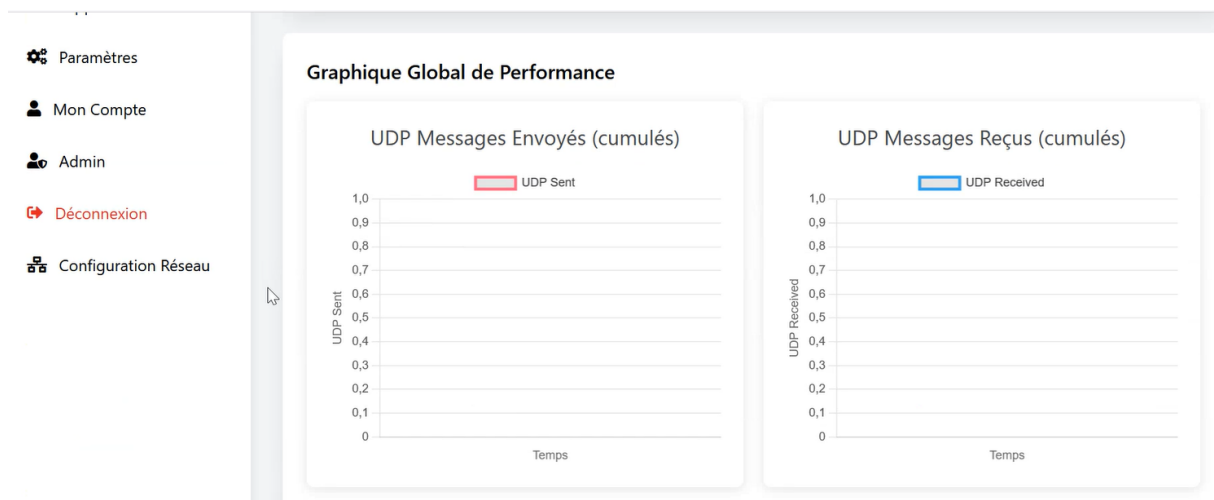
Figure 7: Connexion à l'interface graphique

Après la connexion voici la page qui s'ouvre



La capture ci-dessus illustre l'interface du simulateur 5G, plus précisément la section Dashboard-Performance UE. Cette interface permet de surveiller en temps réel les performances des équipements utilisateurs (UE) connectés au réseau simulé. Trois indicateurs clés y sont affichés : le nombre total d'UE connectés, le trafic global en Mbps, et le nombre d'erreurs globales détectées. Dans cet exemple, aucun terminal n'est encore actif, ce qui explique les valeurs nulles sur l'ensemble des KPI. En dessous, un tableau est prévu pour afficher, pour chaque UE, des mesures précises comme le débit, la latence, le nombre d'erreurs, et le statut de la connexion. Cet outil est essentiel pour l'analyse des performances réseau car il permet de détecter rapidement les anomalies, de suivre l'évolution des indicateurs clés de performance (KPI), et d'évaluer l'impact des différents scénarios (voix, data, vidéo) sur la qualité de service. Grâce à cet affichage synthétique, il devient possible de comparer les résultats aux seuils de référence, d'interpréter les écarts, et de mieux comprendre les comportements du réseau 5G simulé.

Au départ, aucun graphique ne présentait de données, car la simulation n'avait pas encore été lancée et aucune configuration n'était en place.



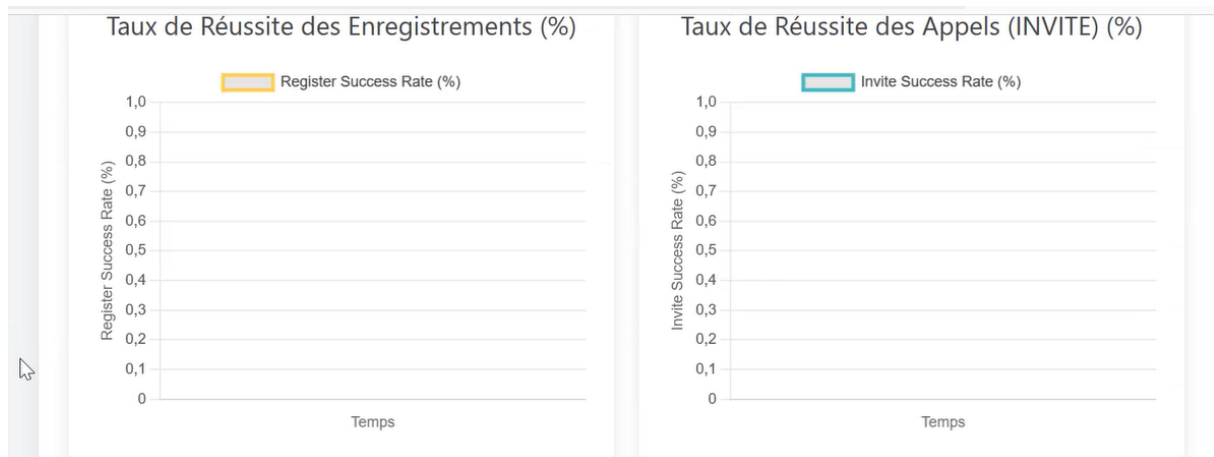


Figure 8: Dashboard initialement affiché

Par la suite, Amir et moi avons procédé à la configuration du système en sélectionnant le service vocal, dans le but de permettre le passage d'appels. Cette simulation repose sur l'utilisation d'UEs fictifs et vise à évaluer la capacité réelle du cœur de réseau, notamment en identifiant le nombre maximal d'utilisateurs pouvant être pris en charge simultanément.

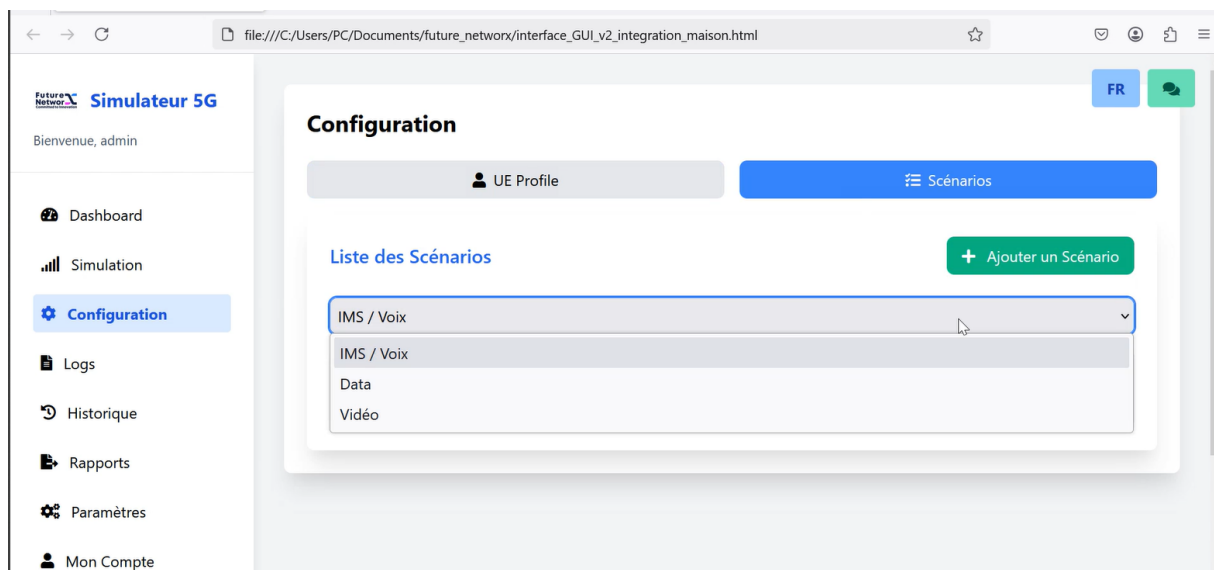


Figure 9: Configuration du Service Voix avec UEs (User Equipment) pour Mesure de Performance

L'interface affichée correspond à un simulateur 5G développé en local, utilisé dans le cadre de tests réseau chez Future Networkx. Accessible via un navigateur, cette application permet à l'utilisateur ici connecté en tant qu'administrateur de configurer différents scénarios de trafic (IMS/Voix, Data, Vidéo) à partir du module "Configuration". Chaque scénario simule un type de service spécifique, tel que les appels voix via IMS, le transfert de données ou le streaming vidéo, afin d'évaluer les performances du réseau sous différentes charges. Grâce à cette interface, il est possible de lancer des simulations réalistes et de surveiller les KPI associés, comme la latence, le débit, le jitter ou le taux de perte de paquets. Ces analyses sont essentielles pour détecter d'éventuelles anomalies, les comparer aux seuils attendus, et comprendre l'impact

des différents types de trafic sur la qualité de service globale. Le bouton “Ajouter un Scénario” permet en outre de créer des cas de test personnalisés, renforçant ainsi l’adaptabilité de l’outil à divers contextes réseau.

J’ai configuré la simulation du réseau 5G. Dans la liste des scénarios disponibles, j’en ai créé un dédié à la voix afin de pouvoir passer des appels.

Dans la liste des scénarios, lorsqu’on sélectionne IMS/VOIX, seuls les appels voix sont pris en charge, tandis qu’en choisissant DATA, seul le trafic de données est simulé, sans inclure les appels voix. Cela permet de distinguer les différents types de trafic et d’observer leur impact respectif sur les performances du réseau.

Après avoir distingué les types de trafic à travers les scénarios IMS/VOIX et DATA, une première simulation est lancée avec un seul utilisateur. Cette expérimentation initiale permet d’établir une base de référence. À partir de là, une montée en charge progressive pourra être effectuée afin de mesurer la capacité réelle du cœur de réseau.

