

**Université de Gafsa**

**Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologies de Gafsa**

**Département Informatique et Télécommunication**



**Conception et modélisation d'un réseau IoT selon  
les besoins de la CPG**

Présenté et soutenu par :

**ADEM YAHYA**

En vue de l'obtention de

**Licence nationale en ingénierie des systèmes informatique**

Sous la Direction de :

**Encadreur pédagogique : Mme Nouha Alyaoui**

**Encadreur professionnel : Mr Sedki Ben Romdhane**

Soutenu le .. /06/2023

Devant le jury composé de :

**Président :**

**Rapporteur :**

**Membres :**

## **Dédicace**

Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu  
Je dédie de tout mon cœur ce modeste travail :

Mon adorable mère **Naima Manai**

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir : quoi que je fasse ou que je dise, je ne serai point que je remercier comme il se doit. Ton affectation me couvre, ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

Mon adorable père **Hedi Yahya**

L'épaule solide, l'œil attentif et compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et mon respect. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

Ma chère sœur **MAHA**

Tu es l'une des rares personnes dans ma vie qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui. Merci d'être celle sur qui je peux toujours compter. Je t'aime énormément que dieu te procure la joie, la réussite et la santé ma meilleure et dieu le vent vos anges Kenza, Sandra et Baya vous protégeront et un autre merci pour son mari Nizar.

Mon chère frère **MAHER**

Merci pour ton amour dévoué et ta tendresse pour donner du gout et du sens à ma vie. Je prie Dieu, le tout puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité avec ses anges Ilyne et Ilainee et sa femme Ikram.

Mon chère frère **AHMED**

Merci de me suivre et de m'encourager dans mes projets et dans mes rêves. Tu me fais toujours sentir que tu es derrière moi et que tu crois en moi et ton support fait une grande différence dans ma vie, je te remercie, pour l'affection dont tu m'as toujours entouré.

## **Remerciements**

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre cher professeur et encadrante **Mme. Alyaoui Nouha** pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'elle n'a cessé de prodiguer tout au long de la période du projet.

Nous tenons à remercier également notre encadrant **Mr. Ben Romdhane Sedki** pour le temps qu'il a consacré et pour les précieuses informations qu'il nous prodiguées avec intérêt et compréhension.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien accepter d'examiner et juger ce travail.

Nos remerciements vont à tout le personnel que nous avons contacté durant notre stage au sein de la société Orange Tn spécialement **Mr. Cherif Hbib** et **Mr. Abdalali Omar** auprès desquelles nous avons trouvé l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont on avait besoin.

Nous ne laisserons pas cette occasion passer sans remercier tous les enseignants et le personnel de **ISSAT Gafsa**.

Enfin, nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

**Merci**

# **Sommaire**

Dédicace .....	1
Remerciements .....	2
Sommaire .....	3
Liste des abréviations.....	6
Liste des tableaux .....	9
Liste des figures .....	10
Introduction générale .....	12
Chapitre I : Présentation du cadre du projet .....	14
1. Introduction .....	14
2. Présentation de l'organisme d'accueil .....	14
3. Services fournis par Orange Tunisie .....	15
4. Présentation du groupe Orange .....	15
5. Présentation de la CPG .....	17
6. Les besoins de la CPG .....	18
7. Conclusion .....	18
Chapitre II: Étude de l'environnement .....	19
1. Introduction .....	19
2. Présentation de L'IoT .....	19
3. Les domaines d'application de l'IoT .....	19
3.1 Fabrication .....	20
3.2 Automobile .....	20
3.3 Transport et logistique.....	20
3.4 Grande distribution.....	20
3.5 Secteur public.....	21
3.6 Santé .....	21
3.7 Sécurité générale à l'échelle de tous les secteurs d'activité .....	21
4. Technologies sans fil appliquées pour l'IoT .....	21
4.1 Technologies courte portée.....	21
a. RFID.....	22
b. NFC.....	22
c. WPANs.....	22
c.1 Bluetooth.....	22
c.2 Zigbee .....	22
4.2 Technologies WLAN .....	22
a. Wifi .....	23
b. MANET .....	23
c. VANET .....	23
4.3 Technologies cellulaires .....	23
a. GSM .....	24
b. UMTS (3G) .....	24
c. LTE (4G) .....	24

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

c.1 Généralités sur LTE .....	24
c.2 Caractéristiques de LTE.....	25
c.2 Débits et fréquences du réseau LTE .....	25
c.4 La mobilité .....	25
4.4 Technologies LPWAN .....	26
4.4.1 Technologie non cellulaire .....	26
a. SigFox.....	26
b. LORA .....	27
4.4.2 Technologie cellulaire .....	28
a. LTE-M .....	28
b. EC-GSM .....	29
c. NB-IOT .....	30
5. architecture globale de l'interface radio des réseaux mobile .....	32
5.1 Site radio.....	32
5.2 Structure du site Radio .....	32
5.3 RRU :remote radio unit .....	33
5.4 Câble fibre optique .....	33
5.5 Base Band Unit(BBU).....	33
5.6 Hauteur de l'antenne (HBA).....	33
5.7. Direction (AZIMUT).....	34
6. Types des capteurs installés de la CPG .....	34
6.1 Capteur Poids et Bascule intégratrice.....	34
6.2 Capteur d'eau .....	34
6.2.1 Un capteur de pression .....	34
6.2.2 Un capteur de niveau.....	35
6.3 Capteur de consommation d'énergie.....	35
6.3.1 Les capteurs de courant .....	35
Les capteurs de courant .....	35
6.3.2 Les capteurs de tension .....	36
6.3.3 Les capteurs de puissance : .....	36
7. Conclusion .....	36
Chapitre III : La Technologie NB-IOT .....	37
1. Introduction .....	37
2. Présentation de la technologie NB-IoT.....	37
3. Fréquence pour NB-IoT .....	37
4. Bande de fréquence pour NB-IoT .....	38
5. Configuration de NB-IoT.....	40
5.1 partie radio .....	40
5.1.1 Configuration RRU .....	40
5.1.2 Configuration BBP.....	40
5.1.3 Software : .....	41
5.2 partie core network.....	41
5.2.1 Mme .....	42
5.2.2 P-GW.....	43
5.2.3 S-GW.....	43
5.2.4 HSS: .....	44
6. Module NB-IoT .....	45

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

7. Conclusion .....	45
Chapitre IV : Simulations et discussions des résultats.....	46
1. Introduction .....	46
2. Collection des données .....	46
2.1 Visite en terrain de CPG .....	46
2.2 coordonnées GPS de la CPG : .....	47
2.3 mise en place sur la carte .....	49
2.4 Site orange : .....	52
2.4.1 Azimut des sites .....	53
3. simulation.....	54
3.1 introduction de simulation .....	54
3.2 Présentation de logiciel Atoll.....	54
3.3 Lancement de la simulation .....	55
3.3.1 configuration.....	55
3.3.2 Résultats et interprétation .....	59
3.3.3 Comparaison entre cellule NB-IoT et cellule LTE : .....	69
4. Conclusion .....	72
Conclusion Générale .....	73
Références Bibliographiques.....	74

## **Liste des abréviations**

<b>1G</b>	Première Génération
<b>2G</b>	Deuxième Génération
<b>3G</b>	Troisième Génération
<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>4G</b>	Quatrième Génération
<b>A</b>	
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone System
<b>B</b>	
<b>BBU</b>	Base Band Unit
<b>BTS</b>	Base Station Transceiver System
<b>C</b>	
<b>CA</b>	Centre d'Amplification
<b>CC</b>	Communication and Control
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>D</b>	
<b>DL</b>	Down Link
<b>E</b>	
<b>EC-GSM</b>	Enhanced Coverage GSM
<b>EnodeB</b>	Evolved NodeB
<b>E-UTRAN</b>	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>F</b>	
<b>FDD</b>	Frequency Division-Duplexing
<b>FDMA</b>	Frequency-Division Multiple Access
<b>G</b>	
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>H</b>	
<b>HSPA</b>	High Speed Packet Access
<b>HSS</b>	Home Subscriber Server
<b>I</b>	

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

<b>I</b>	IP	Internet Protocol
<b>K</b>		
Km/h		Kilo Mètre par Heure
KPI		Key Performance Indicator
<b>L</b>		
LTE		Long Terme Evolution
LTE-M		Long Terme Evolution for Machines (machine to machine)
<b>M</b>		
Mbps		Méga bit par second
MHz		Méga Hertz
MIMO		Multiple Imput Multiple Output
MME		Mobility Manager Entity
MMS		Multimedia Messaging Service
<b>N</b>		
NB-IoT		Narrowband Internet of Things
<b>O</b>		
OFDMA		Orthogonal Frequency Division Multiple Access
<b>P</b>		
PCEF		Policy and Charge Enforcement Function
PCRF		Policy Charging Rules Function
P-GW		Packet Data Network Gateway
PM		Power Module
PSTN		Public Switched Telephone Network
PUCCH		Physical Uplink Control Channel
<b>Q</b>		
QoS		Quality of Service
<b>R</b>		
RRU		Radio Remote Unit
<b>S</b>		
S-GW		Serving Gateway
SINR		Signal-to-Interface-plus-Noise Ratio
SSS		Secondary Synchronization Signal
<b>T</b>		
TDD		Time Division-Duplexing

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

TDMA	Time-Division Multiple-Access
<b>U</b>	
UE	User Equipment
UL	Up Link
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
<b>W</b>	
WCDMA	Wide Coding Division Multiple Access
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Wideband Interoperability for Microwave Access

## **Liste des tableaux**

Tableau1. Fiche de la présentation de la société Orange .....	15
Tableau 2. L'industrie CPG.....	18
Tableau3. Caractéristique du LPWAN .....	32
Tableau4. Les coordonnées GPS .....	48
Tableau5. La tâche de filtrage du site .....	54
Tableau6. Réglage des Azimute .....	65

## **Liste des figures**

Figure 1 Logo du Orange Tunisie.....	14
Figure 2. Organigramme département ingénierie Réseaux d'accès .....	16
Figure 3. Direction réseaux et services .....	17
Figure 4. Logo CPG .....	17
Figure 5. Relation IoT .....	19
Figure 6. RFID.....	22
Figure 7. Architecture 4g .....	26
Figure 8 Architecture Sigfox .....	27
Figure 9 Architecture LoRa.....	28
Figure 10 Architecture LTE-M.....	29
Figure 11 Architecture ec-GSM .....	30
Figure 12 Architecture NB-IoT .....	31
Figure 13 Emplacement des technologies[5] .....	31
Figure 14 Site radio (eNodeB ).....	32
Figure 15 RRU.....	33
Figure 16 BBU.....	33
Figure 17 Bascule intégratrice .....	34
Figure 18 Ensemble du capteur d'eau.....	35
Figure 19 Capteur du niveau .....	35
Figure 20 Capteur du courant.....	35
Figure 21 Capteur de tension.....	36
Figure 22 Capteur de puissance .....	36
Figure 23 La bande des fréquence de NB-IoT .....	38
Figure 24 Core network de NB-IoT .....	42
Figure 25 Module NB-IoT sim 7000 .....	45
Figure 26 Réseau CPG .....	46
Figure 27 Exemple de la mesure .....	47
Figure 28 Données de la mesure.....	47
Figure 29 Usine et carrier kef eddour .....	49
Figure 30 Secteur Metlaoui avec .....	49
Figure 31 Secteur Mdhillia.....	50
Figure 32 Secteur Redeyef .....	50
Figure 33 Secteur Moulares .....	51
Figure 36 Logo google earth .....	51
Figure 37 Emplacement sur google earth.....	51
Figure 38 Mise en place sites radio Orange .....	52
Figure 39 Azimut .....	53
Figure 40 Orientation des azimut avec 4g.....	53
Figure 41 Logo ATOLL.....	55
Figure 41 Nouveau fichier Atoll.....	56

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Figure 42 Bibliothèque.....	56
Figure 43 Maps et sites sur Atoll.....	56
Figure 44 Filtrage de zone.....	57
Figure 45 Propriétés.....	57
Figure 46 Resultat 4g .....	58
Figure 47 Première test de couverture .....	59
Figure 48 Propriétés de couverture.....	60
Figure 49 Statistiques.....	60
Figure 50 Premier test.....	61
Figure 51 Test point à point .....	61
Figure 52 Couverture .....	62
Figure 53 Test de service .....	62
Figure 54 Test de débit.....	63
Figure 55 Les erreurs .....	64
Figure 56 Deuxième test couverture .....	66
Figure 56 Troisième test couverture .....	67
Figure 57 Test finale de couverture .....	68
Figure 58 Résultat sur Google Earth .....	69
Figure 59 Cellule LTE .....	70
Figure 60 Cellule NB-IoT non active .....	71
Figure 61 Propriétés NB-IoT .....	71
Figure 62 Cellule NB-IoT standard .....	72

## **Introduction générale**

L'Internet des Objets ou en anglais Internet of Things (IoT) représente aujourd'hui une partie majeure de notre vie quotidienne. Des milliards d'objets intelligents et autonomes, à travers le monde sont connectés et communiquent entre eux. Plus de 50 milliards d'objets seront connectés en 2020.

L'union internationale des télécommunications (International Telecommunication Union (ITU)) définit l'IoT comme étant : « une infrastructure mondiale pour la société de l'information, permettant la fourniture des services avancés en interconnectant des objets physiques et virtuels. Elle est basée sur des technologies d'information et de communication existantes, évoluées et interopérables » [5]

Ce paradigme révolutionnaire crée une nouvelle dimension qui enlève les frontières entre le monde réel et le monde virtuel. Son succès est dû à l'évolution des équipements matériels et des technologies de communication, notamment sans fil.

L'IoT est le fruit du développement et de la combinaison de différentes technologies. Il englobe presque tous les domaines de la technologie d'information (Information Technology (IT)) actuels tels que les villes intelligentes (smart cities), les systèmes machine à machine (Machine to Machine), les véhicules connectés, les réseaux de capteur sans fil (Wireless Sensor Networks (WSN)), etc. Et exploite d'autres technologies de pointe telle que le Cloud Computing, le Big data, ou encore les chaînes de blocs (the blockchains). Dans le domaine d'évolution des technologies industriel, l'IoT est une solution très fiable et flexible.[7]

C'est dans ce cadre que se situe les travaux de notre projet de fin d'étude proposé par ORANGE TUNISIE qui consiste à faire une étude complète sur le réseau NB\_IoT pour assurer son application en Tunisie spécifiquement dans la société CPG.

Mon rapport sera divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre est une présentation du cadre de projet ainsi que les différents services de la société ainsi que la présentation des besoins de la CPG. Le second chapitre sert à la définition de L'IoT, les domaines d'application et les différentes technologies utilisées. Une partie sera consacrée pour la présentation de quelques exemples des capteurs utilisés par la société CPG. Tout au long de troisième chapitre, nous donnerons les détails de la configuration. Nous discutons par la suite le choix du modèle de propagation et on listons les diverses étapes pour la mise en place du réseau NB-IoT. Le dernier chapitre s'agit d'une collecte des

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

données du CPG et du ORANGE pour faire des simulations complètes en utilisant le logiciel Atoll des deux côtés : radio et planification.

Nous clôturons ce rapport par une conclusion générale et quelques perspectives.

## **Chapitre I : Présentation du cadre du projet**

### **1. Introduction**

Dans ce chapitre nous avons commencé tout d'abord par la présentation de l'organisme accueil, les piliers(les activités ,le personnel , l'organigramme administratif)sur lesquels repose l'entreprise ORANGE TUNISIE .Je présenterai aussi la société CPG et je détaillerai son besoin qui m'a sommés mené à réfléchir à mon projet du fin d'études .

### **2. Présentation de l'organisme d'accueil**

L'organisme d'accueil où nous avons effectué notre projet de fin d'études est « ORANGE TUNISIE ». C'est un opérateur privé de télécommunications, dont le siège social est situé à l'immeuble Orange Tunisie, centre Urbain Nord 1003 Tunis, Immatriculé au registre de commerce de Tunis et a été créé en Octobre 2009 après l'alliance des deux sociétés : Orange SA et la société INVENTÉ , avec un capital de soixante-dix-huit millions quatre cent cinquante mille et deux cents (78.450.200) dinars tunisiens. Ensuite, le projet a été lancé commercialement le 5 mai 2010 , sous la direction de monsieur Marouane Mabrouk.[4]

Orange Tunisie et considérée parmi les premiers et les meilleurs établissements tunisiens de télécommunications par l'offre d'un produit de haute qualité et la preuve c'est qu'il revendique en 2014 un total de 2.1 millions d'abonnés ainsi qu'il est le premier en termes de licence pour exploiter un réseau 3G et de téléphonie fixe, brisant sur ce dernier plan le monopole de Tunisie Telecom. C'est pour cette raison qu'est capable de résister à la concurrence prévue par les autres entreprises nationales.[12]

Notre stage a eu lieu au sein d'Orange Tunisie dans le département « Ingénierie Réseaux d'Accès ».



Figure 1 Logo du Orange Tunisie

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Tableau1. Fiche de la présentation de la société Orange

Nom de l'organisation	Orange Tunisie
Création	Octobre2009
Date de lancement	May 05, 2010
Capital	78.450.200 TND
Direction	Thierry Millet (Dg), Marouane Mabrouk
Activité	Internet,téléphonie mobile, fixe (VOIP)
Siège Social	Orange Building, northurban center, 1003 Tunis
Numéro de telephone	+216 3001 3001
Numéro fax	+216 71 961 808
Website	www.orange.tn

### **3. Services fournis par Orange Tunisie**

Orange Tunisie est l'un des leaders mondiaux des services des télécommunications, parmi ces services, nous citons :

- Commercialisation d'équipements et les entreprises (via Orange business service) : téléphonie fixe, téléphonie mobile, services sur internet, télévision, services de téléconférence, etc. Ainsi Orange Tunisie est un leader dans le domaine de l'iot depuis 2016.
- En termes d'innovation, Orange Tunisie a été l'un des premiers opérateurs à introduire la technologie 4G+ en Tunisie, offrant ainsi des vitesses de connexion mobiles plus rapides.
- L'entreprise a également lancé des offres commerciales pour les services de l'internet des objets (IoT) pour les entreprises et les particuliers

### **4. Présentation du groupe Orange**

Le stage s'est déroulé dans les locaux de « Orange Croisière » situés rue de l'énergie Tunis 2035. O.C , l'un des plus grands immeubles du groupe orange Tunisie et le plus moderne , il a accueilli ses premiers salariés en 2009 , et se compose de plusieurs départements cités dans la figure suivante

- ✓ **Organigramme de la direction réseaux et services**

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

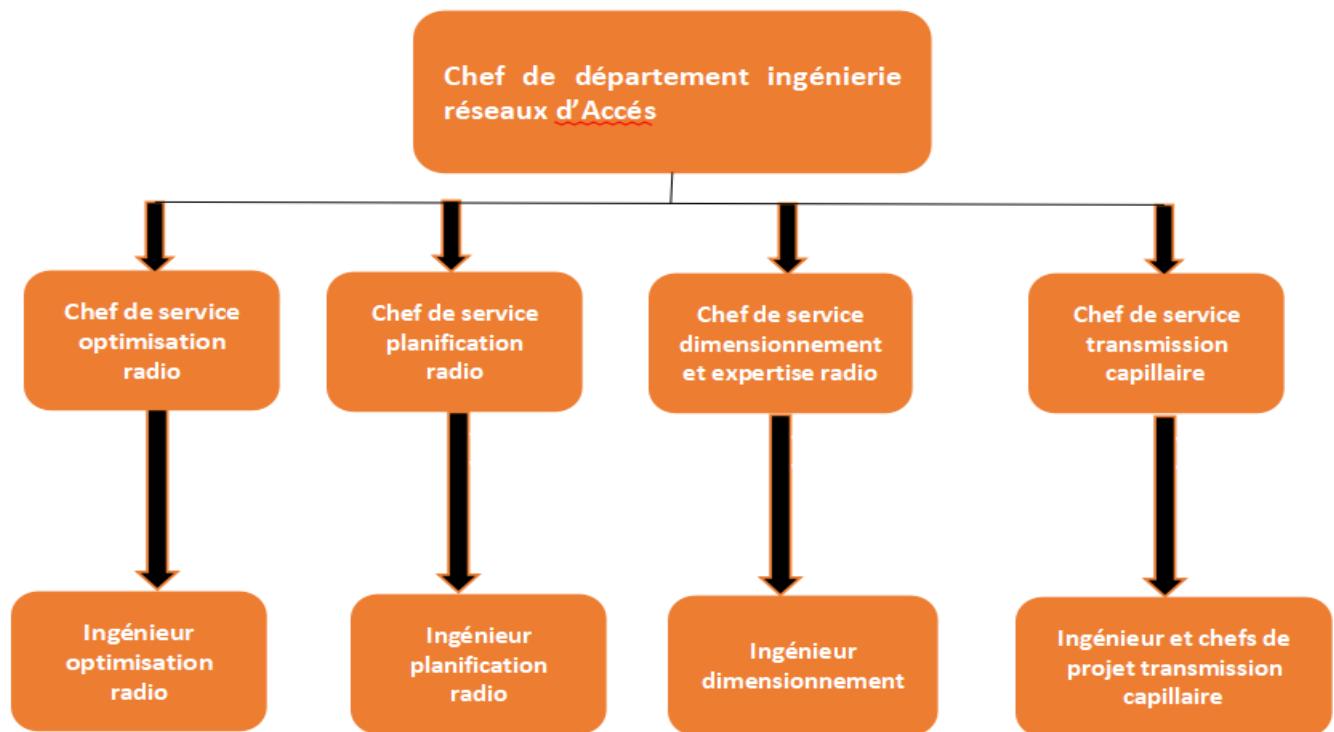


Figure 2. Organigramme département ingénierie Réseaux d'accès[4]

nous avons effectué notre stage su sein du département « Ingénierie Réseaux d'accès ». Nous avons travaillé avec le service d'optimisation radio et le service de planification radio.

### ✓ Département ingénierie réseau d'accès (ira)

L'IRA a une forme hiérarchique qui est présentée par la figure ci-dessous :

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

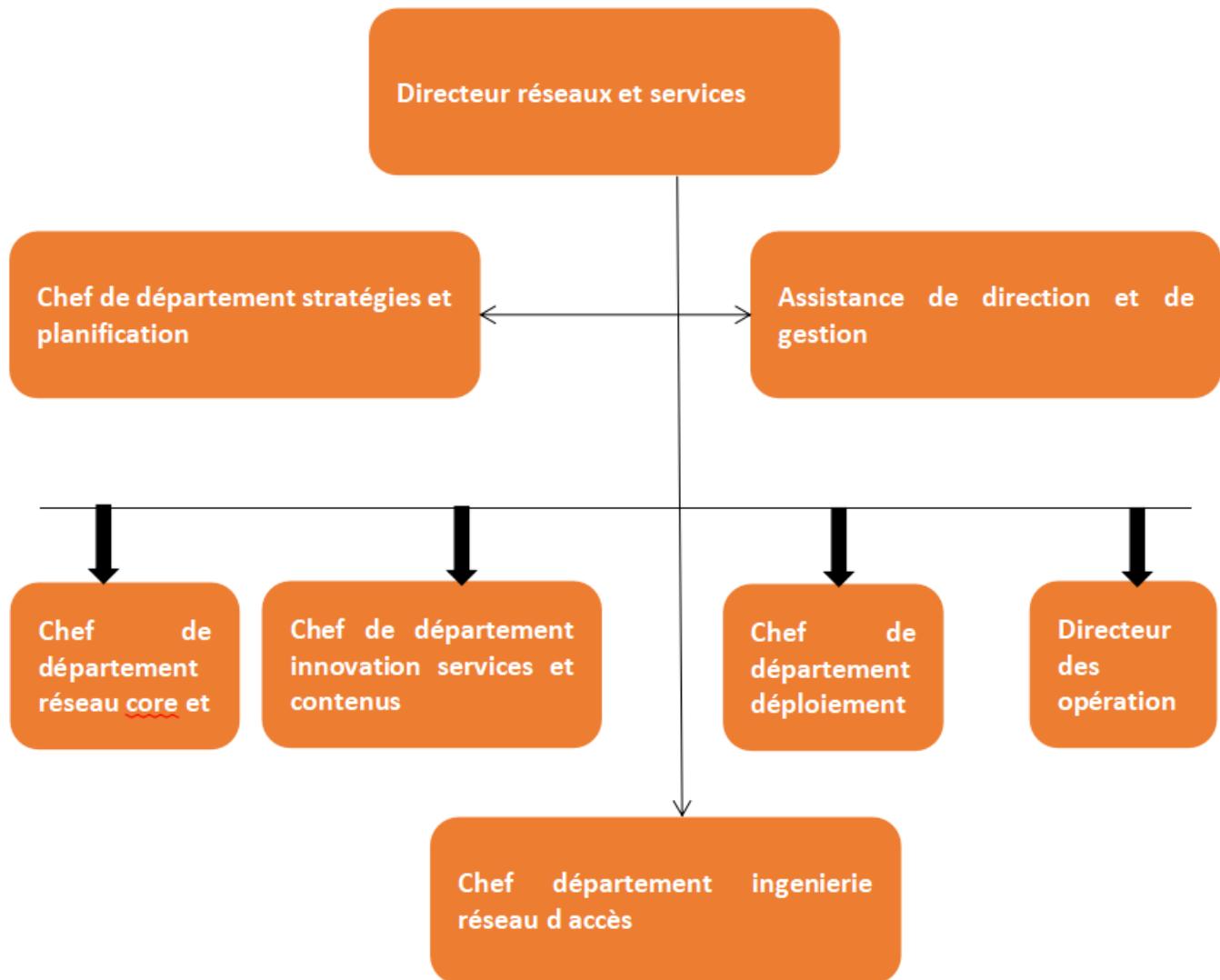


Figure 3. Direction réseaux et services

## 5. Présentation de la CPG

La Compagnie des Phosphates de Gafsa (CPG) est une entreprise publique tunisienne fondée en 1897 et spécialisée dans l'exploitation des mines de phosphate dans la région de Gafsa, dans le sud-ouest de la Tunisie. Le phosphate est un élément nécessaire pour le domaine d'agriculture.



Figure 4. Logo CPG

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Tableau 2. L'industrie CPG

SECTEUR	MINES À CIEL OUVERT		USINES DE TRAITEMENT	
	Mine	Entrée en Exploitation	Unité	Entrée en Exploitation
<b>METLAOUI KEF SCHFAIER</b>	Kef Schfaier	1978	4 unités de lavage 1 unité de flottation des rejets fins	Les laveries 1, 2 et 3 avant 1960 La laverie 4 en 1981 L'unité de flottation en 2007
	Tables de Metlaoui	2002		
<b>METLAOUI KEF EDDOUR</b>	Kef Eddour Centre;	1986	1 unité de lavage	La laverie Kef Eddour en 1990
<b>OM EL KHECHEB</b>	Om El Khecheb EST	2014	1 unité de lavage 1 unité de flottation	Projet en cours de réalisation
<b>MDHILLA</b>	Jallabia	1991	3 unités de lavage 1 unité de flottation des rejets fins	La laverie 1 en 1953 Les laveries 2 et 3 en 1979 L'unité de flottation en 1999
	Mzinda	2000		
<b>MOULARES</b>	Moulares	1994	2 unités de lavage	La laverie 1 en 1979 La laverie 2 en 1987
	Kef eddour Ouest	1998		
<b>REDEYEF</b>	Redeyef	1989	1 unité de lavage	La laverie en 1991

## 6. Les besoins de la CPG

Au cours des dernières années le domaine des industriels a eu une grande évolution grâce à la présence des nouveaux technologie mondiale .Et pour suivre cette évolution, la CPG a choisi le domaine de l'IoT pour intégrer à ces boites des productions

Cette technologie a été destinée pour mesurer la production de phosphate et calculer la consommation (consommation d'énergie et d'eau ) de production et c'est pour cela elle a distribué beaucoup des capteurs dans des différents points sur tous les secteurs .

Mais pour la CPG a un problème de connectivité sur ces points de capteurs à cause de la distance entre ses services informatique et les capteurs (distance jusques 8 km )

Pour cette raison, elle a fait appel à orange pour assurer cette connectivité via une solution adéquate.

## 7. Conclusion

Le besoin de la CPG était un avantage pour travailler sur un modèle du réseau réel et le faire fonctionner en tenant compte des objectifs IoT .

## Chapitre II: Étude de l'environnement

### 1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons introduire des différents technologies utilisées dans le domaine de l'IoT et étudier les caractéristiques des prérequis du domaine de la télécommunication et l'utilisations des capteurs .

### 2. Présentation de L'IoT

L'internet des Objets (IoT) est un réseau d'objets physiques connectés qui sont équipés de capteurs, de logiciels et de technologies de communication pour collecter et échanger des données avec d'autres appareils et systèmes sur Internet. L'IoT est une technologie en pleine expansion qui permet de connecter des objets de tous types, qu'il s'agisse de voitures, d'appareils électroménagers, de capteurs industriels ou d'équipements médicaux.[8]

Le concept de l'IoT repose sur la capacité des appareils connectés à communiquer entre eux sans intervention humaine. Cette technologie permet aux entreprises et aux individus de collecter des données en temps réel, d'analyser ces données et de prendre des décisions plus éclairées et plus rapides. L'IoT peut également améliorer la sécurité, la productivité et la qualité de vie des gens en automatisant des tâches, en prévenant les accidents et en fournissant des informations utiles.[6]

Cependant, l'IoT présente également des défis importants, notamment en matière de sécurité, de protection de la vie privée et de gestion de la complexité des systèmes connectés.



Figure 5. Relation IoT

### 3. Les domaines d'application de l'IoT

Les entreprises les mieux adaptées à l'IoT sont celles dont les processus métier peuvent bénéficier de l'utilisation de capteurs.

### 3.1 Fabrication

Les industriels peuvent bénéficier d'un avantage concurrentiel grâce à la surveillance des chaînes de production, afin de mettre en place une maintenance proactive des équipements sur lesquels les capteurs détectent une défaillance imminente. Les capteurs peuvent déterminer le moment où la production sera compromise. À l'aide des alertes émises par les capteurs, les industriels peuvent rapidement s'assurer de la précision du matériel ou le retirer de la production jusqu'à sa réparation. Les entreprises peuvent ainsi réduire leurs coûts d'exploitation, améliorer les temps de bon fonctionnement et mieux gérer les performances des actifs.

### 3.2 Automobile

L'industrie automobile pourra bénéficier d'avantages considérables en utilisant des applications IoT. Au-delà des avantages obtenus par l'application de l'IoT aux chaînes de production, des capteurs peuvent détecter l'imminence de pannes sur des véhicules déjà en circulation, ainsi qu'alerter le conducteur en lui fournissant des détails et des recommandations. Grâce aux informations agrégées collectées par des applications reposant sur l'IoT, les constructeurs et équipementiers automobiles peuvent être informés sur le bon fonctionnement des voitures et alerter les propriétaires.

### 3.3 Transport et logistique

Les systèmes de transport et de logistique bénéficient d'une grande diversité d'applications IoT. Les parcs de voitures, camions, navires et trains qui transportent du stock peuvent être réacheminés en fonction des conditions météo, ou encore de la disponibilité des véhicules ou des chauffeurs grâce aux données issues des capteurs IoT. Le stock lui-même peut également être muni de capteurs en vue de son suivi, ou à des fins de contrôle de température. Les secteurs agroalimentaire, floral et de l'industrie pharmaceutique transportent souvent un stock sensible aux variations de températures. Ceux-ci bénéfieraient largement d'applications IoT de contrôle qui envoient des alertes lorsque les températures augmentent ou baissent à un niveau dangereux pour le produit.