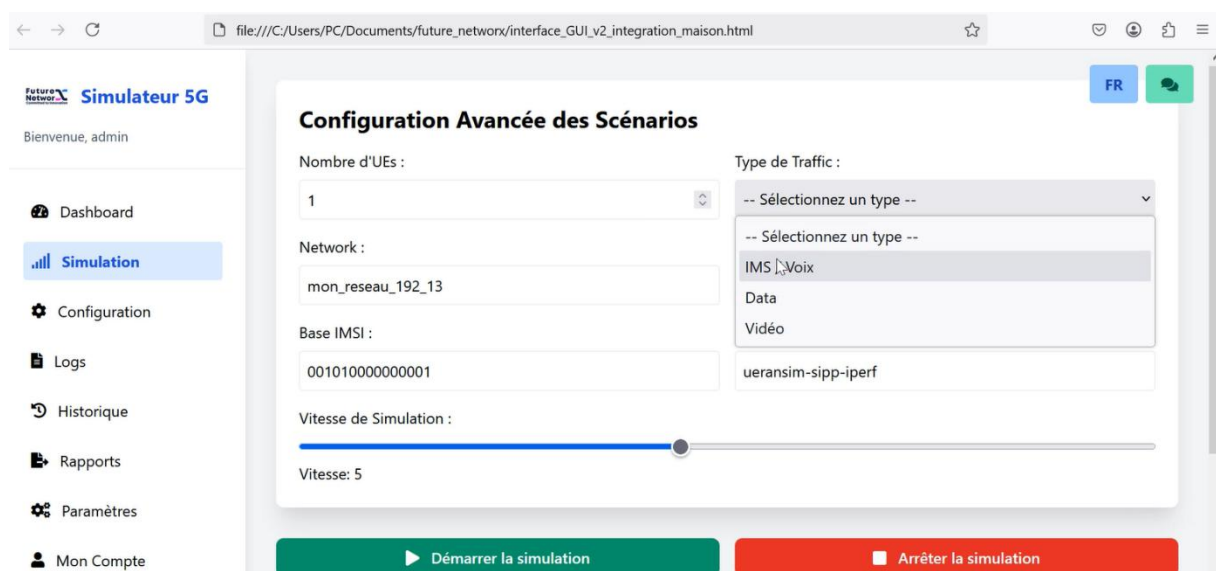


Figure 10: Étape Préliminaire , Évaluation de Base avant Montée en Charge

Je me connecte ensuite à la machine virtuelle pour lancer la simulation, ce qui permet d’alimenter le tableau de bord avec les données collectées en temps réel. Il est important de souligner que cette étape repose sur le travail en amont réalisé par Amir, qui a développé à la fois le code de simulation et l’interface graphique en HTML permettant de piloter les différents scénarios.

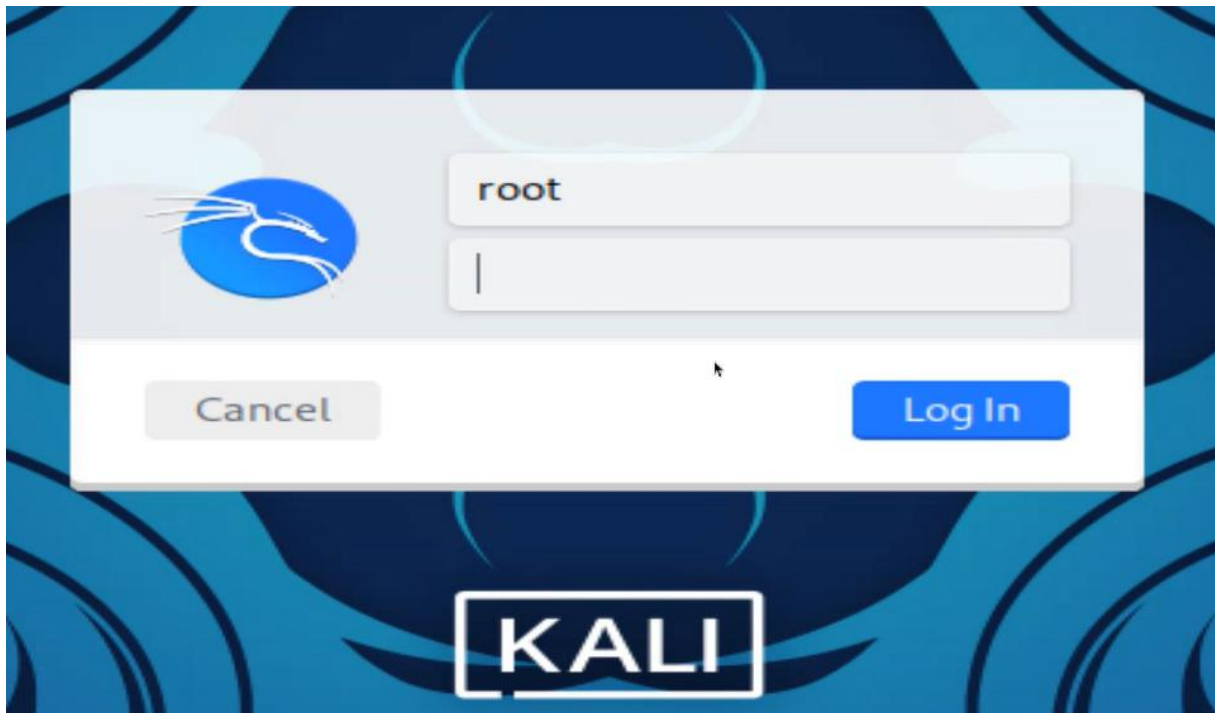


Figure 11: Connexion à la machine virtuelle

Je déclenche la simulation en ligne de commande, avant de basculer sur l'interface graphique pour son suivi ou contrôle.

```
kali-linux-2023.3-virtualbox-amd64 1 [En fonction] - Oracle VM VirtualBox
File Actions Edit View Help
(root@kali)~[~]
# cd test
(root@kali)~[~/test]
# cd IMS
(root@kali)~[~/test/IMS]
# cd presentation_simulateur
(root@kali)~[~/test/IMS/presentation_simulateur]
# python3 server.py
Répertoire vérifié/créé : /root/test/IMS/presentation_simulateur/config UE
Répertoire vérifié/créé : /root/test/IMS/presentation_simulateur/scenario_appel/scenario_IMS
Répertoire vérifié/créé : /root/test/IMS/presentation_simulateur/scenario_appel/scenario_video
Répertoire vérifié/créé : /root/test/IMS/presentation_simulateur/scenario_appel/scenario_data
* Serving Flask app 'server'
* Debug mode: on
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on all addresses (0.0.0.0)
* Running on http://127.0.0.1:3000
* Running on http://192.168.1.13:3000
Press CTRL+C to quit
* Restarting with stat
```

Figure 12: Lancement de la simulation via le terminal



Voici le démarrage sur l'interface graphique.

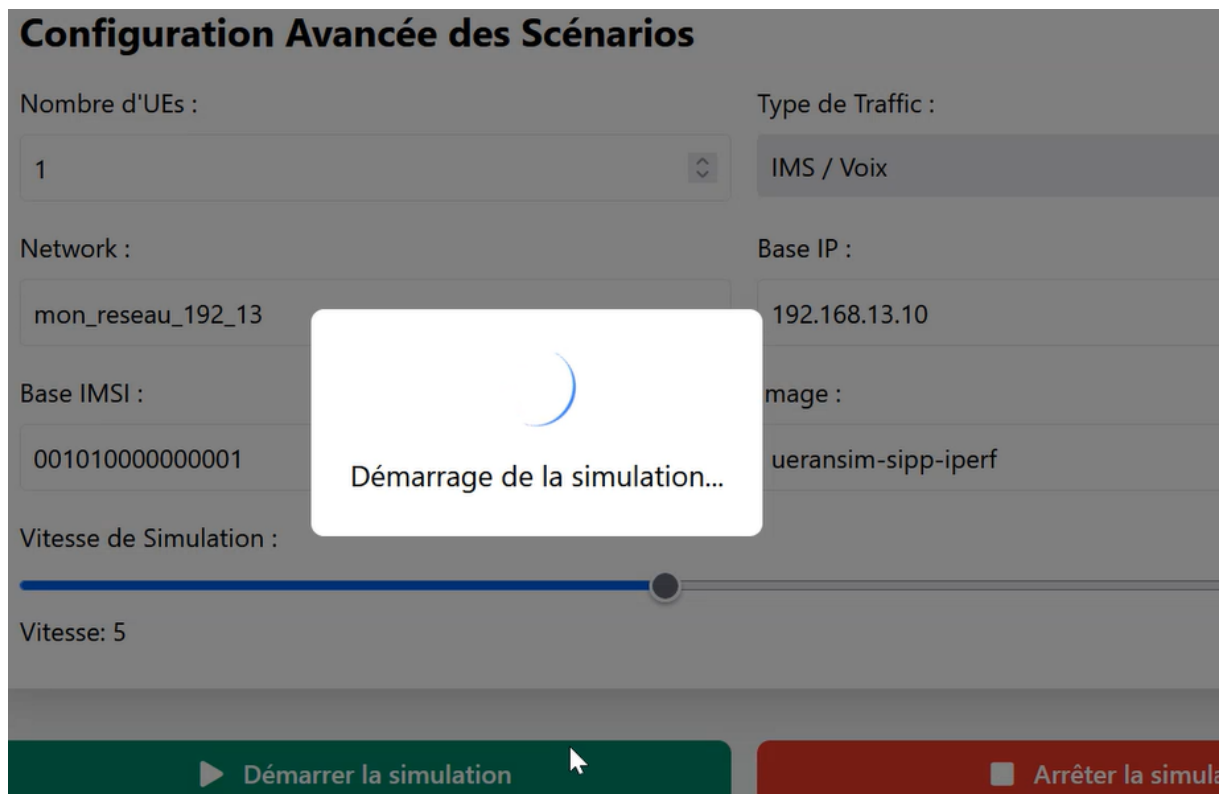


Figure 13: Suivi de la simulation depuis l'interface graphique

Voici ce que j'ai obtenu pour un seul user

Ces deux graphiques illustrent l'évolution cumulée du trafic UDP envoyé et reçu par le simulateur au fil du temps lors de la simulation 5G.

#### Graphique Global de Performance

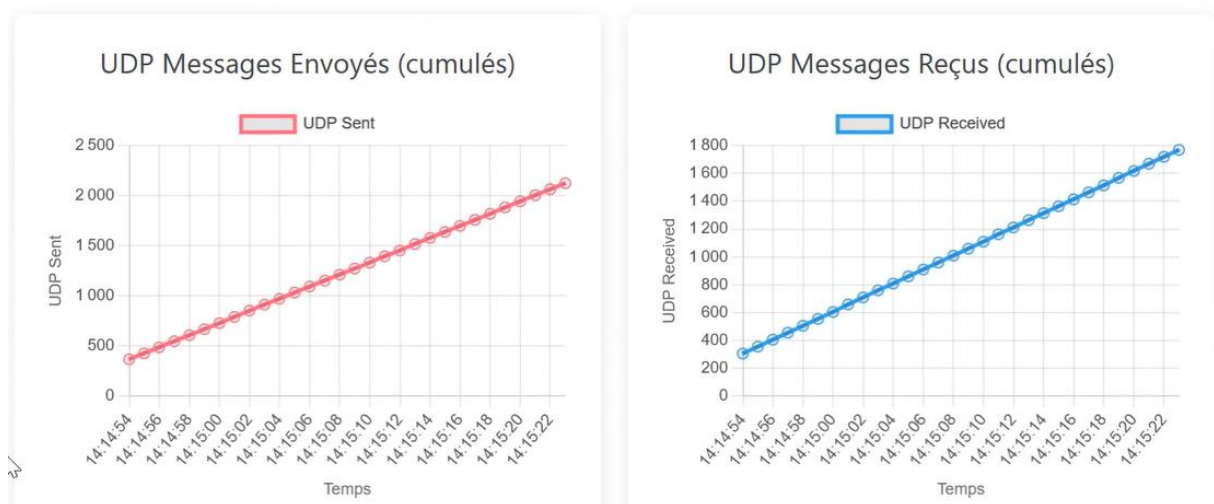


Figure 14: Analyse des Messages UDP , Émission et Réception Cumulées

À gauche, le graphique "UDP Messages Envoyés (cumulés)" montre une progression linéaire du nombre de paquets émis, passant d'environ 300 à plus de 2000 messages entre 14 h 14 m 54



et 14 h 15 m 22. Cette pente régulière indique que l'émetteur génère un flux constant de paquets UDP, ce qui est typique d'un test de charge réseau où l'on cherche à saturer progressivement les canaux pour en mesurer les performances.

À droite, le graphique "UDP Messages Reçus (cumulés)" révèle la quantité de paquets réellement captés par le récepteur au même intervalle. On y constate une courbe similaire mais systématiquement inférieure à celle des paquets envoyés passant d'environ 300 à 1 800, ce qui traduit une légère perte de paquets en transit. L'écart entre les deux courbes correspond directement au taux de perte de paquets, un KPI essentiel pour évaluer la fiabilité et la qualité de service du réseau : plus cet écart est faible, meilleure est la performance du réseau.

En combinant ces deux séries de données, il est possible de calculer précisément le pourcentage de paquets perdus, d'identifier les moments où la perte s'accroît (pics d'écart), et d'en déduire des actions correctives (ajustement de la configuration radio, optimisation des files d'attente, renforcement de la QoS). Ainsi, ces graphiques constituent un outil clé pour la surveillance en temps réel et l'optimisation continue des performances dans le cadre de tests 5G.

Les deux graphiques fournissent une vue détaillée des ressources consommées par le conteneur `ue_sim_0`.

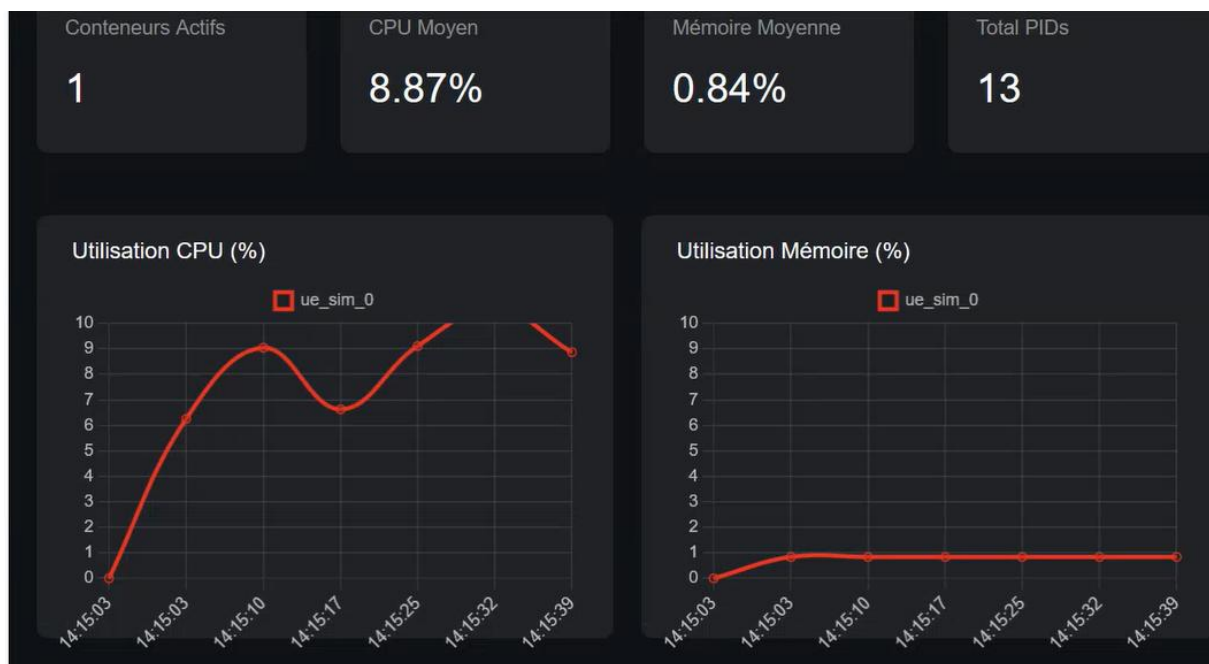


Figure 15: Surveillance des Ressources Système lors de la Simulation 5G

Le premier graphique montre l'évolution de l'utilisation du CPU (Central Processing Unit) en pourcentage, avec une montée progressive jusqu'à un pic autour de 10 %, signe d'une activité de simulation en cours. Le second graphique affiche l'utilisation de la mémoire, relativement stable, tournant autour de 1 à 2 %, ce qui indique une charge mémoire légère et constante pendant la période observée.

## 4. Utilisation d'outil spécialisé pour l'analyse des performances

Afin d'analyser les indicateurs clés de performance (KPI) de manière fiable et exploitable, j'ai eu recours à un logiciel spécialisé dans l'analyse des performances réseau. Cet outil permet notamment une visualisation cartographique, un traitement statistique précis, ainsi que l'exportation des résultats. Il offre une vue d'ensemble claire sur les zones de couverture, la stabilité des connexions, et les éventuels points de congestion du réseau.

Des captures d'écran accompagnent cette analyse pour illustrer l'utilisation concrète de cet outil et détailler le processus d'interprétation des données.

### Documentation sur Grafana

Grafana est une plateforme open source de visualisation et de surveillance des données. Elle permet de créer des tableaux de bord dynamiques à partir de différentes sources de données telles que Prometheus, InfluxDB, MySQL, ou encore des métriques issues d'un réseau 5G. Grâce à ses capacités de personnalisation et à son interface intuitive, Grafana facilite l'analyse en temps réel des performances réseau et la détection d'anomalies.

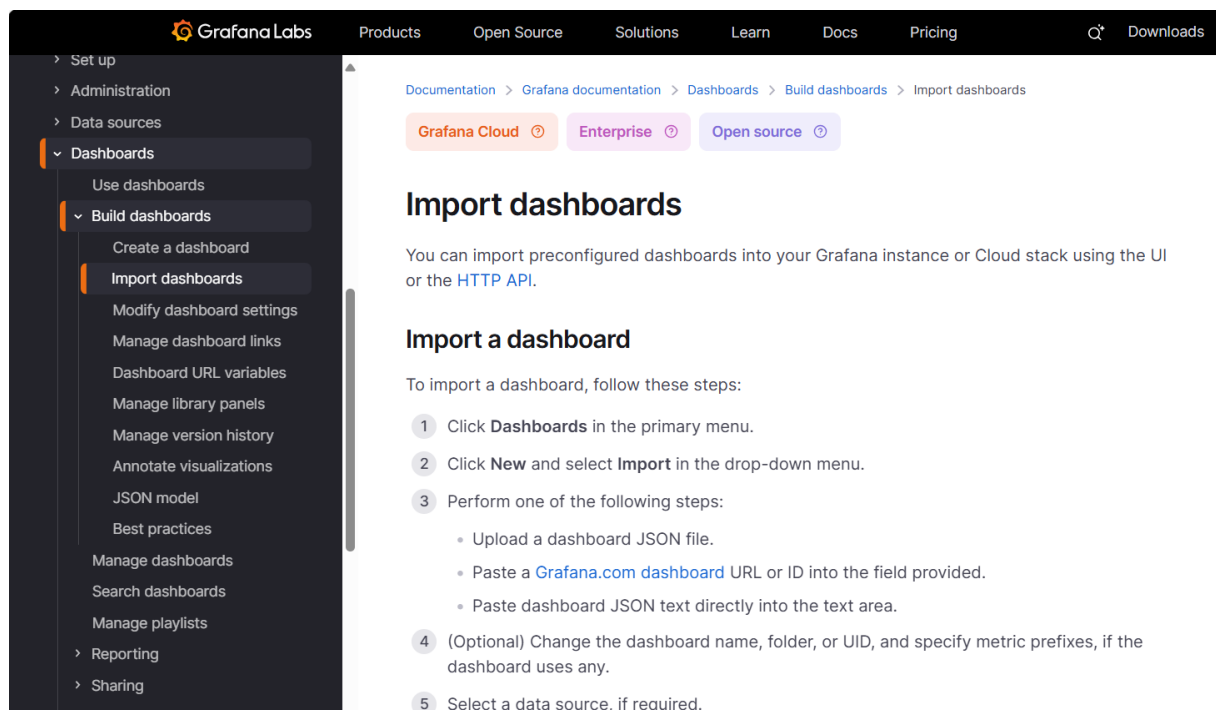


Figure 16: Documentation sur Grafana

### 4.1. Connexion ssh

Avant de me connecter au service ssh, j'ai accédé au routeur 01E1 de Future Networx via mon ordinateur portable. Cette connexion m'a permis d'accéder directement aux configurations réseau de l'entreprise, facilitant ainsi la supervision en temps réel des performances du réseau à travers le tableau de bord Grafana.



Figure 17: Connexion au wifi

Puis je vérifie la configuration pour voir les adresses avec la commande **ipconfig**

```
C:\Users\sina>IPCONFIG

Configuration IP de Windows

Carte réseau sans fil Connexion au réseau local* 3 :

    Statut du média. . . . . : Média déconnecté
    Suffixe DNS propre à la connexion. . . :

Carte réseau sans fil Connexion au réseau local* 4 :

    Statut du média. . . . . : Média déconnecté
    Suffixe DNS propre à la connexion. . . :

Carte réseau sans fil Wi-Fi :

    Suffixe DNS propre à la connexion. . . :
    Adresse IPv6 de liaison locale. . . . : fe80::9b57:358c:76e1:2e37%22
    Adresse IPv4. . . . . : 192.168.12.165
    Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.255.0
    Passerelle par défaut. . . . . : 192.168.12.1
```

Figure 18: Adressage du réseau

Je me suis authentifiée sur le compte d'Amir via le terminal, puis j'ai exécuté la commande **ls** pour lister le contenu du répertoire courant.

```
C:\Users\sina>ssh ismael@192.168.12.153|
```

```
ismael@futurenetworx:~$ ls
docker_open5gs  exe.linux-x86_64-3.10  FNX_5GC_management.zip  snap
ismael@futurenetworx:~$ cd docker_open5gs/
```

## 4.2. Les conteneurs Docker

La capture d'écran montre une liste de conteneurs Docker liés à l'environnement Open5GS, un core réseau 5G open source. On y voit les différents composants réseau virtualisés comme l'AMF, le SMF, le UPF, le PCF, le UDM, etc., chacun correspondant à une fonction réseau spécifique définie dans l'architecture 5G. Tous ces conteneurs ont le statut Exited (255), ce qui signifie qu'ils se sont arrêtés avec une erreur d'exécution, probablement peu après leur démarrage. Cela indique qu'il y a un problème de configuration, d'environnement ou de dépendance qui empêche leur bon fonctionnement.

```
ismael@futurenetworkx:~$ cd docker_open5gs/
ismael@futurenetworkx:~/docker_open5gs$ docker ps -a
```