### 3.4 Grande distribution

Les applications IoT permettent aux entreprises de la grande distribution de gérer leurs stocks, d'améliorer l'expérience client, d'optimiser le suppl. y chaine et de réduire les coûts d'exploitation. Par exemple, des rayons intelligents pourvus de capteurs de poids peuvent collecter des informations par radio-identification (RFID) et envoyer les données à la plate-forme IoT pour surveiller automatiquement les stocks et déclencher des alertes si la quantité d'articles commence à baisser.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Des balises peuvent présenter des offres ciblées et des promotions aux clients, afin d'offrir une expérience de qualité.

### **3.5 Secteur public**

Les avantages de l'IoT dans le secteur public et les autres environnements de service sont tout aussi vastes. Par exemple, certains services publics peuvent utiliser des applications IoT pour avertir leurs utilisateurs de pannes à grande échelle, voir de coupures plus brèves d'eau, d'électricité ou des services d'assainissement. Les applications IoT peuvent collecter des données relatives à la portée d'une panne et déployer des ressources pour aider les services publics à récupérer plus rapidement suite aux défaillances.

### **3.6 Santé**

La surveillance des actifs par IoT offre de nombreux avantages au secteur de la santé. Médecins, infirmières et aides-soignants doivent souvent connaître la localisation exacte des actifs d'assistance aux patients, tels que les fauteuils roulants. Lorsqu'un fauteuil roulant d'hôpital est équipé de capteurs IoT, il peut être suivi à partir de l'application de surveillance, de telle sorte qu'un soignant qui en a besoin peut rapidement trouver le fauteuil roulant disponible le plus proche. De nombreux actifs d'hôpital peuvent être suivis ainsi afin de garantir une utilisation correcte, ainsi que la prise en compte financière des actifs physiques dans chaque service.

### **3.7 Sécurité générale à l'échelle de tous les secteurs d'activité**

Outre le suivi des actifs physiques, l'IoT peut être utilisé pour renforcer la sécurité des collaborateurs. Les collaborateurs qui travaillent dans des environnements dangereux, tels que les mines, les puits de pétrole ou de gaz, et les usines chimiques ou les centrales électriques, par exemple, doivent être informés des événements dangereux qui peuvent les mettre en péril. Lorsqu'ils sont connectés à des applications reposant sur des capteurs IoT, ils peuvent être avertis des accidents ou en être secourus au plus vite. Les applications IoT sont également utilisées pour les dispositifs portables qui peuvent surveiller la santé humaine et les conditions environnementales. Les applications de ce type n'aident pas uniquement les personnes à mieux comprendre leur propre santé, elles permettent également aux médecins de surveiller leurs patients à distance.

## **4. Technologies sans fil appliquées pour l'IoT**

### **4.1 Technologies courte portée**

La technologie de courte portée fait référence à des technologies de communication sans fil utilisées pour transmettre des données sur de courtes distances, généralement de quelques mètres à

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

quelques centaines de mètres. Ces technologies sont couramment utilisées pour connecter des périphériques à un appareil hôte, comme un ordinateur portable, un téléphone mobile ou une tablette.[6]

### **a. RFID**

RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie de communication sans fil qui permet d'identifier et de suivre des objets à l'aide d'ondes radio. Elle fonctionne en utilisant des étiquettes RFID, également appelées transpondeurs, qui sont attachées aux objets à identifier. Les étiquettes RFID contiennent des informations stockées électroniquement, telles que des identifiants uniques, qui peuvent être lues à distance à l'aide d'un lecteur RFID.



Figure 6. RFID

### **b. NFC**

NFC (near Field communication) est une technologie de communication sans fil à courte portée et à haute fréquence permettant l'échange d'informations entre des périphériques jusqu'à une distance d'environ 10 cm dans le cas général.

Elle fonctionne grâce à une puce qui permet l'échange d'informations entre deux équipés avec un débit très faible

### **c. WPANs**

#### **c.1 Bluetooth**

La norme Bluetooth est tout un outil de communication sans fil permettant l'échange de données numériques entre appareils électroniques. Elle s'agit d'une connexion sans fil à courte portée. La connexion Bluetooth utilise des ondes radio en ultra-haute fréquence ou UHF, sur la bande de fréquence autour de 2.4GHZ.

#### **c.2 Zigbee**

Le Zigbee est un protocole de communication sans-fil à courte portée et à faible consommation énergétique. Il est basé sur la norme IEEE 802.15.4 utilisant plusieurs bandes de fréquences radio pour la communication : 868MHZ, 915MHZ, 2.4GHZ.

## **4.2 Technologies WLAN**

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

WLAN (Wireless Local Area Network) est un type de réseau sans fil local qui permet la communication entre des dispositifs électroniques sans utiliser de câbles. Il est utilisé pour connecter des ordinateurs, des ordinateurs portables, des smartphones, des tablettes et d'autres appareils à un réseau local ou à Internet.

Un réseau WLAN est généralement composé d'un point d'accès WLAN et de plusieurs périphériques clients. Le point d'accès est le composant principal du réseau WLAN, qui reçoit et transmet les données sans fil entre les périphériques clients et les réseaux filaires ou Internet. Les périphériques clients tels que les ordinateurs portables, les smartphones et les tablettes se connectent au point d'accès WLAN pour accéder au réseau.[5]

### **a. Wifi**

Le Wi-Fi (Wireless Fidelity) est une technologie de communication sans fil qui permet la transmission de données entre des dispositifs électroniques à travers des ondes radio. C'est une technologie de réseau local sans fil (WLAN) qui permet aux utilisateurs d'accéder à Internet, de partager des fichiers, d'imprimer et d'autres fonctions de réseau sans avoir besoin de câbles.

Le Wi-Fi utilise des protocoles de communication normalisés par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), qui spécifient les règles et les normes techniques pour la communication sans fil. Les protocoles Wi-Fi les plus couramment utilisés incluent 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n et 802.11ac.

### **b. MANET**

MANET (Mobile Ad-Hoc Network) est le nom d'un groupe de travail de l'IETF, créé en 1998/1999 qui est chargé de standardiser des protocoles de routage basés sur la technologie IP pour les réseaux ad-hoc sans fil

Elle fait aussi référence aux réseaux sans infrastructure dans lesquels toutes les stations peuvent être mobiles. Cette technologie est très répandue dans le monde de l'IoT en l'appliquant dans WSN.

### **c. VANET**

VANET (Vehicular Ad-hoc Network) est un réseau constitué d'un ensemble d'objets mobiles qui communiquent entre eux à l'aide de réseau sans fil de type IEEE Bluetooth ou ultra wide band. Elle est un réseau dynamique à densité variable qui opère en milieu urbain et en autoroute, avec tel mécanisme de communication un véhicule peut recevoir des informations de ses voisins proches ou d'autre plus distants, grâce aux techniques de multisocs qui exploitent dans ce cas des objets intermédiaires relais

## **4.3 Technologies cellulaires**

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

La technologie cellulaire est une technologie de communication sans fil qui permet aux utilisateurs de se connecter à un réseau cellulaire à partir de n'importe quel endroit où la couverture du réseau est disponible. Elle est basée sur l'utilisation de stations de base cellulaires qui sont réparties sur un territoire donné et qui permettent aux utilisateurs de communiquer à l'aide d'appareils mobiles tels que des téléphones portables.[11]

### **a. GSM**

GSM (Global System for Mobile Communications) est une norme de réseau de communication mobile utilisée dans de nombreux pays du monde entier. Il s'agit d'une technologie de communication sans fil numérique de deuxième génération (2G) qui permet de transmettre des données à des vitesses relativement faibles, principalement pour les appels vocaux et les messages texte. Le GSM utilise des cartes SIM (Subscriber Identity Module) pour authentifier les utilisateurs et leur permettre de se connecter au réseau mobile. Les utilisateurs peuvent également accéder à des services supplémentaires tels que l'Internet mobile, le courrier électronique, la messagerie instantanée et la navigation GPS, selon les fonctionnalités offertes par l'opérateur de réseau mobile. GSM est progressivement remplacé par les technologies de communication mobile de troisième (3G), quatrième (4G) et cinquième (5G) générations.[11]

### **b. UMTS (3G)**

UMTS (Universal Mobile Télécommunications System) est une norme de communication mobile de troisième génération (3G) utilisée pour la transmission de données et de voix via des réseaux mobiles. Il s'agit d'une évolution de la technologie GSM (Global System for Mobile Communications) et elle offre des vitesses de données plus élevées et une meilleure qualité de voix que son prédecesseur. UMTS utilise une technologie appelée CDMA (Code Division Multiple Access) pour permettre à plusieurs utilisateurs de partager la même fréquence de communication. Cette technologie de 3G permet également l'accès à l'Internet mobile, la vidéoconférence, la messagerie instantanée et d'autres services de données à haut débit. UMTS a été remplacé progressivement par la technologie de communication mobile de quatrième génération (4G) LTE (Long Term Evolution) qui offre des vitesses de données encore plus élevées.

### **c. LTE (4G)**

#### **c.1 Généralités sur LTE**

Long Terme Évolution (LTE) est un réseau mobile, technologie développée et déployée par le groupe 3GPP. Son développement a été motivé par la nécessité de répondre à la demande toujours croissante de services sans fil. Il a été conçu pour prendre en charge uniquement les services à commutation de paquets afin de garantir un minimum d'interférences, de réduire le nombre

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

d'éléments de réseau grâce à une architecture simplifiée, de prendre en charge les applications en temps réel en raison d'une latence réduite de fournir une utilisation et un accès simples avec une sécurité et une confidentialité accrue ainsi que d'améliorer l'efficacité spectrale.[3]

LTE est un système avec des bandes passantes plus larges (jusqu'à 20 MHz), radio à faible latence et à paquets optimisés, technologie d'accès ayant des débits de données de pointe de 100 Mbps en liaison descendante et 50 Mbps en liaison montante. La technologie d'accès radio pour LTE est orthogonal multiplexage par répartition en fréquence (OFDM) dans la liaison descendante et répartition en fréquence mono porteuse multiplexage (SC-FDM) en liaison montante qui fournit plus grande efficacité spectrale et plus de robustesse contre les trajets multiples et l'évanouissement.

### **c.2 Caractéristiques de LTE**

Sa principale caractéristique est de fournir une efficacité du spectre moins chère pour l'opérateur, ainsi que des services mobiles à large bande de haute qualité pour les utilisateurs. La technologie LTE elle-même a été développée à partir du Global System for Mobile (GSM) et du Universal Mobile Télécommunications System (UMTS), parmi les caractéristiques les plus importantes sont :

### **c.2 Débits et fréquences du réseau LTE**

Le flux fourni à un client dépend de ses conditions radio, en particulier de sa situation dans la cellule, des méthodes de transmission utilisées et de l'avantage épouvantable accessible. Les principes d'affichage habituels pour les organisations 4G sont définis : 100 Mbit/s sur la liaison descendante (transfert de réception filaire vers mobile) et 50 Mbit/s maximum sur la liaison montante.

L'innovation LTE fonctionne dans un assortiment de fréquences en fonction de la zone géographique couverte : 700 MHz aux États-Unis pour l'organisation Verizon Wireless, 2,6 GHz et 800 MHz en Europe, et 2,1 GHz pour l'organisation japonaise NTT. Les objectifs de débit les plus élevés pour LTE sont les suivants :

- 100 Mbit/s down-Track pour une capacité de transmission distribuée de 20 MHz, pour une productivité hors du commun de 5 cycle/s/Hz.
- 50 Mbit/s ascendant pour une capacité de transmission distribuée de 20 MHz, pour une productivité hors du commun de 2,5 pièces/s/Hz.

Ces chiffres prévoient une UE de référence contenant :

- deux réceptions et un envoi.

### **c.4 La mobilité**

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

La polyvalence est une capacité vitale pour une organisation portable. LTE a l'intention de rester utile pour les pays de l'UE qui se déplacent à différentes vitesses.

- E-UTRAN devrait être amélioré pour une faible vitesse de déplacement de 0 à 15 km/h.
- Un débit polyvalent plus élevé, quelque part entre 15 et 120 km/h, devrait être maintenu avec une exécution d'élite.
- La portabilité sur le réseau cellulaire doit être maintenue à des vitesses allant de 120 à 350 km/h (ou même jusqu'à 500 km/h selon la bande de récurrence).

## 4G | LTE ARCHITECTURE

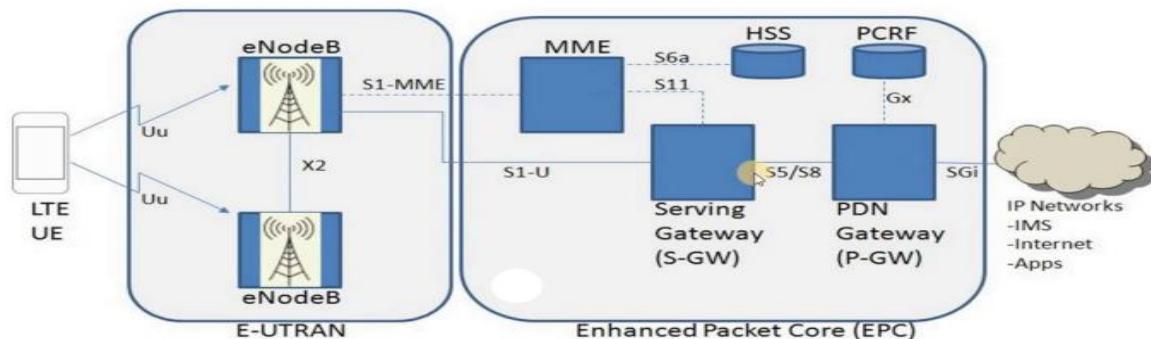


Figure 7. Architecture 4g

### 4.4 Technologies LPWAN

LPWAN (Low-Power Wide Area Network) est une technologie de réseau sans fil conçue pour connecter des appareils à faible consommation d'énergie sur de longues distances. Contrairement aux réseaux cellulaires traditionnels tels que GSM, UMTS et LTE, qui sont conçus pour les appareils mobiles à haute consommation d'énergie, les réseaux LPWAN sont optimisés pour les appareils à basse consommation tels que les capteurs, les dispositifs de suivi et les compteurs intelligents.

Les réseaux LPWAN offrent une portée plus longue et une durée de vie de la batterie plus longue que les autres technologies de communication sans fil telles que le Wi-Fi, le Bluetooth et même la 4G. Les réseaux LPWAN utilisent des protocoles de communication bas débit tels que LoRaWAN, Sigfox et NB-IoT pour transmettre des données à faible débit sur de longues distances. Ces réseaux sont également très rentables et faciles à déployer, car ils nécessitent moins d'infrastructure que les réseaux cellulaires traditionnels. LPWAN est de plus en plus utilisé pour connecter des appareils de l'Internet des objets (IoT) dans des domaines tels que la gestion des villes intelligentes, l'agriculture de précision, la surveillance environnementale et la gestion des ressources d'énergie.[9]

#### 4.4.1 Technologie non cellulaire

##### a. SigFox

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Sigfox est une technologie du réseau LPWAN (Low-Power Wide Area Network) qui permet de connecter des appareils à faible consommation d'énergie sur de longues distances. Sigfox est basé sur une technologie de modulation d'amplitude ultra étroite (UNB) qui permet de communiquer avec toutes les antennes que Sigfox possède pour toutes ses distances jusqu'à un kilomètre.

Sigfox est conçu pour connecter des appareils IoT à faible consommation d'énergie tels que les capteurs, les compteurs intelligents et les dispositifs de suivi à bas coût et de manière efficace. Sigfox est très rentable et facile à louer, car il dispose de l'infrastructure nécessaire comme les meilleurs cellulaires traditionnels. Le réseau Sigfox est disponible dans de nombreux pays du monde entier et permet une couverture à l'échelle nationale.