CONTAINER ID	IMAGE	COMMAND	CREATED	STATUS	PORTS
da4cd3fc0f39	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	0.0.0.0:2152->2152/udp, :::2152->2152/udp, 8805/udp, 9091/tcp
bb38121e1438	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	2123/udp, 3868/sctp, 3868/tcp, 3868/udp, 5868/tcp, 5868/udp,
7777/tcp, 8805/udp, 5868/sctp,					9091/tcp
fc83cbf8cbcd	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp, 9091/tcp, 0.0.0.0:38412->38412/sctp, :::38412->38412/sctp
12/sctp					
b9be1bf191fb	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
983d99da48b1	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
61d1dff400b7	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
fbfed3712397	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp, 9091/tcp
6643547be05a	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	0.0.0.0:9999->9999/tcp, :::9999->9999/tcp
5e4ea2015f9c	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
d249ac506381	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
a33c5c8b2e85	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
5d9db77ff26d	docker_metrics	"/bin/sh -c /mnt/met_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	0.0.0.0:9090->9090/tcp, :::9090->9090/tcp
4ee93ff03296	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	7777/tcp
6b4b723e8666	mongo:6.0	"docker-entrypoint.s_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	27017/tcp, 27017/udp
7879c576457b	docker_grafana	"/bin/sh -c /mnt/gra_..."	7 days ago	Exited (255) 4 days ago	0.0.0.0:3000->3000/tcp, :::3000->3000/tcp

Figure 19: Liste de conteneurs Docker

## 4.3. Démarrage

Et après avoir su le problème, j'ai démarré les services Docker avec la commande **sudo docker-compose -f .....start**

```
ismael@futurenetworkx:~/docker_open5gs$ sudo docker-compose -f sa-deploy.yaml start
[sudo] password for ismael:
WARN[0000] /home/ismael/docker_open5gs/sa-deploy.yaml: the attribute 'version' is obsolete, it will be ignored, please remove it to avoid potential confusion
[*] Running 15/15
✓ Container mongo Started 1.6s
✓ Container metrics Started 1.4s
✓ Container scp Started 2.1s
✓ Container grafana Started 1.6s
✓ Container nrf Started 2.0s
✓ Container webui Started 2.4s
✓ Container udr Started 1.6s
✓ Container pcf Started 1.7s
✓ Container nssf Started 1.9s
✓ Container udm Started 2.0s
✓ Container bsf Started 2.0s
✓ Container ausf Started 1.9s
✓ Container amf Started 0.4s
✓ Container smf Started 0.3s
✓ Container upf Started 0.3s
```

Après l'exécution de la commande **sudo docker-compose -f sa-deploy.yaml start**, tous les conteneurs définis dans le fichier **sa-deploy.yaml** ont été démarrés avec succès, comme le confirment les messages « Started » pour chacun d'eux. On y retrouve les fonctions critiques du cœur 5G telles que l'AMF (gestion de la mobilité et de l'accès), le SMF (gestion des sessions), le UPF (plan utilisateur), ainsi que des fonctions de support comme le NRF, l'UDM, le PCF et le BSF. D'autres conteneurs comme MongoDB (base de données), Grafana

(visualisation) et Metrics (suivi des performances) complètent l'environnement. Un avertissement indique que l'attribut version dans le fichier YAML est obsolète, mais cela n'a pas empêché le démarrage. Cet ensemble montre que l'environnement Open5GS qui est une implémentation open source du cœur de réseau 5G, est correctement déployé, prêt pour l'exécution de scénarios de test ou la surveillance des KPI réseau.

## 5. Accès à l'outil Grafana

### 5.1. Identification du port et de l'adresse d'écoute de Grafana

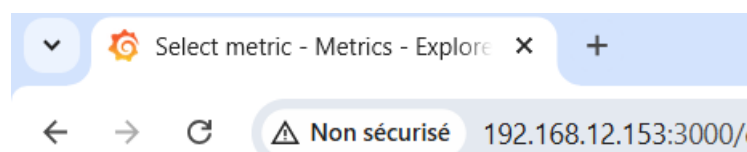
Le service Grafana est configuré pour écouter sur le port TCP 3000 et est associé à l'adresse IP statique 192.168.12.153, qui appartient au sous-réseau local 192.168.12.0/24.

```
ismael@futurenetworkx:~/docker_open5gs$ docker ps -a
```

CONTAINER ID	IMAGE	COMMAND NAMES	CREATED	STATUS	PORTS
da4cd3fc0f39	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 9 seconds	0.0.0.0:2152->2152/udp, :::2152->2152/udp, 8805/udp, 9091/tcp
bb30121e1438	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 10 seconds	2123/udp, 3868/sctp, 3868/tcp, 3868/udp, 5868/tcp, 5868/udp, 7777/tcp,
8805/udp, 5868/sctp, 9091/tcp	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 10 seconds	7777/tcp, 9091/tcp, 0.0.0.0:38412->38412/sctp, :::38412->38412/sctp
fc83cbf0cbcd	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 12 seconds	7777/tcp
b9be1bf191fb	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 12 seconds	7777/tcp
903d99da48b1	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 12 seconds	7777/tcp
61dddf400b7	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 11 seconds	7777/tcp
fbfed3712397	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 12 seconds	7777/tcp, 9091/tcp
6643547be05a	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 12 seconds	0.0.0.0:9999->9999/tcp, :::9999->9999/tcp
5e4ea2015f9c	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 11 seconds	7777/tcp
d249ac506381	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 11 seconds	7777/tcp
a33c5c8b2e85	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 13 seconds	7777/tcp
5d9db77ff26d	docker_metrics	"/bin/sh -c /mnt/met..."	7 days ago	Up 14 seconds	0.0.0.0:9090->9090/tcp, :::9090->9090/tcp
4ee93ff03296	docker_open5gs	"/bin/sh -c /open5gs..."	7 days ago	Up 13 seconds	7777/tcp
6b4b723e8666	mongo:6.0	"docker-entrypoint.s..."	7 days ago	Up 14 seconds	27017/tcp, 27017/udp
7079c576457b	docker_grafana	"/bin/sh -c /mnt/gra..."	7 days ago	Up 14 seconds	0.0.0.0:3000->3000/tcp, :::3000->3000/tcp

Figure 20: Capture d'écran montrant Grafana accessible via l'adresse IP 192.168.12.153 sur le port 3000, conformément à la configuration réseau.

### 5.2. Connexion à l'outil grafana avec son adresse et port



### 5.3. Création d'un user et un mot de passe pour accéder au compte dans Grafana.

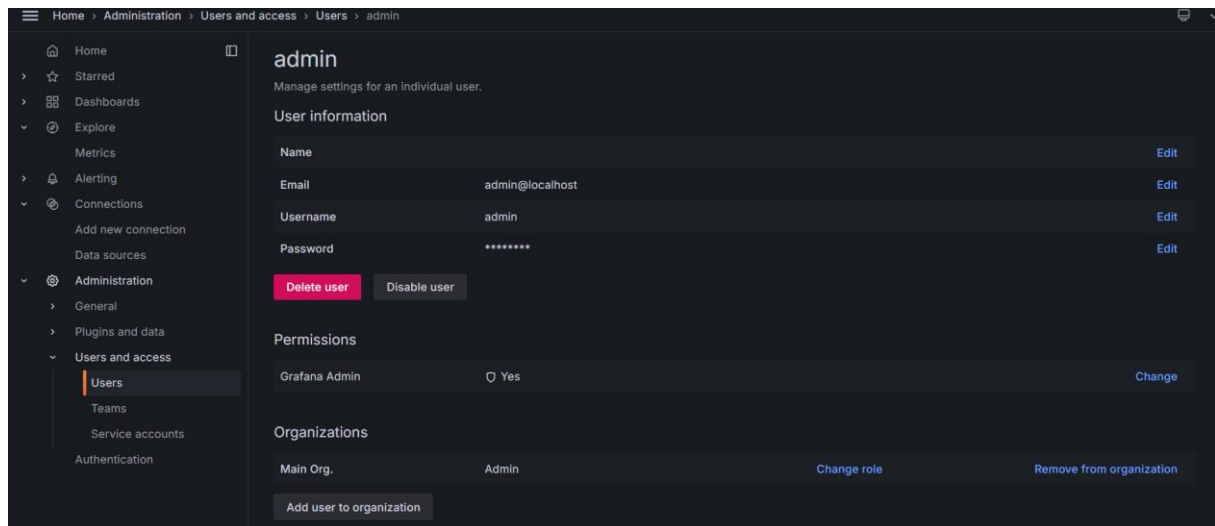


Figure 21: Configuration des identifiants d'accès dans Grafana

## 5.4. Graphique illustrant les données collectées

Après ma connexion sur Grafana pour récupérer les données (KPI) voici le captures que j'ai relevés

### 5.4.1. CPU ET FICHIERS OUVERTS

Le premier graphique représente la métrique `processus_cpu_secondes_total`, qui indique le temps total pendant lequel un processus a utilisé le processeur (CPU), exprimé en secondes. L'axe horizontal correspond au temps, ici étalé du 7 au 9 mai, et l'axe vertical montre les valeurs d'utilisation CPU, très faibles (autour de 0.002 à 0.004). Ce type de graphique permet de suivre l'activité du processus : plus les pics sont fréquents et élevés, plus le processus sollicite le CPU. Dans le cas présent, on observe une utilisation régulière mais faible du CPU, ce qui est généralement bon signe pour un service qui tourne sans surcharge.

Le second graphique affiche la métrique `processus_ouvert_fds`, qui mesure le nombre de descripteurs de fichiers ouverts par un processus. Ces descripteurs peuvent être des fichiers, des connexions réseau, ou d'autres ressources systèmes. L'axe horizontal montre également l'évolution sur plusieurs jours, tandis que l'axe vertical varie légèrement autour de 21.5 à 21.7. Ces petites fluctuations indiquent que le processus ouvre et ferme régulièrement des ressources, ce qui est un comportement normal. Si cette valeur augmentait constamment sans jamais redescendre, cela pourrait signaler une fuite de ressources. Ici, le graphique suggère que le service gère correctement ses ressources système.

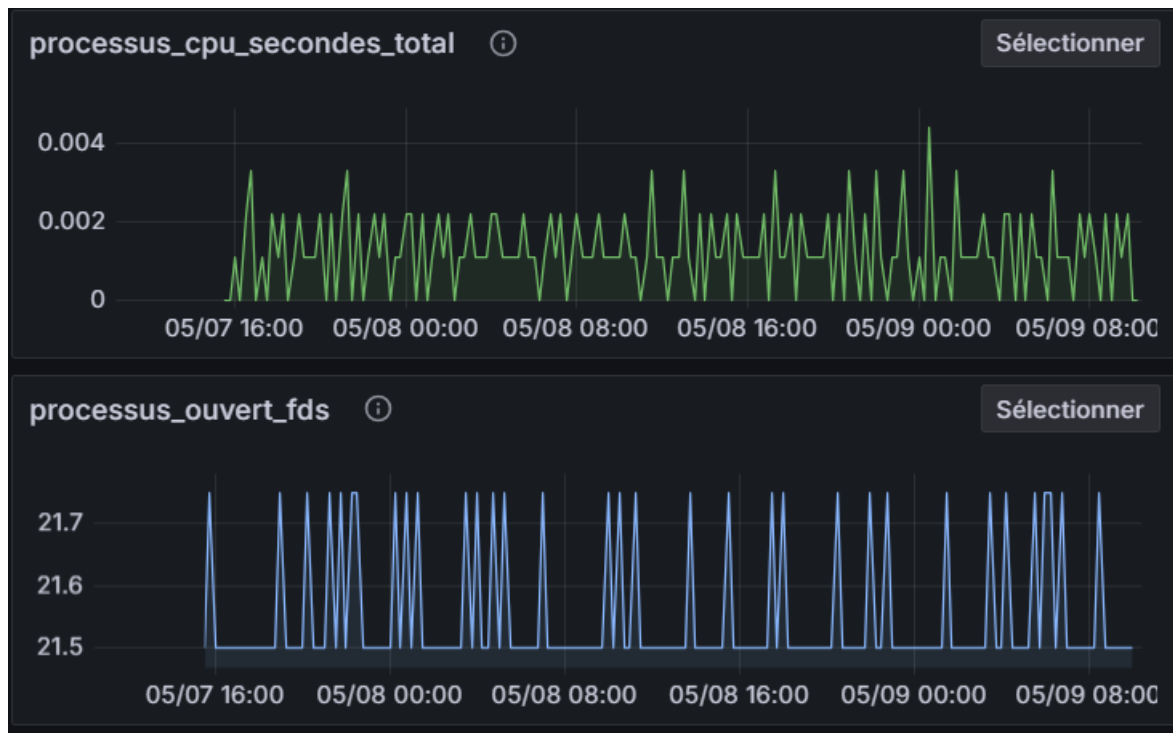


Figure 22: CPU / FDS

#### 5.4.2. AMF

Dans cette première image, l'interface affiche quatre graphiques correspondant aux métriques suivantes : fivegs\_amffunction\_amf\_authreject, fivegs\_amffunction\_amf\_authreq, fivegs\_amffunction\_mm\_confupdate et fivegs\_amffunction\_mm\_confupdatesucc. Ces métriques permettent respectivement de suivre : le nombre de rejets d'authentification, le nombre de demandes d'authentification, les mises à jour de configuration de gestion de mobilité, et les mises à jour réussies, la période d'analyse couvre deux heures.

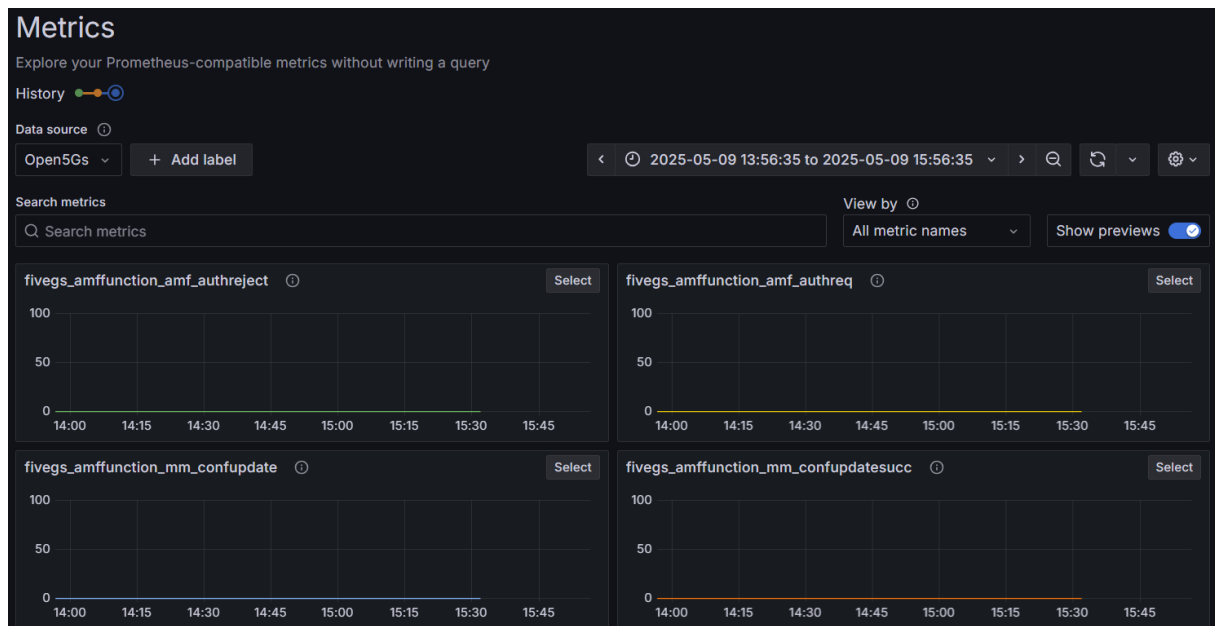


Figure 23: Les KPI concernant l'AMF

Cette image présente une requête portant sur la métrique `amf_session`, qui reflète l'état ou l'évolution des sessions de mobilité gérées par l'AMF. Les statistiques en bas de l'écran montrent que la requête a retourné 242 lignes de données en 73 millisecondes. Cela indique que la métrique existe bien en base, que des données sont collectées, mais qu'elles peuvent être nulles ou non représentatives dans la plage horaire sélectionnée.

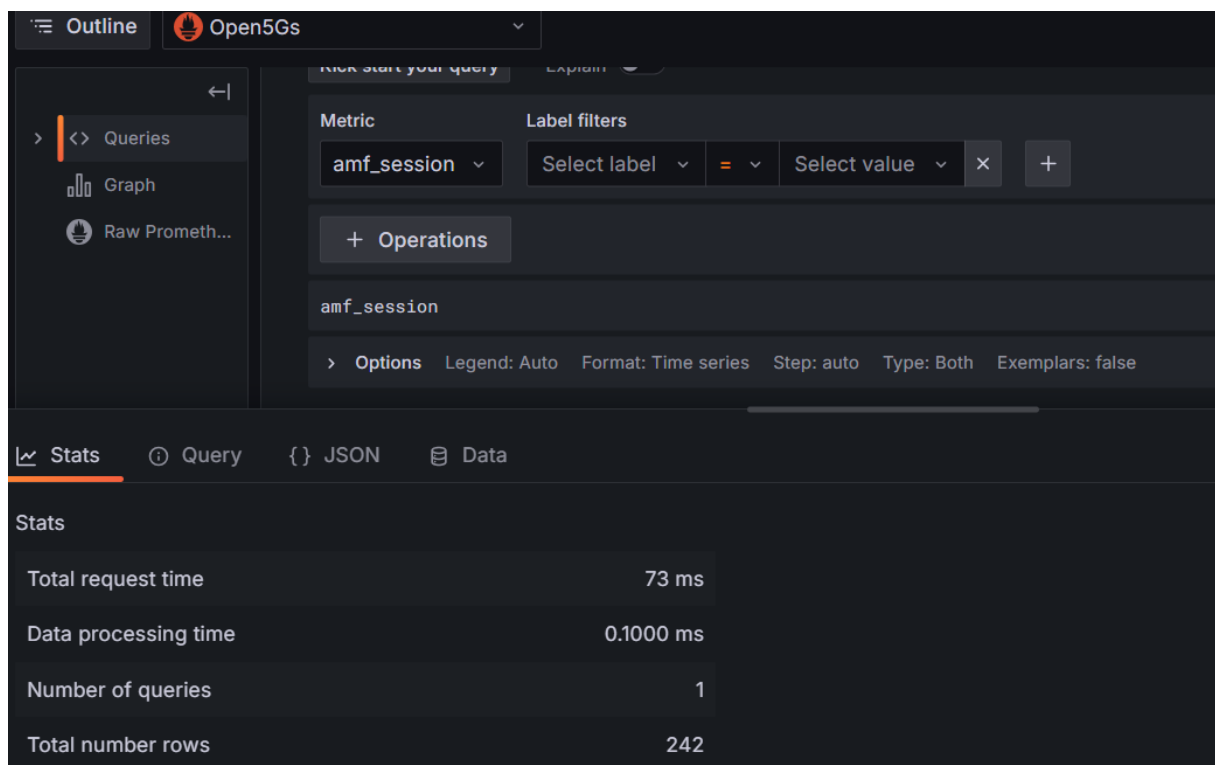


Figure 24: AMF session



Cette capture d'image concerne la métrique `fivegs_amffunction_amf_authreject`, déjà présente dans la première image, mais analysée de façon isolée. Cette fois, la requête a retourné 484 lignes en 140 millisecondes, réparties sur deux séries probablement deux labels ou instances différentes. Cela confirme que la donnée est bien collectée, mais qu'aucune authentification n'a été rejetée sur cette période, comme le montre la ligne plate sur le graphique.

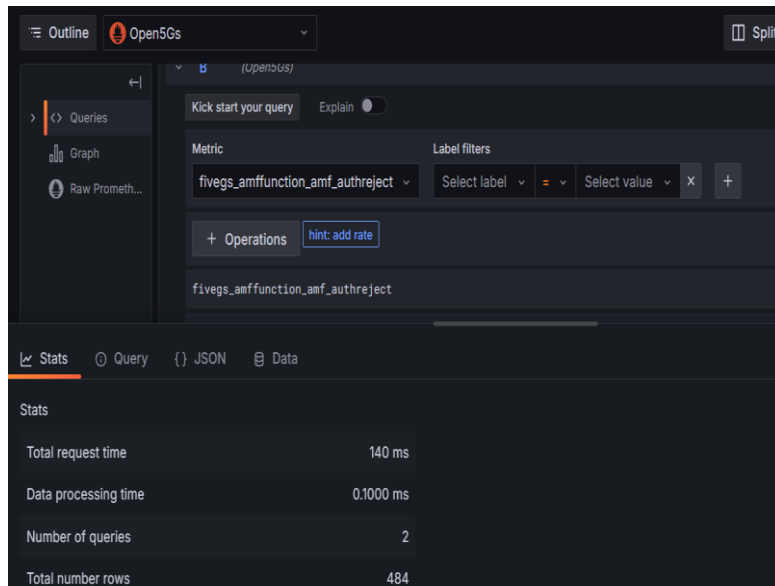


Figure 25: `fivegs_amffunction_amf_authreject`,

L'intérêt de la métrique `amf_session` est essentiel dans la surveillance du réseau 5G. Elle permet d'observer le comportement des sessions d'accès et de mobilité, comme leur création, durée, ou nombre total à un moment donné. Cela aide à détecter d'éventuelles anomalies, telles que des pics de sessions inattendus, des pertes de connexions, ou un comportement inhabituel du composant AMF. En somme, ces différentes métriques sont cruciales pour assurer la qualité de service, l'équilibrage de charge et la fiabilité du réseau 5G.