Sigfox offre une sécurité de bout en bout pour protéger les données des utilisateurs. Les données sont cryptées lorsqu'elles sont envoyées depuis l'appareil jusqu'au réseau Sigfox, puis de nouvelles lorsqu'elles sont envoyées du réseau Sigfox au serveur de l'utilisateur. Sigfox est utilisé dans de nombreux domaines tels que la gestion de l'eau, la gestion de l'énergie, la logistique et le transport, ainsi que dans les villes intelligentes.[10]

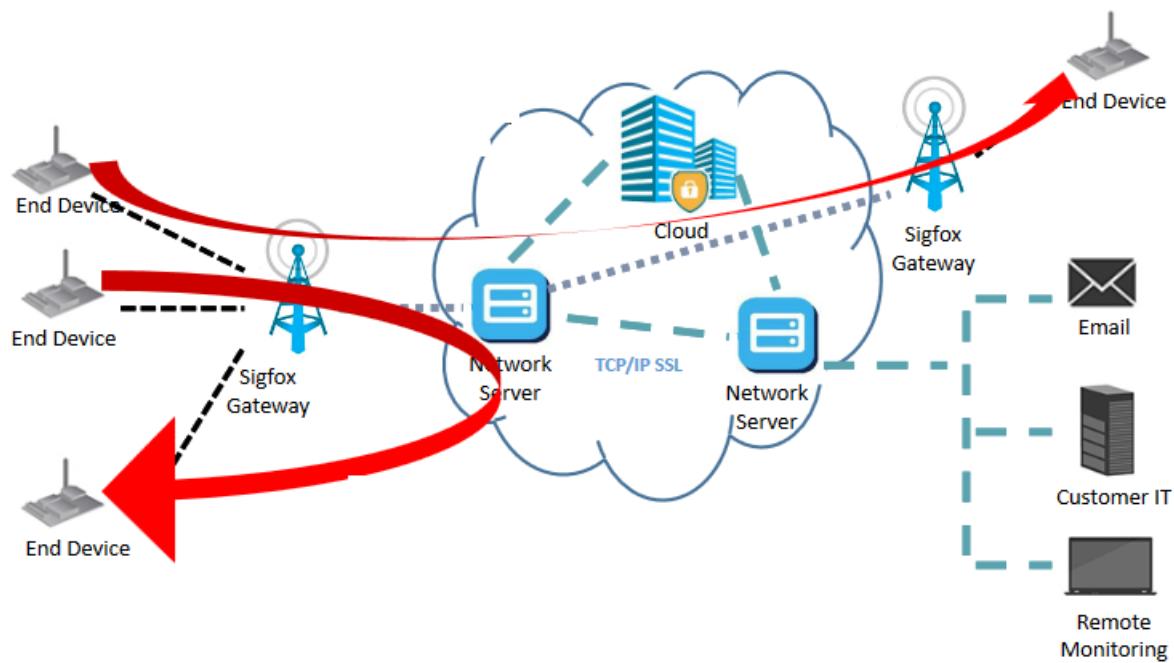


Figure 8 Architecture Sigfox

### b. LORA

LoRa (pour Long Range) est un protocole et une technologie de communication sans fil conçus pour les transmissions à longue portée à faible consommation d'énergie dans les réseaux de l'Internet des objets (IoT). Il permet une communication à longue portée et à faible bande passante entre les appareils, ce qui en fait une technologie idéale pour les applications de l'IoT qui nécessitent une faible consommation d'énergie, une portée étendue et un débit de données faible. La technologie

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

LoRa utilise des techniques de modulation de spectre étalé pour permettre une communication sur de longues distances (jusqu'à plusieurs kilomètres en plein air) tout en consommant très peu d'énergie. Elle fonctionne dans la bande de fréquences libre de 433 MHz, 868 MHz et 915 MHz.

LoRaWAN est un protocole de télécommunication radio permettant la communication à bas débit d'objets connectés. Il émet en France sur la bande de fréquence 868 mégahertz. Le signal radio est émis sur une grande largeur spectrale, pour limiter au maximum le risque d'interférence avec des signaux parasites.[10]

Ce protocole de communication permet d'envoyer des données en intérieur (indoor), en sous-sol (deep indoor) et en extérieur (outdoor). LoRaWAN fait partie de la catégorie des réseaux LPWAN (low power wide area network, ou réseau bas débit de longue portée, en français). Les informations peuvent ainsi transiter sur des distances plus longues que sur les réseaux télécoms traditionnels. Un objet connecté en LoRaWAN peut envoyer un message à une borne située à une distance d'environ 1 kilomètre en zone urbaine et à 20 kilomètres dans une zone rurale plane.

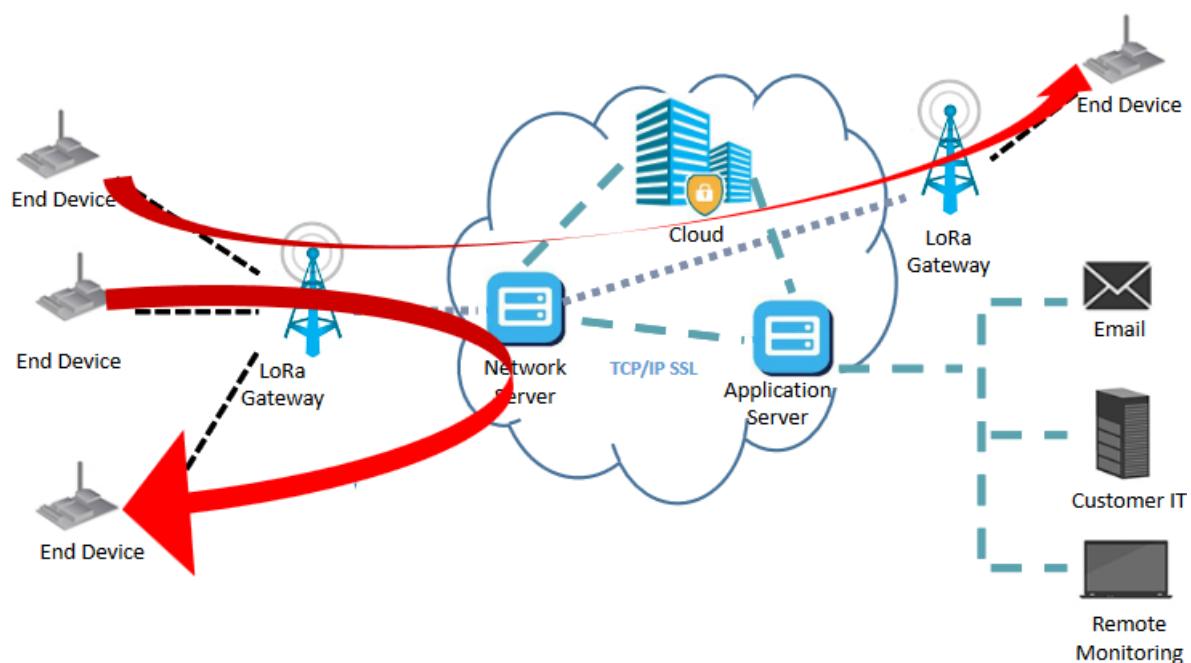


Figure 9 Architecture LoRa

### 4.4.2 Technologie cellulaire

#### a. LTE-M

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) est une technologie de réseau sans fil basse consommation (LPWAN) conçue pour les communications de machine à machine (M2M) et l'Internet des objets (IoT). LTE-M est une évolution de la technologie LTE (Long-Term Evolution), utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile de quatrième génération (4G).

LTE-M offre une connectivité fiable, une sécurité renforcée et une durée de vie de la batterie plus longue pour les appareils IoT. Cette technologie est conçue pour prendre en charge les applications de capteurs industriels, de santé et de sécurité publique, de gestion des ressources énergétiques, de surveillance à distance, de véhicules connectés et autres[9].

LTE-M utilise une bande passante de 1,4 MHz pour permettre des transmissions de données à faible débit et à longue portée. La technologie utilise également des techniques de modulation et de codage efficaces pour économiser l'énergie et améliorer la qualité de la communication.

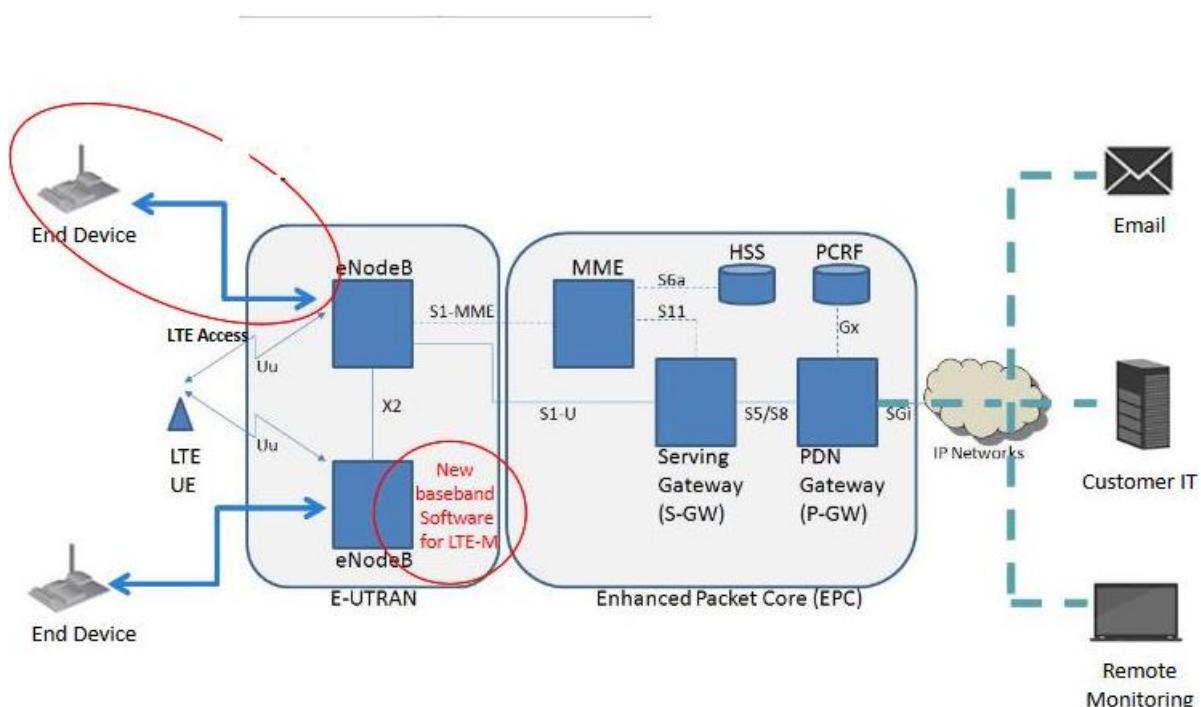


Figure 10 Architecture LTE-M

### b. EC-GSM

EC-GSM (Enhanced Coverage GSM) est une technologie de réseau sans fil conçue pour étendre la couverture et la capacité du réseau GSM (Global System for Mobile Communications). EC-GSM est également connu sous le nom de LTE-M pour la couverture étendue (LTE-M eMTC).

EC-GSM utilise des bandes de fréquences de spectre GSM existantes pour améliorer la couverture et la qualité de service pour les appareils IoT et M2M (Machine-to-Machine). Cette technologie offre une portée améliorée de 20 dB (décibels) par rapport à la technologie GSM traditionnelle, ce qui permet aux appareils IoT d'être connectés dans des zones à faible couverture ou mal desservies.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

EC-GSM est capable de prendre en charge une large gamme d'applications IoT et M2M, notamment la télémétrie, la surveillance à distance, la gestion de l'énergie, la sécurité et les services publics. Elle offre également une sécurité améliorée avec un cryptage de bout en bout et une authentification mutuelle pour protéger les données sensibles.

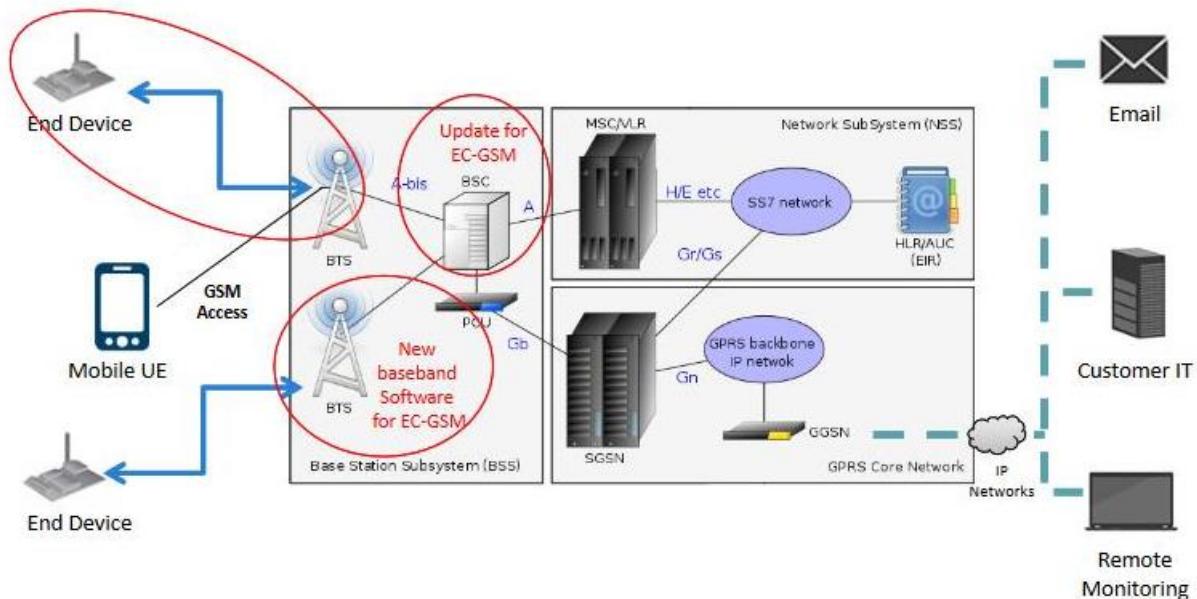


Figure 11 Architecture ec-GSM

### c. NB-IOT

NB-IoT (Narrowband Internet of Things) est une technologie de réseau sans fil basse consommation (LPWAN) conçue pour connecter des appareils IoT à faible consommation d'énergie sur de longues distances. NB-IoT utilise des fréquences de spectre cellulaire existantes et peut être déployé à l'aide d'une infrastructure réseau existante pour permettre des connexions IoT rentables et fiables.

NB-IoT utilise une bande passante étroite pour transmettre des données à faible débit sur de longues distances. Cette technologie peut atteindre une portée de plusieurs kilomètres et peut traverser les murs et les obstacles pour permettre une communication fiable dans les zones difficiles d'accès.