### 5.4.3. SMF

Ces graphiques affichent l'évolution de trois métriques critiques liées à l'interface N4, qui permet au Session Management Function (SMF) de dialoguer avec le User Plane Function (UPF). Plus précisément, ces métriques permettent de suivre l'établissement et le suivi des tunnels de données utilisateur, qui sont au cœur du trafic data dans une architecture 5G.

La première métrique affichée, `fivegs_smffunction_sm_n4sessionestabreq`, correspond au nombre de requêtes d'établissement de session envoyées par le SMF vers le UPF. Cela intervient chaque fois qu'un nouvel utilisateur initie une session de données, et que le SMF doit mettre en place le tunnel entre l'UE et le réseau. La deuxième métrique, `fivegs_smffunction_sm_n4sessionreport`, reflète le nombre de rapports de session reçus en retour par le SMF. Ces rapports peuvent signaler un changement de statut de session, un événement de fin de session, ou une alerte de QoS. Enfin, la dernière métrique,

`fivegs_smffunction_sm_n4sessionreportsucc`, indique le nombre de rapports de session traités avec succès, attestant d'une bonne communication entre le plan de contrôle (SMF) et le plan utilisateur (UPF).

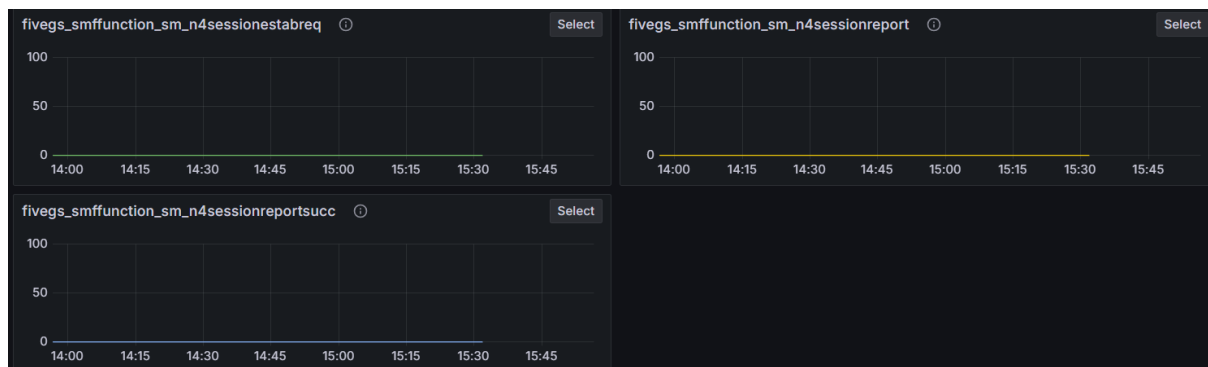


Figure 26: Les KPI concernant SMF

Ce graphique fournit des détails d'une requête Prometheus exécutée spécifiquement sur la métrique `fivegs_smffunction_sm_n4sessionestabreq`. Malgré l'absence de trafic visible dans les graphiques, cette requête retourne 484 lignes de données en 82 millisecondes, réparties sur deux requêtes internes. Cela indique que la série temporelle existe bel et bien, qu'elle est alimentée régulièrement et le système collecte donc correctement les métriques.

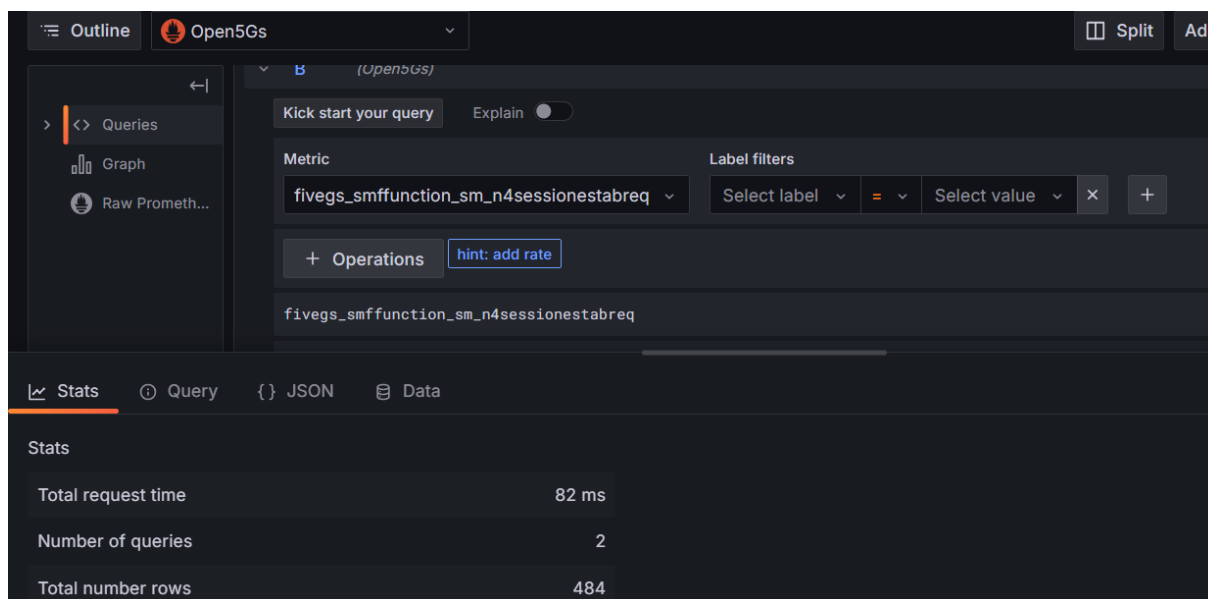


Figure 27: `fivegs_smffunction_sm_n4sessionestabreq`

En résumé, les données confirment que le pipeline de surveillance entre Open5GS, Prometheus et Grafana fonctionne correctement.

#### 5.4.4. UES ACTIVES

Ce graphique présente la métrique `ues_active`, qui indique le nombre d'UEs (User Equipments) actuellement actifs dans le réseau. Ce type de métrique est essentiel pour mesurer le trafic utilisateur réel sur l'infrastructure 5G. On observe ici une courbe plate à zéro sur tout l'intervalle de temps, ce qui signifie qu'aucun UE n'était connecté ou en session active au moment de la collecte. L'instance observée correspond à une IP locale (172.22.0.7:9091), identifiée comme un job de type `smf`. Cela confirme que la requête est bien émise depuis le module de gestion des sessions du réseau, mais que celui-ci reste inactif.

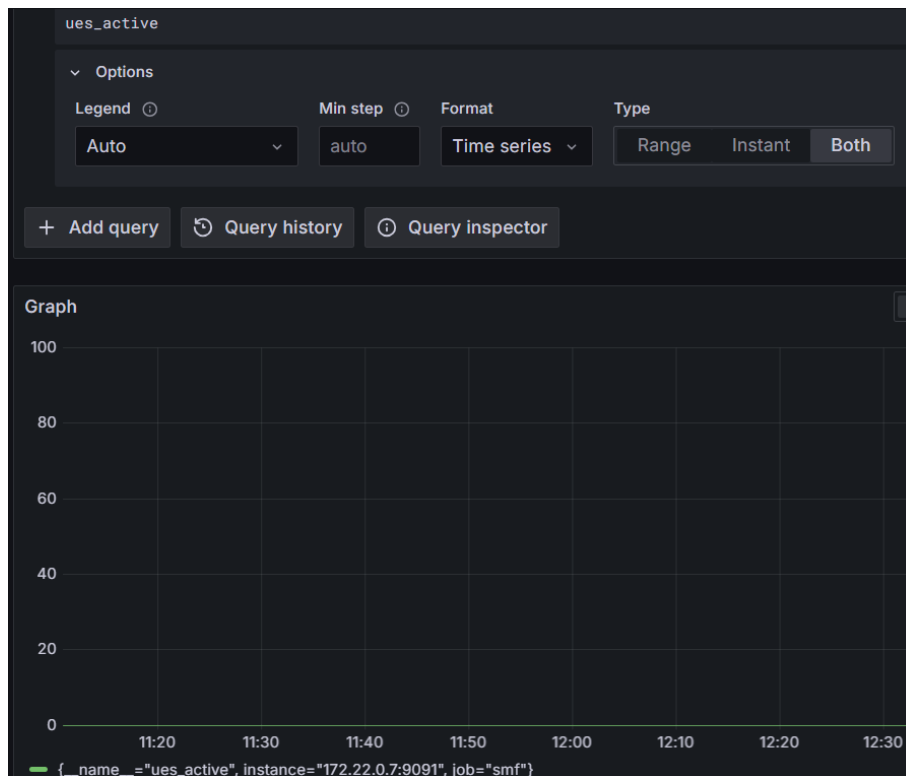


Figure 28: User Equipement

### 5.4.5. UPF

Cette image montre un graphique lié à l'interface N4 entre l'UPF et le SMF : `fivengs_upffunction_sm_n4sessionestabreq` (requêtes d'établissement de sessions N4). Cette métrique permet de vérifier si le plan utilisateur (UPF) reçoit bien les instructions du SMF pour établir des tunnels de données, et s'il envoie en retour les confirmations attendues. Cette fois, on remarque une légère activité (quelques pics visibles dans la courbe), ce qui indique qu'au moins une requête d'établissement de session a été générée à un moment précis, probablement lors d'un test ponctuel ou d'un script automatisé.

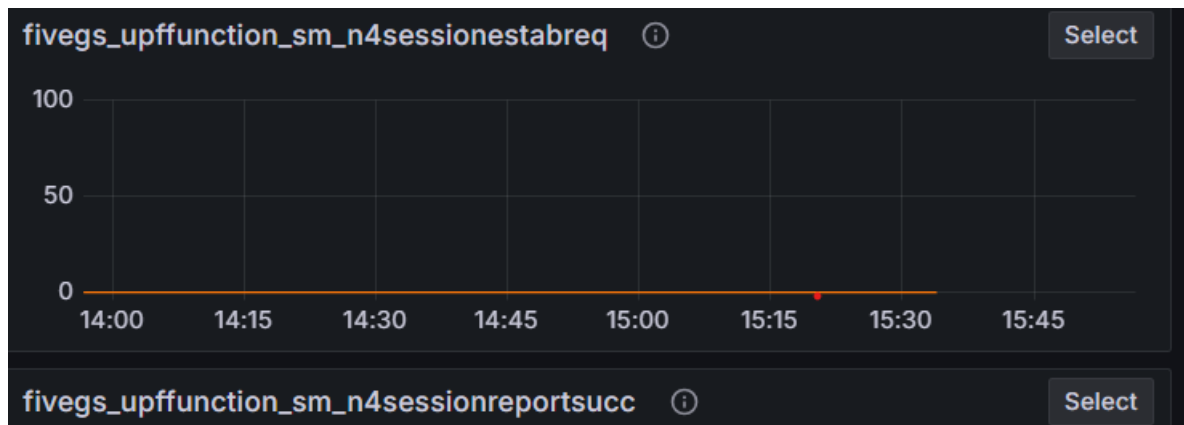


Figure 29: `fivegs_upffunction_sm_n4sessionestabreq`

Cette deuxième capture donne les détails de la requête exécutée sur la métrique `fivegs_upffunction_sm_n4sessionestabreq`. Le système a traité une seule requête Prometheus, retournant 242 lignes en seulement 68 ms. Cela confirme que les données sont collectées correctement et que l'infrastructure de supervision fonctionne efficacement, bien que l'activité observée reste très limitée dans le temps.

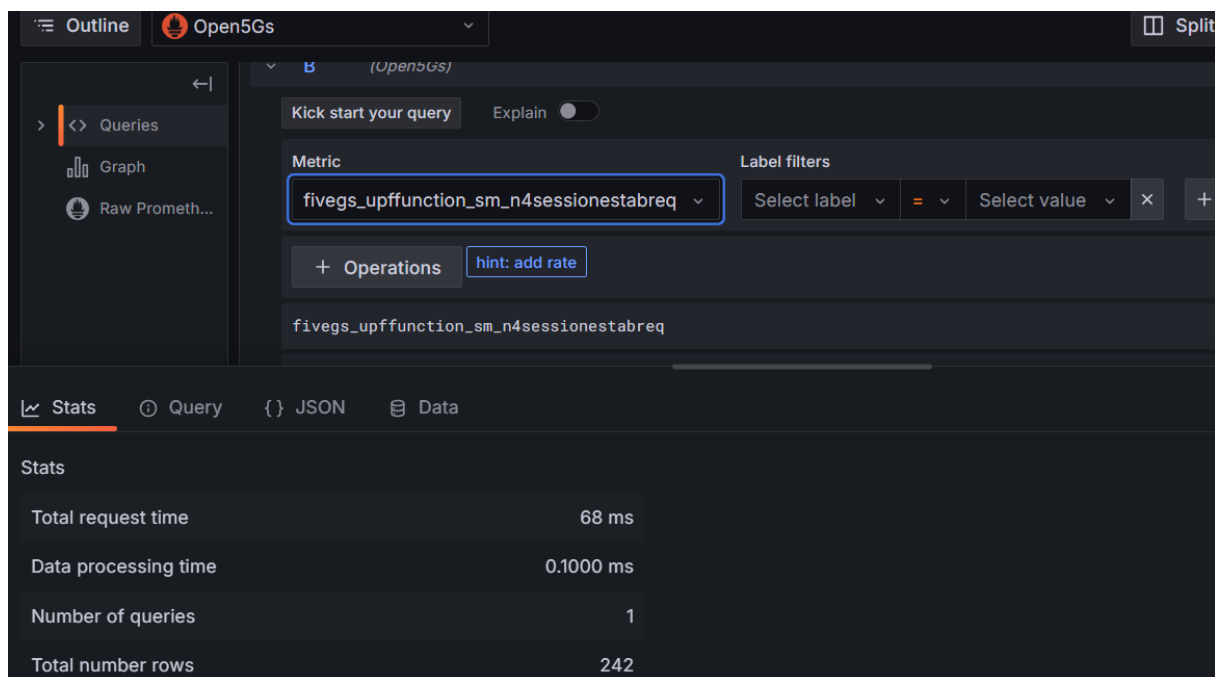


Figure 30: requête exécutée sur `fivegs_upffunction_sm_n4sessionestabreq`

#### 5.4.6. GNB

L'image suivante montre une requête sur la métrique `gnb`, qui permet de surveiller les données relatives à la station de base 5G (gNodeB). Cette requête retourne 484 lignes sur deux sous-requêtes en seulement 64 ms. Cela suggère que les métriques liées au gNB sont également bien

exposées par l'exporter Prometheus, mais comme pour les autres composants, le trafic réseau généré reste minime.

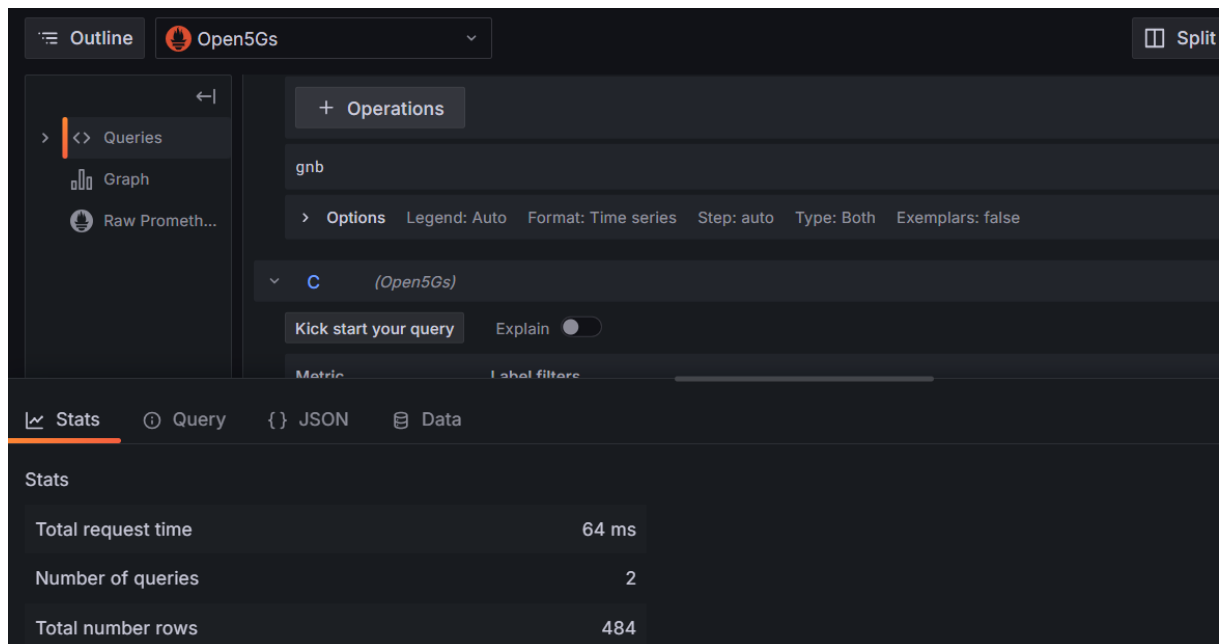


Figure 31: GNB

#### 5.4.7. SCRAPES

Dans cette image, on observe plusieurs métriques directement liées aux performances de Prometheus lors des opérations de *scraping*, c'est-à-dire la collecte périodique des données depuis les cibles surveillées, comme Open5GS. La métrique `scrape_duration_seconds` indique une durée stable d'environ 615 millisecondes pour interroger chaque cible, ce qui reste tout à fait raisonnable. Les métriques `scrape_samples_scraped` et `scrape_samples_post_metric_relabeling` renseignent respectivement sur le nombre d'échantillons collectés avant et après le relabeling des métriques. Elles tournent autour d'une quinzaine d'échantillons, ce qui est typique d'un environnement peu chargé ou avec peu de services actifs. Enfin, la présence ponctuelle de valeurs dans `scrape_series_added` suggère qu'une nouvelle série de métriques a été brièvement ajoutée, probablement à la suite de l'apparition temporaire d'un nouveau pod, processus ou UE (User Equipment).

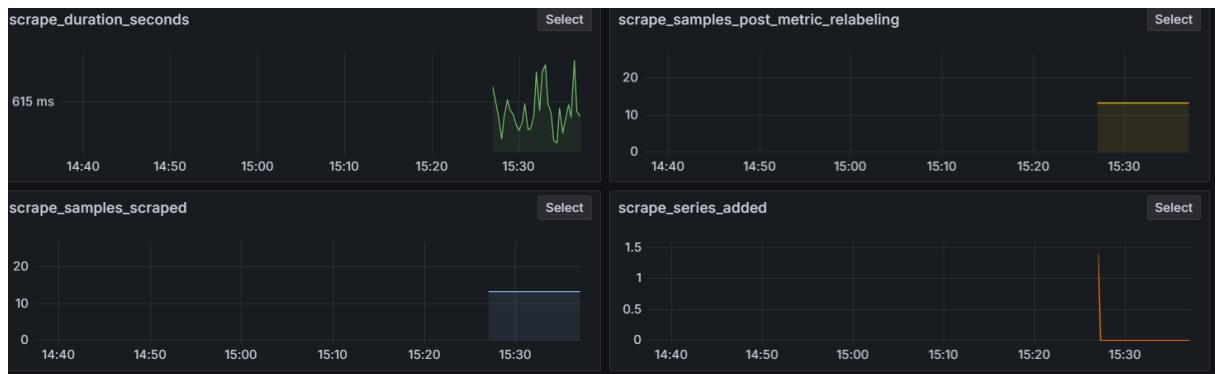


Figure 32: Scrapes

La seconde image propose un zoom sur l'évolution de la métrique `scrape_duration_seconds`, renommée ici en français `durée_de_grattage_secondes`, sur plusieurs jours (du 7 au 9 mai). On y voit une variabilité normale entre 610 ms et 620 ms, sans pics extrêmes. Cela montre une stabilité remarquable du système de supervision dans le temps. Il n'y a pas de surcharge détectée, ce qui confirme que le serveur Prometheus peut gérer les cibles actuellement surveillées sans difficulté.



Figure 33: `scrape_duration_seconds`

La métrique affichée sur cette capture est `process_start_time_seconds`, qui indique l'instant de démarrage du processus surveillé, exprimé en secondes depuis l'époque Unix (timestamp). Sur un graphique Grafana, cette valeur est généralement constante et représente un repère temporel fixe correspondant au lancement de l'application supervisée.

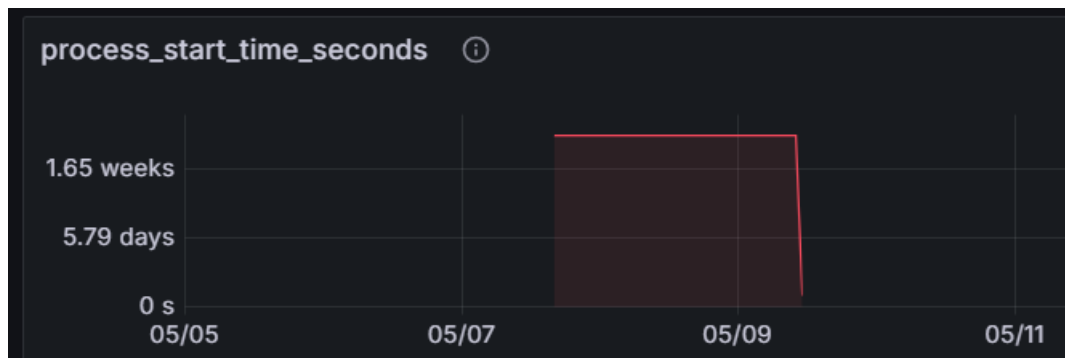


Figure 34: process\_start\_time\_seconds

Le graphique montre une ligne horizontale stable entre le 7 mai et le 9 mai, ce qui signifie que le processus surveillé est resté en fonctionnement continu pendant environ 2 à 3 jours. La valeur était constante — ce qui est normal pour cette métrique — jusqu'à une chute brutale le 9 mai.