NB-IoT est particulièrement adapté aux applications IoT nécessitant une connectivité à faible débit et à longue portée, telles que la surveillance à distance, les capteurs intelligents, les compteurs d'eau et d'électricité intelligente, les dispositifs de suivi et autres.[9]

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

NB-IoT offre également une sécurité de bout en bout pour protéger les données des utilisateurs. Les données sont cryptées lorsqu'elles sont envoyées depuis l'appareil jusqu'au réseau NB-IoT, puis de nouveau lorsqu'elles sont envoyées du réseau NB-IoT au serveur de l'utilisateur

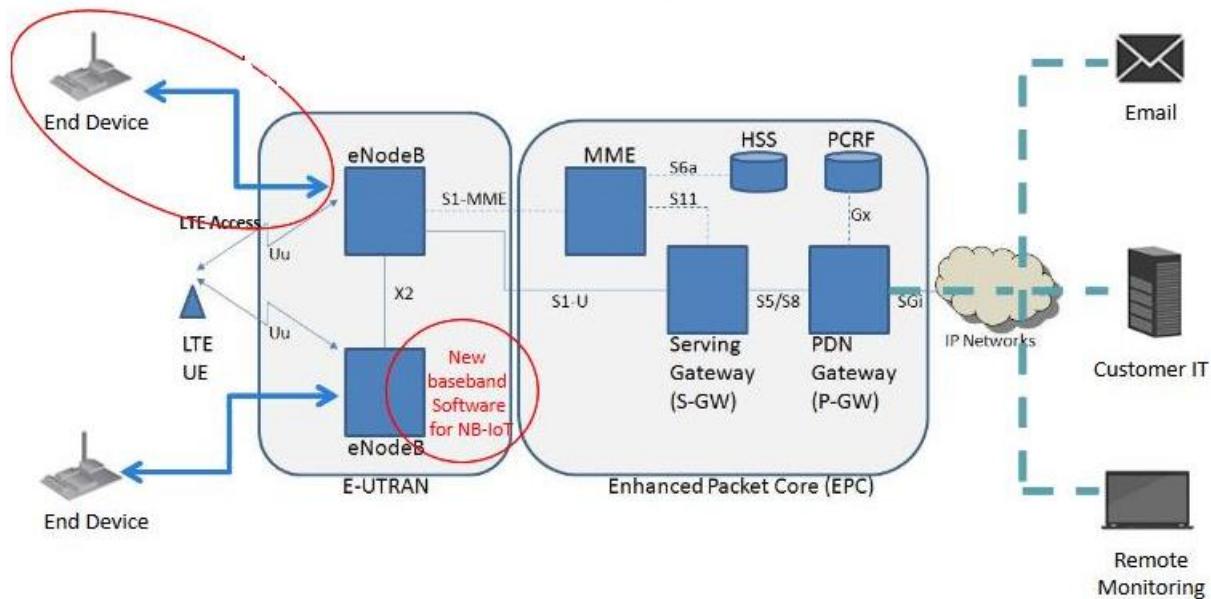


Figure 12 Architecture NB-IoT

- Maps de l'emplacement de LTE-M et NB-IoT[6]



Figure 13 Emplacement des technologies[6]

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

- Différence entre sigfox , lora ,LTE-M ,ec-GSM ,NB-IoT

Tableau3. Caractéristique du LPWAN[11]

Technology	Frequency Band	Range	Maximum Date Rate	Channel Bandwidth	Security	Reliability	Latency
LoRa	868 MHZ	15 km	50kbps	125,250,500 Khz	low	low	High
Sigfox	915 to 925MHZ	20km+	100bps	100Hz	low	low	High
LTE-M/ eMTC	700-900 MHz	<15km	1 Mbps	1.08 MHZ (1.4 MHZ carrier bandwith)	medium/ Hight	medium/ Hight	low
NB-IoT	700-900 MHz	<18km	DL:170kbps UL: 250kbps	180KHz(200 KHz bandwith)	medium/ Hight	medium/ Hight	low
EC-GSM-IoT	800-900 MHZ	<15km	74kbps(GMS K) 240 kbps(8PSK)	0.2MHz	medium/ Hight	medium/ Hight	low

## 5. Architecture globale de l'interface radio des réseaux mobile

### 5.1 Site radio

Pour satisfaire plusieurs exigences, l'opérateur du réseau doit déployer un certain nombre de sites radio qui vont assurer l'interface entre les terminaux des abonnés et les infrastructures du réseau de communication.

Il faut en conséquence déployer un nombre plus ou moins important de site radio afin d'assurer une couverture de service de bonne qualité.

L'emplacement de chaque site est défini par des coordonnées GPS sur Google Earth .



Figure 14 Site radio (eNodeB )

### 5.2 Structure du site Radio

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Le site radio a une organisation hiérarchique constituée de plusieurs composants qui assurent le bon acheminement de la communication, l'ensemble de ses constituants serrant détaillé dans ce qui suit afin de comprendre leurs importances dans le réseau .

### **5.3 RRU :remote radio unit**

L'unité radio distante (RRU) est un équipement utilisé pour étendre la couverture d'un BTS ou NodeB ou eNodeB dans des environnements difficiles tels que les zones rurales ou les tunnels .il est généralement connecté au BTS/NodeB/eNodeB via un câble a fibré optique .[4]



Figure 15 RRU

### **5.4 Câble fibre optique**

La fibre optique est un fils utilisé pour la transmission des données à très haut débit et sur des gradués distances. Elle est fortement utilisée par les entreprises exigeant une importante fiabilité, telle que le cas de l'opérateur Orange Tunisie qui utilise la fibre optique pour relier le RRU à BBu

### **5.5 Base Band Unit(BBU)**

C'est un appareil qui interprété les fréquences de bande de base dans les systèmes de télécommunication. Dans les sites radio, le BBU se connecte à une unité radio distante (RRU)



Figure 16 BBU

### **5.6 Hauteur de l'antenne (HBA)**

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Représente la hauteur entre la basse de l'antenne et le sol. Plus de HBA est grand plus la couverture est grande [4]

### **5.7. Direction (AZIMUT)**

Représente la direction de l'antenne par rapport l'horizontale .

## **6. Types des capteurs installés de la CPG**

### **6.1 Capteur Poids et Bascule intégratrice**

La "Bascule intégratrice" est un instrument de pesage destiné à mesurer en continu le débit de matière en vrac manutentionné par un convoyeur à bande et de totaliser le poids passé. Le poids de matière passé sur le convoyeur est l'intégral du poids de matière par mètre par rapport à la longueur de bande déroulée.



Figure 17 Bascule intégratrice

### **6.2 Capteur d'eau**

**Les débitmètres :** sont des instruments destinés à contrôler, mesurer ou enregistrer les taux de débit, le volume ou la masse des liquides ou des gaz. Vous les connaissez aussi peut-être sous les noms suivants : indicateurs de débit, détecteurs de débit ou compteurs de liquides.

#### **6.2.1 Un capteur de pression**

Souvent appelé transducteur ou transmetteur de pression, est un dispositif utilisé pour mesurer et convertir une pression mécanique ou hydraulique en un signal électrique.



Figure 18 Ensemble du capteur d'eau

### **6.2.2 Un capteur de niveau**

est un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du matériau, en général du liquide, dans un réservoir ou un autre récipient.



Figure 19 Capteur du niveau

## **6.3 Capteur de consommation d'énergie**

### **6.3.1 Les capteurs de courant**

Les capteurs de courant mesurent le courant électrique qui passe dans un câble ou un circuit. Ils peuvent être utilisés pour mesurer la consommation d'énergie d'un équipement ou d'un système.



Figure 20 Capteur du courant

### **6.3.2 Les capteurs de tension**

Les capteurs de tension mesurent la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit. Ils peuvent être utilisés pour mesurer la consommation d'énergie d'un équipement ou d'un système.

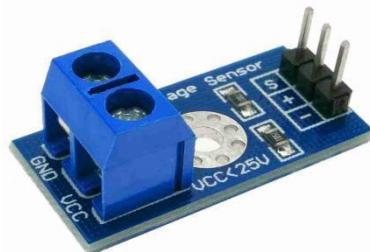


Figure 21 Capteur de tension

### **6.3.3 Les capteurs de puissance :**

Les capteurs de puissance mesurent la puissance électrique consommée par un équipement ou un système. Ils peuvent être utilisés pour mesurer la consommation d'énergie en temps réel et aider à optimiser l'efficacité énergétique.



Figure 22 Capteur de puissance

## **7. Conclusion**

Tout au long de ce second chapitre, nous avons présenté toutes les technologies sans fils utilisées dans le domaine de l'IoT. Une étude bien détaillée a été consacrée pour la technologie 4G et les technologies LPWAN. Pour répondre aux besoins de la CPG, on a choisi la technologie NB-IoT pour plusieurs avantages, spécialement, pour sa facilité d'intégration.

Le chapitre suivant discute les détails de la configuration.

## **Chapitre III : La Technologie NB-IOT**

### **1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous étudions les différentes configurations du réseau NB-IoT ainsi que le lancement de l'activation principale de cette technologie.

### **2. Présentation de la technologie NB-IoT**

Le NB-IoT (Narrowband Internet of Things) est une technologie de réseau cellulaire conçue spécifiquement pour les appareils de l'Internet des objets (IoT). Elle offre une couverture à large portée et une faible consommation d'énergie pour connecter des appareils nécessitant une longue durée de vie de la batterie et opérant dans des zones éloignées ou difficiles d'accès. Le NB-IoT est une technologie cellulaire normalisée définie par le projet 3rd Génération Partnership Project (3GPP) et fait partie des réseaux cellulaires 4G et 5G.

Le NB-IoT est optimisé pour les applications IoT qui nécessitent des débits de données faibles, une faible consommation d'énergie, une couverture étendue et une longue durée de vie de la batterie. Il fonctionne dans des bandes de fréquences sous licence, ce qui signifie qu'il offre un niveau de sécurité et de fiabilité plus élevé par rapport aux technologies IoT non autorisées comme LoRaWAN ou Sigfox. Le NB-IoT prend en charge une connectivité massive d'appareils, ce qui le rend adapté aux applications telles que les villes intelligentes, l'agriculture intelligente, la surveillance industrielle, la géolocalisation d'actifs et la télémétrie à distance.[11]

L'une des caractéristiques clés du NB-IoT est sa capacité à fonctionner dans les "bandes de garde" ou les bandes de fréquences inutilisées entre les canaux LTE (Long-Term Evolution). Cela permet au NB-IoT de coexister avec les réseaux LTE existants sans interférer avec leurs performances. Le NB-IoT prend également en charge trois modes de déploiement : in-band, Guard-band et standalone, offrant ainsi des options flexibles pour le déploiement du réseau.

### **3. Fréquence pour NB-IoT**

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

La fréquence de 800 MHz a été choisie pour le déploiement du NB-IoT sur les réseaux 4G pour plusieurs raisons :

Portée étendue : La fréquence de 800 MHz offre une meilleure propagation des ondes radio, ce qui permet d'obtenir une portée plus étendue. Cela signifie que les signaux NB-IoT à 800 MHz peuvent traverser des obstacles tels que les bâtiments, les murs ou les arbres avec moins d'affaiblissement du signal, ce qui les rend adaptés pour les déploiements dans des zones rurales ou peu peuplées où la densité de réseau peut être plus faible.

Pénétration en intérieur : Les signaux à basse fréquence comme 800 MHz ont une meilleure capacité à pénétrer à l'intérieur des bâtiments, ce qui permet au NB-IoT de fournir une meilleure connectivité à l'intérieur des structures, par exemple pour les applications de suivi d'actifs dans des entrepôts ou de surveillance dans des bâtiments industriels.[11]

Interférences réduites : Les fréquences plus basses comme 800 MHz sont moins susceptibles d'être affectées par les interférences radioélectriques, ce qui peut améliorer la fiabilité de la communication NB-IoT dans des environnements encombrés où il peut y avoir d'autres dispositifs radioélectriques.

Compatibilité avec l'infrastructure existante : La fréquence de 800 MHz est déjà largement utilisée pour les réseaux de téléphonie mobile 2G et 3G, ce qui signifie qu'il existe déjà une infrastructure de réseau existante dans de nombreuses régions pour prendre en charge le déploiement du NB-IoT à cette fréquence. Cela peut faciliter et accélérer le déploiement du NB-IoT sur les réseaux 4G existants.

### 4. Bande de fréquence pour NB-IoT

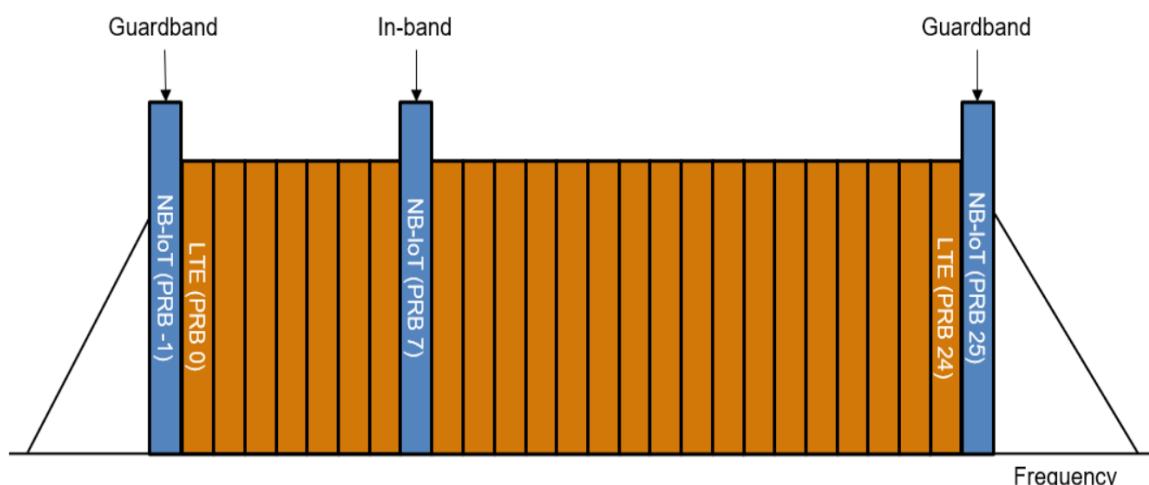


Figure 23 La bande des fréquence de NB-IoT

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Plus spécifiquement, dans le cas de l'inbande, les opérateurs de réseau utilisent une partie de la bande passante de leur réseau cellulaire existant pour les communications NB-IoT. Cela signifie que la bande passante pour NB-IoT et les communications mobiles traditionnelles sont partagées dans la même bande de fréquences, ce qui peut potentiellement entraîner des interférences.

Dans le cas de la garde bande, la bande de fréquences NB-IoT est située en dehors de la bande passante du réseau cellulaire existant, ce qui signifie qu'elle est moins susceptible de causer des interférences avec les communications mobiles traditionnelles. Cependant, cela nécessite une bande de fréquences dédiée pour les communications NB-IoT, ce qui peut être plus coûteux pour les opérateurs de réseau.

Dans ce cadre on peut utiliser 2 technologies :

### **● RB**

Dans le contexte des réseaux de communication mobile, "Rb" fait généralement référence à "Radio Bearer" ou "Support de Radiocommunication". Il s'agit d'une entité logique utilisée pour la transmission de données dans les réseaux de communication mobile, tels que les réseaux 4G (LTE) et 5G (NR).

Le "Rb" est utilisé pour transporter les données entre l'équipement utilisateur (UE) et le réseau de communication, et il peut être associé à une ou plusieurs ressources radio, comme des fréquences, des bandes de fréquences, ou des canaux de fréquences. Il est utilisé pour établir une connexion de communication entre l'UE et le réseau, et pour transmettre les données de manière efficace et fiable.

La capacité du "Rb" est généralement mesurée en termes de débit de données maximum qu'il peut transporter, souvent exprimé en bits par seconde (bps) ou en kilobits par seconde (kbps). La capacité du "Rb" peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la largeur de bande allouée, les taux de modulation, les schémas de codage, les niveaux de modulation et de codage adaptatifs (AMC), ainsi que d'autres paramètres de configuration du réseau.

### **● GP**

L'intervalle de garde est une période de temps entre les trames ou les symboles de données transmis dans un réseau sans fil, et il est utilisé pour éviter les interférences entre les trames ou les symboles adjacents. Il existe plusieurs méthodes d'intervalle de garde qui peuvent être utilisées dans les systèmes de communication sans fil, notamment :

Intervales de garde cycliques (Cyclic Guard Intervals, CGI) : Dans cette méthode, une période de temps fixe est réservée entre les trames successives pour éviter les interférences. La durée de l'intervalle de garde cyclique est généralement choisie en fonction de la durée de propagation du signal dans le canal de communication sans fil.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Lorsqu'en utilise la fréquence 800mhz le BW =200khz

**BW : Bandwidth** (Largeur de bande) : Il s'agit de la plage de fréquences utilisées pour transmettre des signaux dans un système de communication. Elle est mesurée en hertz (Hz) et détermine la quantité d'information qui peut être transmise sur un canal de communication donné. Une largeur de bande plus large permet généralement de transmettre plus de données, mais peut nécessiter plus de Ressources en termes de spectre radioélectrique.

## **5.Configuration de NB-IoT**

Pour activer le réseau NB-IoT, on doit suivre les étapes suivantes :

### **5.1 partie radio**

#### **5.1.1 Configuration RRU**

Vérifiez que la RRU prend en charge la technologie NB-IoT. La RRU est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT à utiliser.

Connectez la RRU au réseau de base. La RRU doit être connectée au système de gestion de réseau pour configurer les paramètres de réseau et de sécurité appropriés.

Configurez les paramètres de la RRU pour prendre en charge NB-IoT. Cela peut inclure la configuration des paramètres de transmission et de réception, tels que la bande de fréquences, la puissance de transmission, la modulation, etc.

Configurez les paramètres de sécurité pour la RRU. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données transmises entre les appareils et le réseau sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Testez la RRU pour assurer qu'elle fonctionne correctement. Effectuer des tests pour vérifier la qualité de la connexion et la vitesse de transmission de données.

#### **5.1.2 Configuration BBP**

Vérifier que le BBP prend en charge la technologie NB-IoT. Assurer que le BBP est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT à utiliser.

Connecter le BBP aux autres équipements du réseau, tels que les RRU (Remote Radio Units) et les systèmes de gestion de réseau. Le BBP doit être connecté aux RRU pour permettre la transmission et la réception des signaux radio entre les appareils mobiles et le réseau.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Configurer les paramètres du BBP pour prendre en charge NB-IoT. Cela peut inclure la configuration des paramètres de modulation, de codage, de multiplexage et d'autres paramètres pour assurer une transmission de données efficace.

Configurer les paramètres de sécurité pour le BBP. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données transmises entre les appareils et le réseau sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Tester le BBP pour assurer qu'il fonctionne correctement. Effectuer des tests pour vérifier la qualité de la connexion et la vitesse de transmission de données.

### **5.1.3 Software :**

Configure et mise à jour des logiciels utilisés pour la société pour devoir être compris les signaux entre.

Nb: pour cette étape orange est le supporte du réseau NB-IoT

## **5.2 partie core network**

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

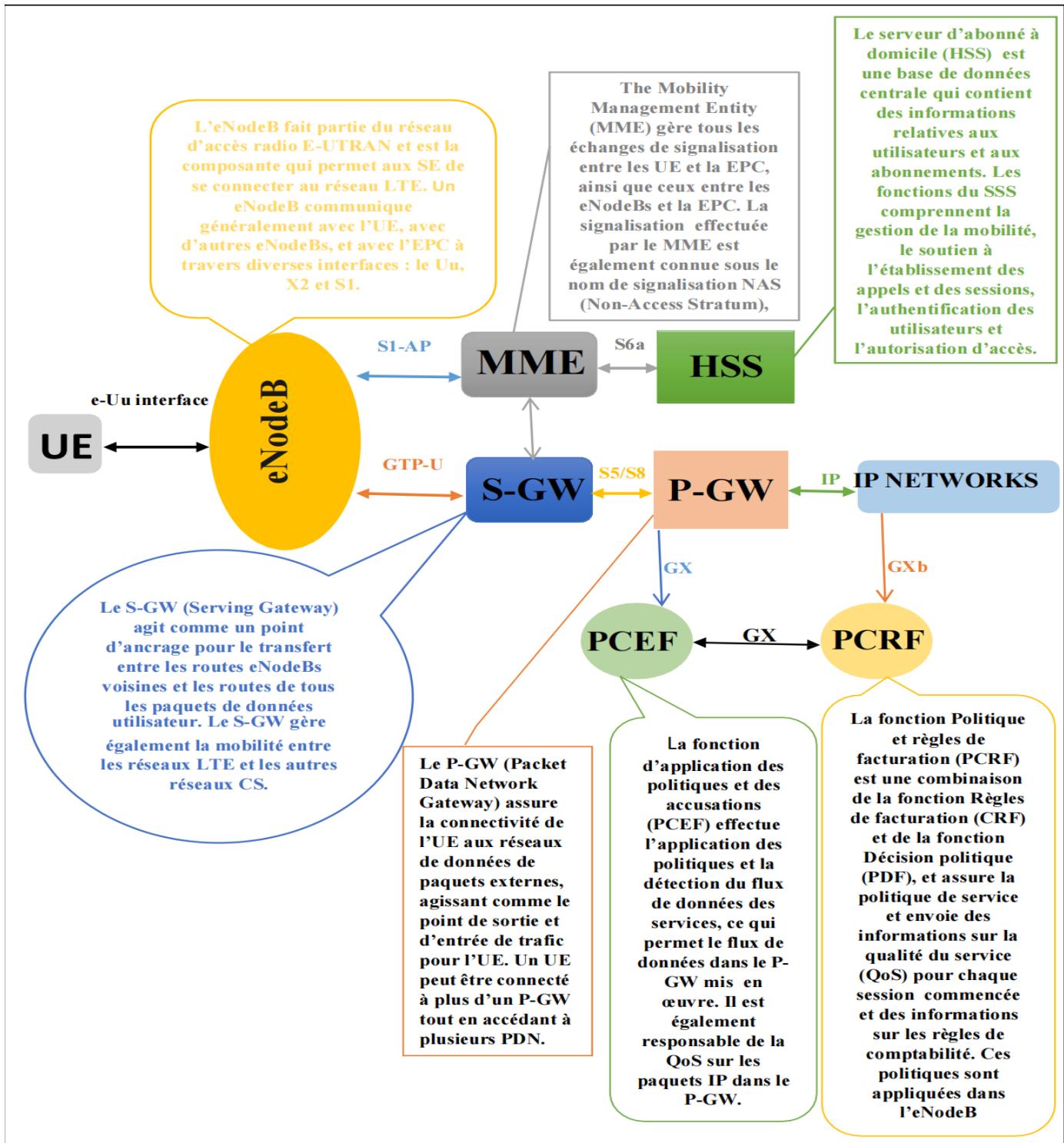


Figure 24 Core network de NB-IoT

### 5.2.1 Mme

Vérifiez que le MME prend en charge la technologie NB-IoT. Assurez-vous que le MME est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT que vous souhaitez utiliser.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Configurez les paramètres de sécurité pour le MME. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données transmises entre les appareils et le réseau sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Configurez les paramètres de mobilité pour le MME. Les paramètres de mobilité doivent être configurés pour garantir une gestion efficace de la mobilité des appareils dans le réseau.

Configurez les paramètres d'authentification pour le MME. Les paramètres d'authentification doivent être configurés pour garantir que les appareils sont authentifiés et autorisés à accéder au réseau.

Connectez le MME aux autres équipements du réseau, tels que les S-GW (Serving Gateway) et les HSS (Home Subscriber Server). Le MME doit être connecté aux S-GW et HSS pour permettre la gestion de la mobilité des appareils et l'authentification des abonnés.

### **5.2.2 P-GW**

Vérifiez que le P-GW prend en charge la technologie NB-IoT. Assurez-vous que le P-GW est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT que vous souhaitez utiliser.

Configurez les paramètres de sécurité pour le P-GW. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données transmises entre les appareils et le réseau sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Configurez les paramètres de connectivité pour le P-GW. Les paramètres de connectivité doivent être configurés pour permettre la connexion des appareils mobiles à Internet et à d'autres réseaux de données.

Connectez le P-GW aux autres équipements du réseau, tels que les S-GW (Serving Gateway), les MME (Mobility Management Entity) et les réseaux de données. Le P-GW doit être connecté aux S-GW et MME pour permettre la gestion de la mobilité des appareils et l'authentification des abonnés.

Testez le P-GW pour vous assurer qu'il fonctionne correctement. Effectuez des tests pour vérifier la qualité de la connexion et la vitesse de transmission de données.

### **5.2.3 S-GW**

Vérifiez que le S-GW prend en charge la technologie NB-IoT. Assurez-vous que le S-GW est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT que vous souhaitez utiliser.

Configurez les paramètres de sécurité pour le S-GW. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données transmises entre les appareils et le réseau sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Configurez les paramètres de mobilité pour le S-GW. Les paramètres de mobilité doivent être configurés pour garantir une gestion efficace de la mobilité des appareils dans le réseau.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Connectez le S-GW aux autres équipements du réseau, tels que les MME (Mobility Management Entity) et les P-GW (Packet Data Network Gateway). Le S-GW doit être connecté aux MME et P-GW pour permettre la gestion de la mobilité des appareils et le transfert de données.

Testez le S-GW pour vous assurer qu'il fonctionne correctement. Effectuez des tests pour vérifier la qualité de la connexion et la vitesse de transmission de donnée

### **5.2.4 HSS:**

Vérifiez que le HSS prend en charge la technologie NB-IoT. Assurez-vous que le HSS est compatible avec la bande de fréquences NB-IoT que vous souhaitez utiliser.

Configurez les paramètres de sécurité pour le HSS. Les paramètres de sécurité doivent être configurés pour garantir que les données stockées dans le HSS sont sécurisées et protégées contre les attaques malveillantes.

Configurez les informations d'abonnement pour les utilisateurs de NB-IoT. Les informations d'abonnement doivent être stockées dans le HSS pour permettre aux utilisateurs de se connecter au réseau et d'utiliser les services.

Connectez le HSS aux autres équipements du réseau, tels que les MME (Mobility Management Entity) et les réseaux de données. Le HSS doit être connecté aux MME pour permettre l'authentification des abonnés et la gestion de la mobilité des appareils.

Testez le HSS pour vous assurer qu'il fonctionne correctement. Effectuez des tests pour vérifier la qualité de la connexion et la vitesse de transmission de données.

Nb : cette partie ne est pas lier avec les service que je travaille avec eux et en plus cette configuration besoin d'argent 80.000\$

## **6. Module NB-IoT**

Le SIM7000 est un module de communication sans fil qui prend en charge la technologie NB-IoT (Narrowband Internet of Things). Ce module est produit par la société chinoise SIMCOM Wireless Solutions et est conçu pour être utilisé dans des applications IoT telles que la surveillance à distance, la télémétrie, le suivi des actifs et la gestion des équipements.

Le module SIM7000 prend en charge les bandes de fréquences NB-IoT de 700 MHz à 2200 MHz et dispose également d'un module GNSS (Global Navigation Satellite System) pour la géolocalisation. Il est conçu pour être compatible avec les normes de communication 3GPP Release 14 pour les communications NB-IoT et peut être utilisé avec différentes antennes et adaptateurs de carte SIM.

Le module SIM7000 est livré avec un ensemble complet de pilotes et d'API pour faciliter l'intégration du module dans les applications. Il peut être contrôlé à l'aide de commandes AT standard et est également compatible avec les plates-formes de développement populaires telles qu'Arduino et Raspberry Pi.[1]

Le module SIM7000 est une solution facile à utiliser et rentable pour les applications IoT nécessitant des communications NB-IoT et une géolocalisation précise. Cependant, la configuration précise du module peut varier en fonction de l'application et des exigences spécifiques, il est donc recommandé de suivre les instructions fournies par SIMCOM pour garantir une intégration optimale du module.



Figure 25 Module NB-IoT sim 7000

## **7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traitées la partie de la configuration : côté radio et module afin d'assurer l'activation du réseau NB-IoT intégré dans le réseau 4G.

## Chapitre IV : Simulations et discussions des résultats

### 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous effectuons des tests des simulations appliqués sur le réseau NB-IoT. Nous intéressons également par la validation de l'activation de réseau dans le divers point de la CPG.

### 2. Collection des données

#### 2.1 Visite en terrain de CPG

Lors de notre visite de la CPG le 06 au le 09 Mars 2023, on avions pris des données de la CPG comme les types des capteurs que on avions présenté dans le second chapitre. Quelques exemples des données des mesures et le type du réseau sont également prises.

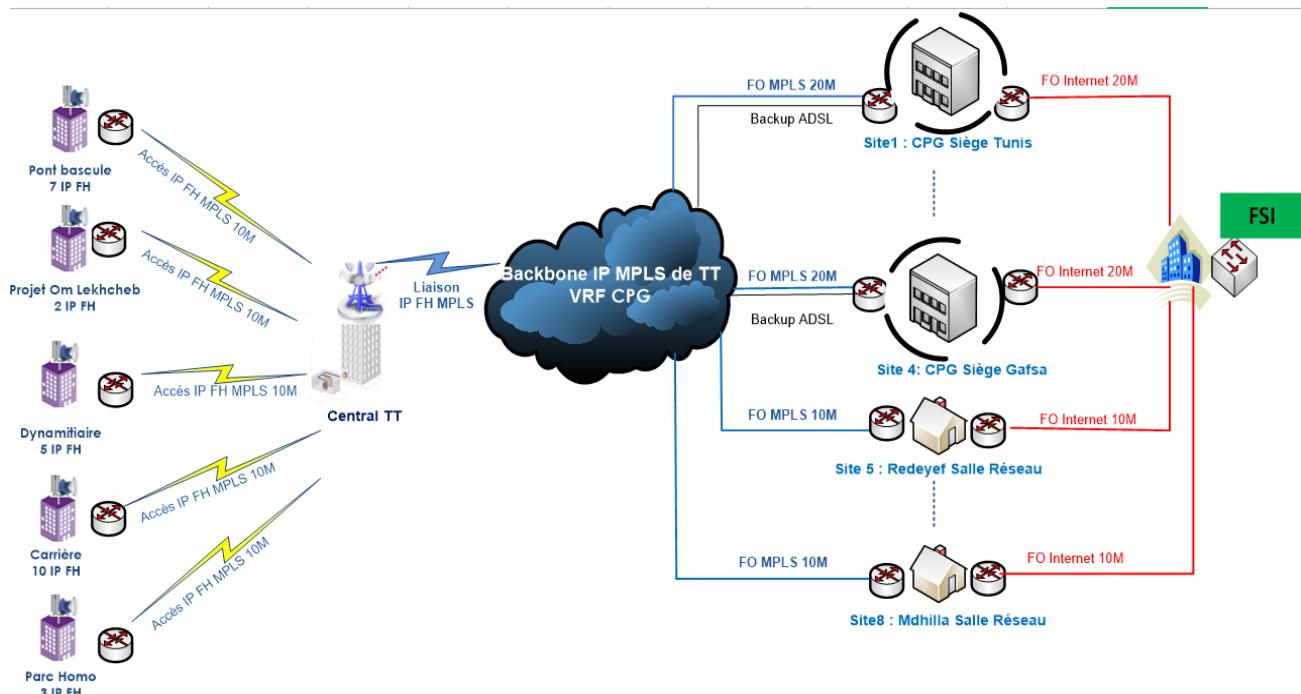


Figure 26 Réseau CPG

Dans les réseaux informatiques et les télécommunications, Multiprotocol Label Switching est un mécanisme de transport de données basé sur la commutation de labels, qui sont insérés à l'entrée du réseau MPLS et retirés à sa sortie. la CPG utilise ce technologie au niveau ces stations du production .