Cette chute indique que le processus a été redémarré ou relancé à cette date précise. En effet, lorsque le processus est redémarré, la valeur de process\_start\_time\_seconds est réinitialisée avec le nouveau timestamp de lancement, ce qui provoque une discontinuité dans le graphique.

Cette image se concentre sur la métrique bearers\_active, qui reflète le nombre de tunnels de données (bearers) actifs dans le cœur 5G. Ces bearers sont les canaux logiques utilisés pour transporter les données entre l'UE (User Equipment) et le réseau via le plan utilisateur (UPF). La requête exécutée renvoie un total de 242 lignes en une seule interrogation, avec un temps de réponse rapide de 86 ms et un temps de traitement de 0,1 ms. Cela prouve que la métrique est bien disponible et que le service Prometheus fonctionne efficacement.

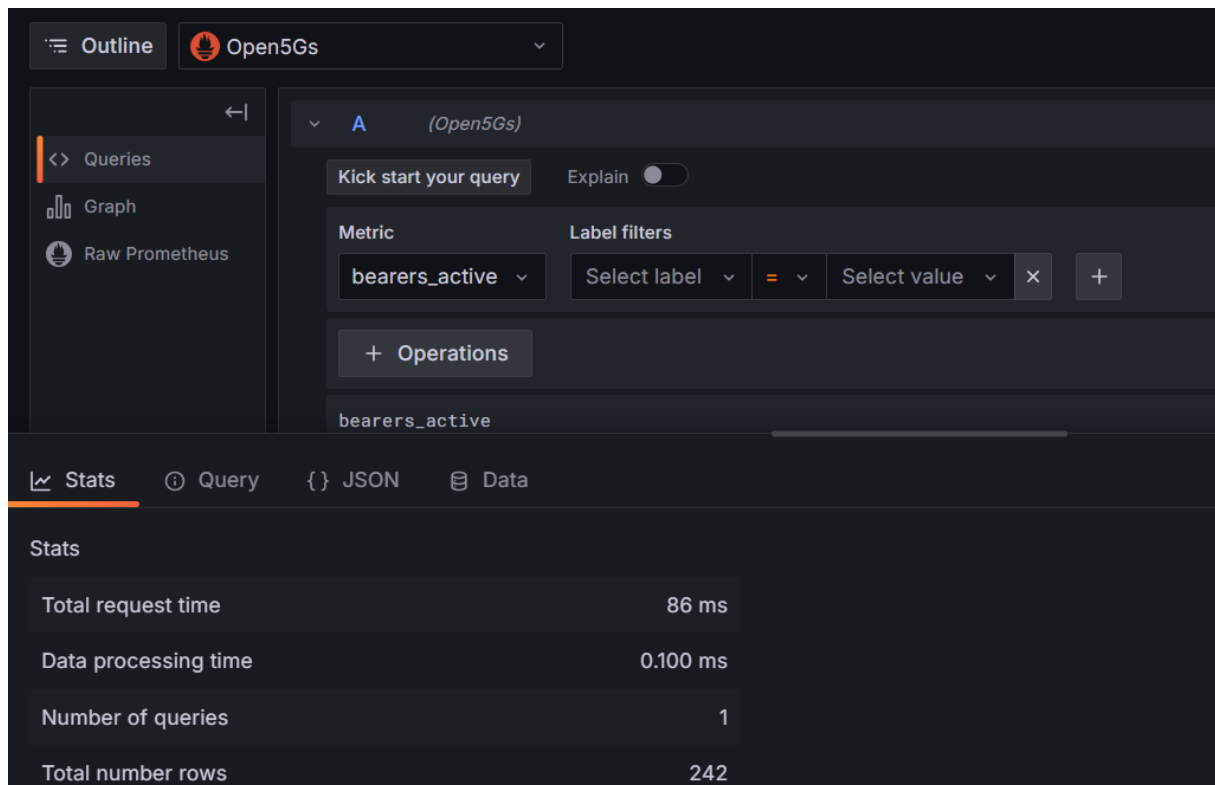


Figure 35: *bearers\_active*

🔔 Dans le cadre de mon stage, j'ai réalisé une analyse détaillée des indicateurs clés de performance (KPI) du cœur de réseau 5G, en utilisant l'outil de supervision Prometheus couplé à Grafana sur la plateforme Open5GS. J'ai pu observer des métriques essentielles telles que `amf_authreq`, `n4sessionestabreq`, `ues_active`, `bearers_active`, ainsi que des indicateurs système comme `process_open_fds` ou `process_resident_memory_bytes`. Ces données ont permis d'évaluer à la fois la stabilité de l'infrastructure et le comportement du réseau dans un environnement contrôlé.

L'analyse a révélé un système stable, sans surcharge ni erreurs critiques. Toutefois, la faible activité naturelle du réseau m'a permis de constater que, sans trafic réel ou simulation, la plupart des courbes restaient nulles ou constantes. Ce constat a mis en évidence la nécessité d'introduire des événements contrôlés pour pousser l'analyse plus loin.



## Conclusion

L'étude approfondie réalisée au sein de Future Networx sur les réseaux 5G et leurs indicateurs clés de performance (KPI) met en lumière la complexité et l'importance cruciale de cette nouvelle génération de communication mobile dans le paysage technologique actuel et futur. La 5G ne se limite pas à une simple amélioration des débits ou à une réduction de la latence : elle constitue un véritable écosystème destiné à révolutionner la connectivité, avec des applications variées allant de l'Internet des objets aux véhicules autonomes, en passant par la télémédecine et l'industrie 4.0.

À travers l'analyse des infrastructures, des protocoles, et notamment des KPI tels que la latence, le débit, la qualité du signal et la gestion des ressources radio, ce travail a permis de mieux comprendre les défis techniques que pose le déploiement et l'exploitation d'un réseau 5G. La prise en compte rigoureuse de ces indicateurs est essentielle pour garantir une qualité de service optimale (QoS) et une expérience utilisateur satisfaisante (QoE), tout en assurant l'efficacité et la résilience des infrastructures.

La standardisation menée par le 3GPP joue un rôle fondamental dans l'harmonisation des technologies et des méthodes d'évaluation, offrant un cadre robuste pour le développement et la mise en œuvre des solutions 5G. L'étude du découpage réseau (network slicing), des protocoles avancés, et des mécanismes de gestion du spectre a démontré l'importance d'une architecture flexible et évolutive, capable de s'adapter aux besoins spécifiques des différents services et applications.

Cependant, les défis restent nombreux. L'optimisation des performances face aux contraintes techniques, la sécurisation des échanges, la compatibilité avec les infrastructures existantes, ainsi que les enjeux environnementaux liés à la densification des antennes et à la consommation énergétique, constituent autant de pistes nécessitant des recherches et des innovations constantes.

Mon expérience au sein de Future Networx, notamment dans la collecte et l'analyse des KPI, m'a permis d'appréhender concrètement ces enjeux tout en contribuant activement à l'optimisation des réseaux. La mise en place d'outils adaptés pour le suivi en temps réel, combinée à l'intégration progressive des données dans des modèles d'intelligence artificielle, ouvre de nouvelles perspectives pour une gestion proactive et intelligente des réseaux 5G.

En somme, la 5G représente une avancée technologique majeure, mais son succès dépendra de la capacité des acteurs à maîtriser ses aspects techniques complexes et à anticiper les besoins futurs. Ce rapport souligne ainsi l'importance d'une démarche rigoureuse, combinant théorie,

expérimentation et innovation, pour accompagner cette transition vers un monde toujours plus connecté et performant.

## **ANNEXE**

### **Table des illustrations**

## **Bibliographie**

[5G KPIs: Key Performance Indicators Explained | RF Wireless World](#)

[TS 128 554 - V16.7.0 - 5G; Management and orchestration; 5G end to end Key Performance Indicators \(KPI\) \(3GPP TS 28.554 version 16.7.0 Release 16\)](#)

[Specification # 38.331](#)

[Specification # 38.300](#)

[La 5G, introduction et présentation générale des concepts techniques - DigitalCorner](#)

[https://amusement.ovh/avantages-defis-docker-deployer-applications-web/?](https://amusement.ovh/avantages-defis-docker-deployer-applications-web/)

## **Glossaire**

KPI : ( Key Performance Indicator)

QoS : (Quality of service)

NR : (New Radio)

QoE : (Quality of experience)

UE : User Equipement

CPU : Central Processing Unitq

GNB :

IMS :

## **Lexique**

5G : 5<sup>e</sup> génération des réseaux mobiles, offrant des débits très élevés, une latence réduite et un support pour l'IoT massif.

NR (New Radio) : Norme radio de la 5G définie par la 3GPP, utilisée pour remplacer les technologies LTE dans les réseaux mobiles.

Slicing réseau : Fonctionnalité de la 5G permettant de créer plusieurs réseaux virtuels indépendants sur une même infrastructure physique.

KPI (Key Performance Indicator) : Indicateurs clés utilisés pour mesurer la performance du réseau (débit, latence, disponibilité, etc.).

Open RAN : Architecture ouverte et interopérable pour les réseaux radio d'accès, permettant d'utiliser des équipements de différents fournisseurs.

IPMS (IP Multimedia Subsystem) : Architecture de base pour les services multimédias sur réseau IP. Elle permet l'intégration de voix, vidéo, données, messagerie et plus encore, dans des réseaux mobiles (comme la 4G/5G). C'est un élément fondamental pour les services avancés comme la VoLTE, ViLTE ou MCPTT.

MCPTT ( Mission Critical Push-To-Talk) : Service de communication voix critique sur réseau LTE ou 5G, destiné aux forces de l'ordre, pompiers, sécurité civile... C'est une version moderne du talkie-walkie, intégrée au réseau mobile, avec des fonctions prioritaires, de sécurité et de groupe.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) : Organisme international de normalisation qui définit les standards des technologies mobiles (3G, 4G, 5G, et au-delà). Il regroupe plusieurs entités de standardisation (comme ETSI en Europe) et publie des "releases" techniques qui encadrent l'évolution des réseaux mobiles. Les normes définies par le 3GPP sont essentielles pour garantir l'interopérabilité entre les équipements et les opérateurs à l'échelle mondiale.

Prometheus

Jitter

Dataset

Isolation forest

Loi de distribution

# **Index**