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG



Figure 27 Exemple de la mesure



Figure 28 Données de la mesure

La rôle principale de l'application et de contrôle et gérer tous les données qui est transféré l'état des appareils. La CPG utilise thingsboard comme une interface open source pour les données de mesure

## 2.2 coordonnées GPS de la CPG :

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Le bassin minier de gafsa regroupe six secteurs d'extractions et de traitement de phosphate qui sont localisées à:

Mdhilla ,Metlaoui ,Moulares et Redeyef

Dans ce contexte on a localisé ses plusieurs points d'activités selon leurs coordonnées géographiques dans le tableau ci-dessous :

Tableau4. Les coordonnées GPS

1	secteur nom	Active	type des capteurs	type des données	n° capteur	Latitude	Longitude
2	bassin d eau cpg	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie	(niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.376.849	8.434.326
3	bassin kef eddour	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie	(niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.391.524	8.341.579
4	bassin laverie 1	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie	(niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.319.276	840.389
5	bassin laverie 2.3.4 metlaoui	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.343.316	8.402.391
6	bassin mdhilla	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.243.236	8.645.999
7	carrier moulares	●	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.519.036	8.270.059
8	carrier redeyef	●	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.390.964	8.267.254
9	kef chfaier	●	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.400.379	84.533.394
10	kef eddour carrier	●	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.385.167	8.354.373
11	laverie 1 mdhilla	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.290.442	8.742.681
A	B	C	D	E	F	G	
12	laverie 1 metlaoui	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	343.200.718	84.042.962
13	laverie 2 mdhilla	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.236.302	8.644.592
14	laverie 2metlaoui	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.343.609	8.403.174
15	laverie 3 metlaoui	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.341.457	840.277
16	laverie 4 metlaoui	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	3.434.064	8.401.955
17	laverie caf eddour	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	3.438.848	8.341.324
18	laverie moulares	●	capteru d'eau, capteurs des consommations d energie, capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.489.756	8.263.058

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

19	laverie om lekcheb	capteru d'eau, capteurs des consommations d'energie,capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.320.613	8.464.578
20	laverie redeyef	capteru d'eau, capteurs des consommations d'energie,capteur de poids	(quantité,niveau ,presion)(tension,courant,puissance actif,reactif)(cumul,vitesse,debit)	***	34.384.237	8.147.044
21	mzinda mdhilla carrier	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d'energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	342.201.927	85.700.535
22	om lekcheb carrier et laverie	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d'energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	34.356.896	8.483.135
23	tables de metlaoui	capteur de niveau de phosphate ,capteurs des consommations d'energie	(hauteur )(tension,courant,puissance actif,reactif)	***	343.561.516	8.431.361

### 2.3 Mise en place sur la carte

A ce niveau du travail, nous avons mis en place les coordonnées sur la carte du things board car elle permet de montrer les zones des bassins des phosphates.

La figure suivante montre l'emplacement :



Figure 29 Usine et carrier kef eddour



Figure 30 Secteur Metlaoui avec

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

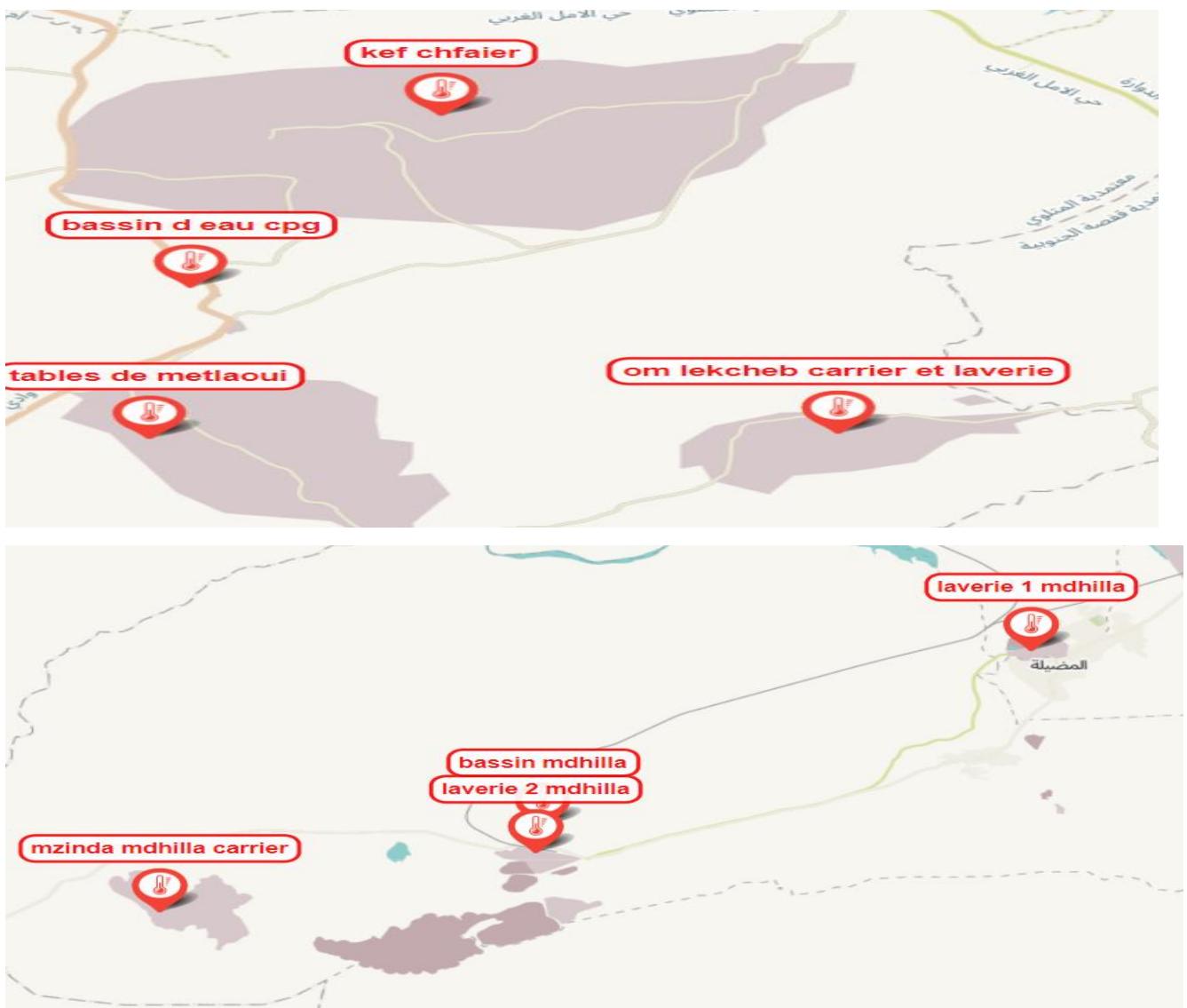


Figure 31 Secteur Mdhilla

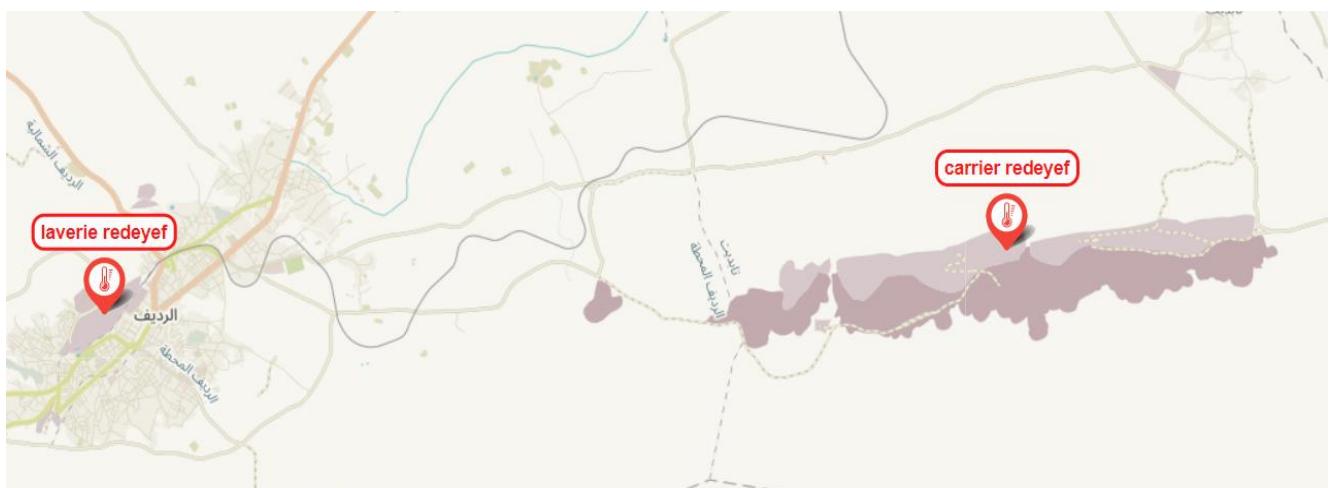


Figure 32 Secteur Redeyef

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

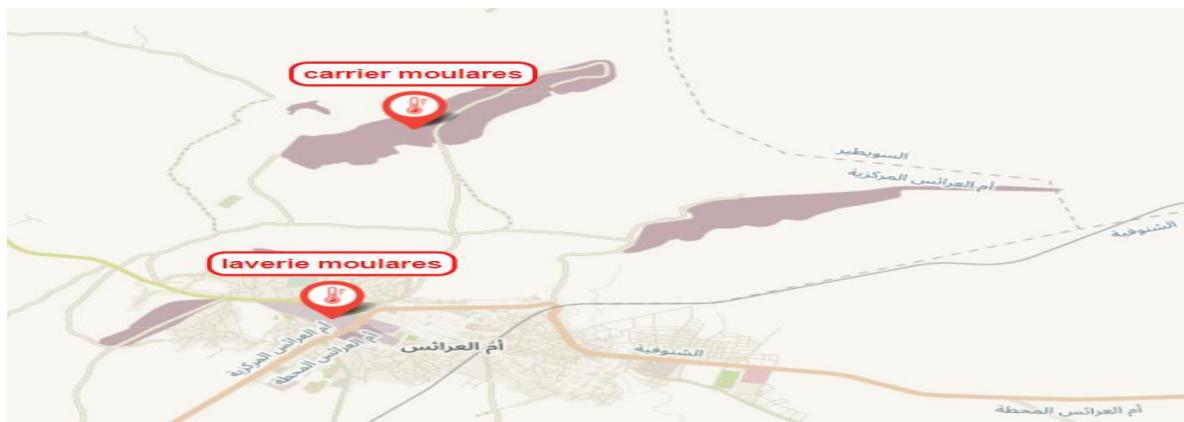


Figure 33 Secteur Moulares

Finalement, lorsque nous sélectionnons tous les points de la CPG, nous utiliserons la carte du google earth :



Figure 36 Logo google earth

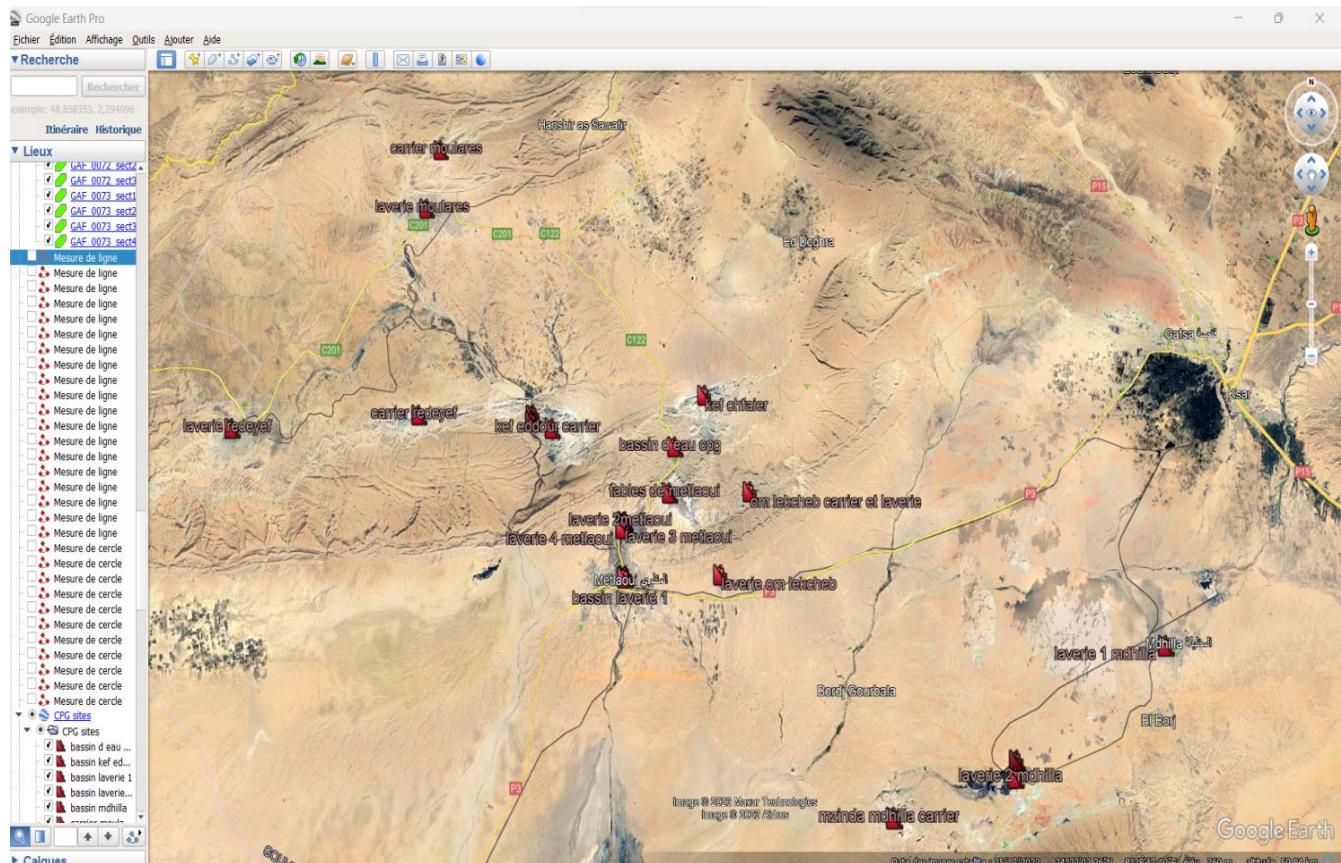


Figure 37 Emplacement sur google earth

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

### 2.4 Site radio orange :

L'étape suivante est la mise en place des sites radio orange pour assurer des liaisons avec les ponts de la CPG sur la carte.

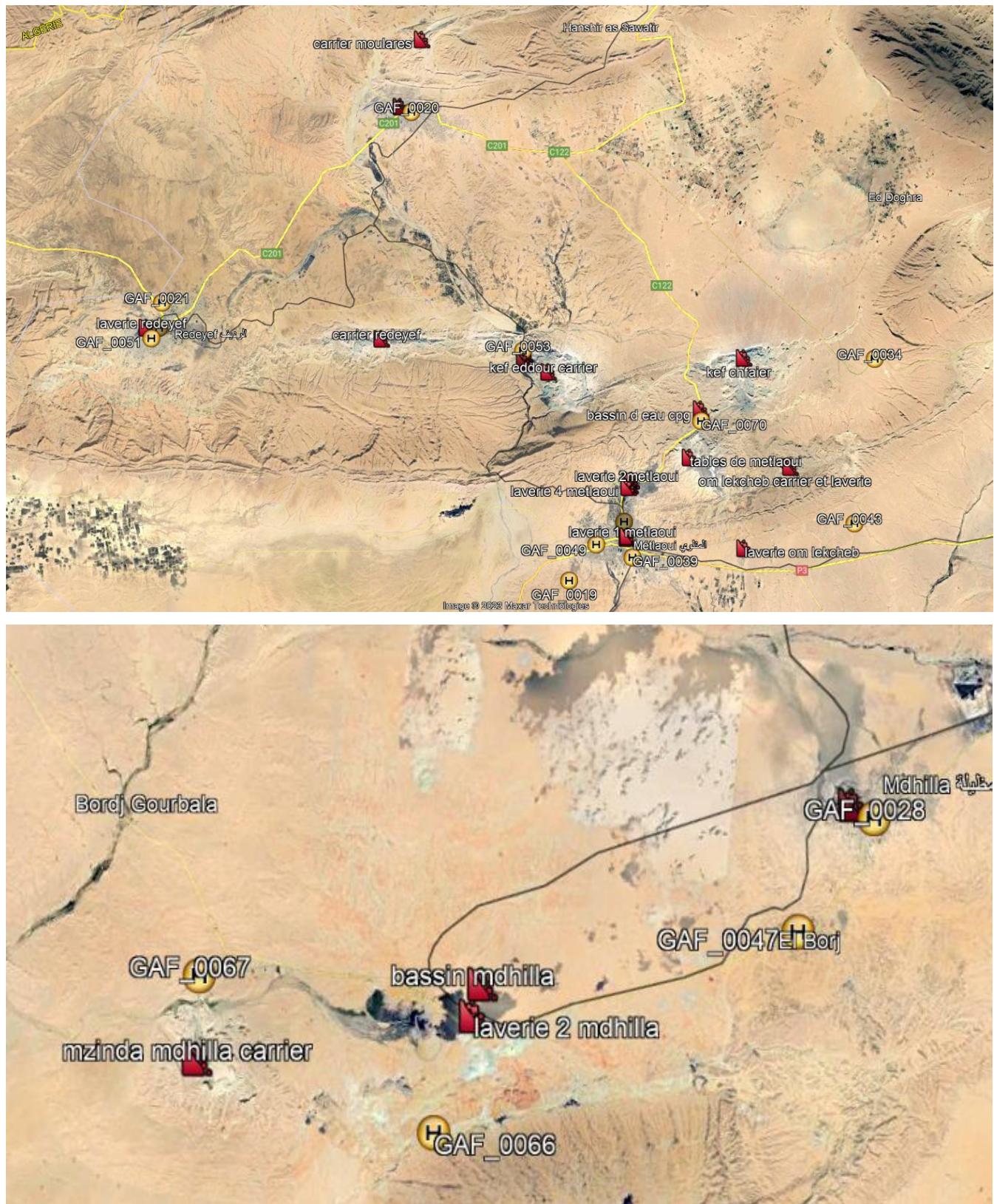


Figure 38 Mise en place des sites radio Orange

### 2.4.1 Azimute des sites

Nous avons effectué un planning de l'azimute des sites radio Orange grâce au type de fichier KMZ pour indiquer l'orientation des azimutes.



Figure 39 Azimute

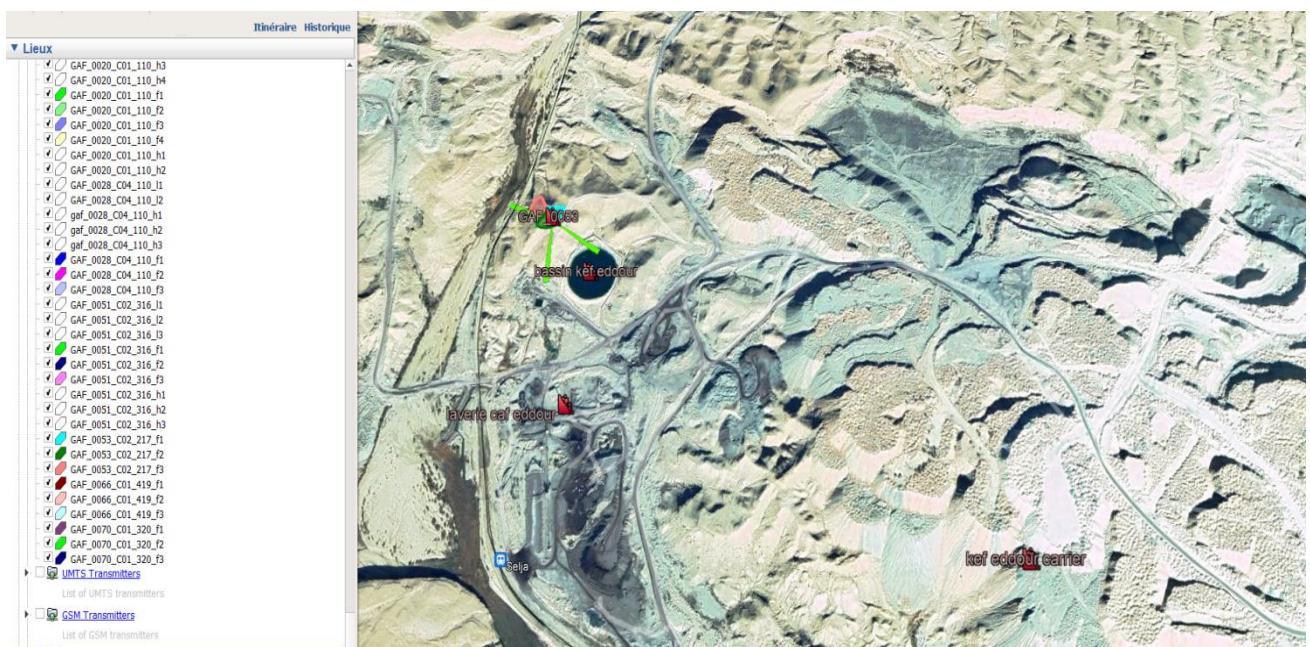


Figure 40 orientation des azimutes avec 4g

#### **2.4.2 Choix des sites**

Après avoir effectué un filtrage du plus proche secteur de site radio pour chaque point, nous choisissons les cellules suivantes pour continuer le travail.

Tableau5. La tâche de filtrage du site

cel	sect	azimuth
GAF_0020	sect4	300
GAF_0051	sect3	320
GAF_0053	sect1	120
GAF_0053	sect2	180
GAF_0070	sect1	70
GAF_0070	sect2	210
GAF_0070	sect3	300
GAF_0018	sect1	20
GAF_0018	sect2	140
GAF_0067	****	****
GAF_0066	sect3	320
GAF_0028	sect3	320

### **3. Simulation**

#### **3.1 Introduction de simulation**

La simulation d'un réseau mobile est une technique dans laquelle un simulateur (logiciel) modélise le comportement du réseau. La mise en réseau nécessite l'utilisation des outils informatiques, plus précisément des logiciels de planification ou d'ordonnanceurs. Il existe de nombreux planificateurs de réseau, notamment Atoll, Nokia Planer, Siemens Planer, Ericsson Planer. Dans ce qui suit, on manipule le logiciel Atoll vu que celui le logiciel utilisé par la société Orange.

#### **3.2 Présentation de logiciel Atoll**

Atoll est un logiciel de dimensionnement et de planification de réseaux cellulaires qui peut être utilisé sur tout le cycle de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation).

La planification et l'optimisation sont fondées sur les prévisions et les mesures. Les capacités uniques d'Atoll comprennent l'utilisation de prédictions et de données réseau en direct (2G, 3G, 4G et futur 5G) tout au long du processus de planification et d'optimisation du réseau. Atoll intègre des données de réseau en direct multi-technologies (KPI et UE/traces de cellules) pour ajouter des informations du monde réel afin de permettre une meilleure modélisation de l'évolution du trafic, l'identification des points chauds de la circulation (cartes thermiques) et l'accord des données de propagation. Les données en direct peuvent également être utilisées pour piloter le processus de planification (sélection de petites cellules) et pour piloter les algorithmes d'optimisation de l'AFP et de l'ACP.

## **Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG**

Ce logiciel utilise diverses données d'entrée et permet également de sélectionner le type de données souhaité. La technologie choisie permet de définir le modèle de propagation, le type d'antenne et d'autres paramètres. [2]

Enfin, une fois le réseau planifié, l'outil ATOLL peut être utilisé pour créer des multiples prédictions, par exemple :

- Les couvertures sont faites en fonction du niveau du champ.
- Protection de l'émetteur.
- La capacité de la cellule est prévue.

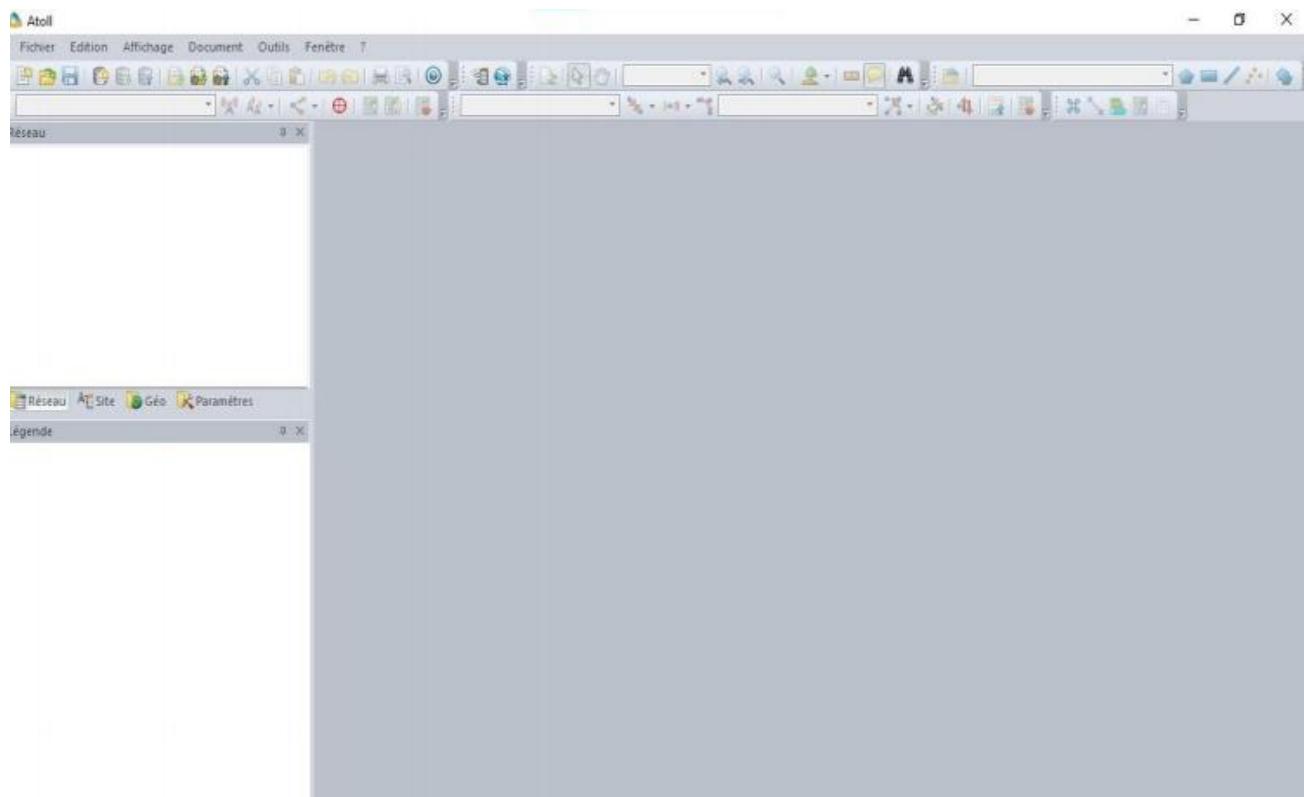


Figure 41 Logo ATOLL

### **3.3 Lancement de la simulation**

#### **3.3.1 configuration**

Lorsqu'en ouvrir l'ATOLL ,1er étapes en va configurer les détails que nous avons traitées



## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Figure 41 Nouveau fichier Atoll

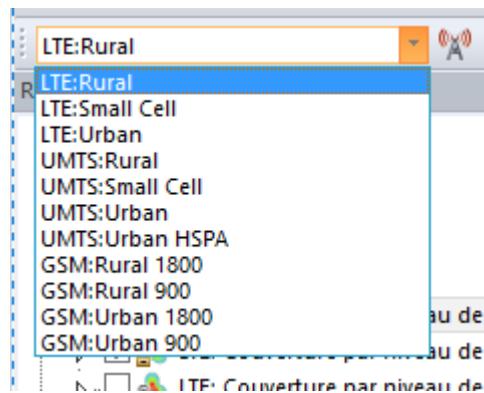


Figure 42 Bibliothèque

La figure 42 montre le choix de la bibliothèque sur Atoll que on l'utilisera pour faire le planning et les tests.

Nous ajoutons par la suite la maps et les sites d'orange du 4G du sur le logiciel

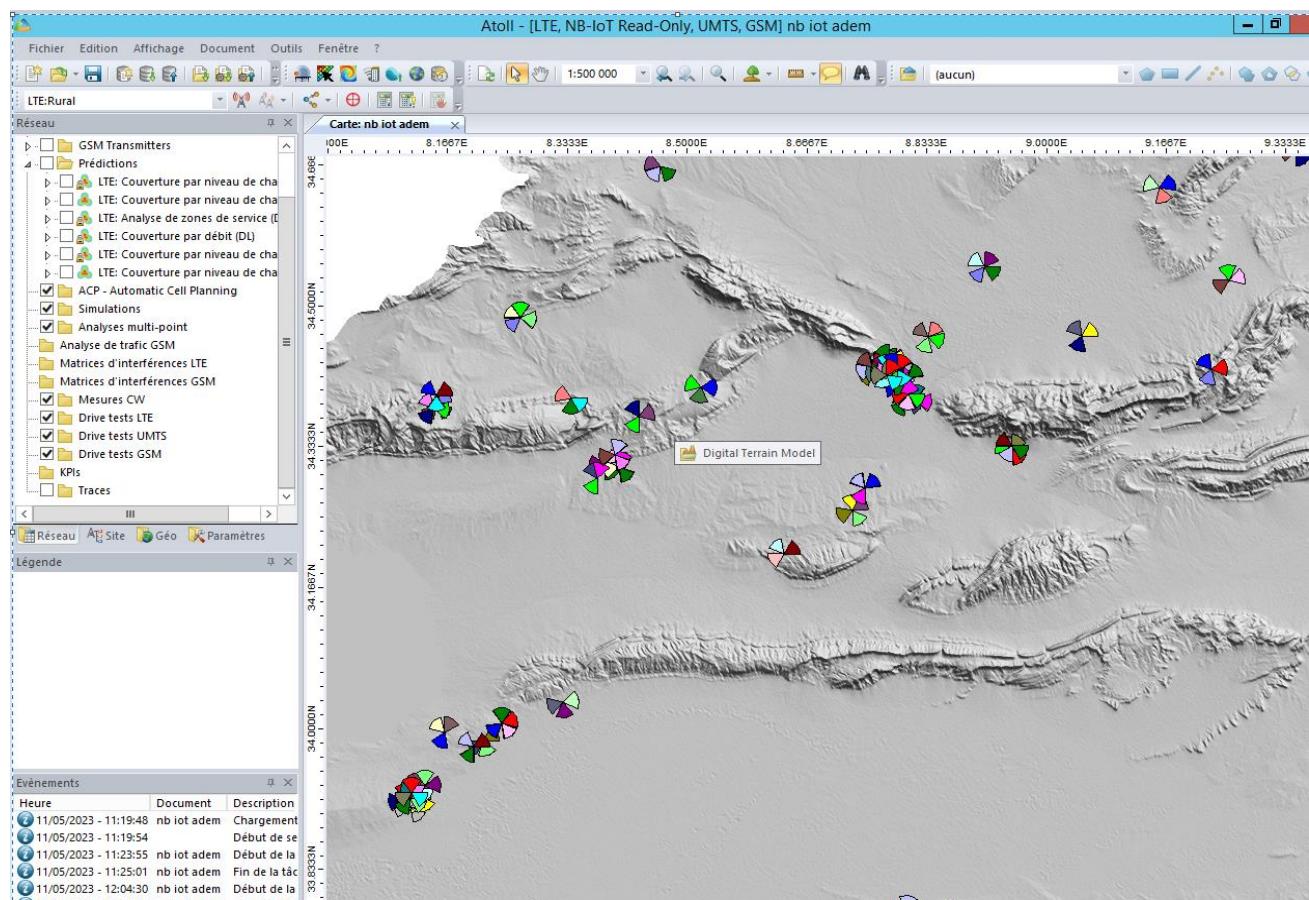


Figure 43 Maps et sites sur Atoll

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

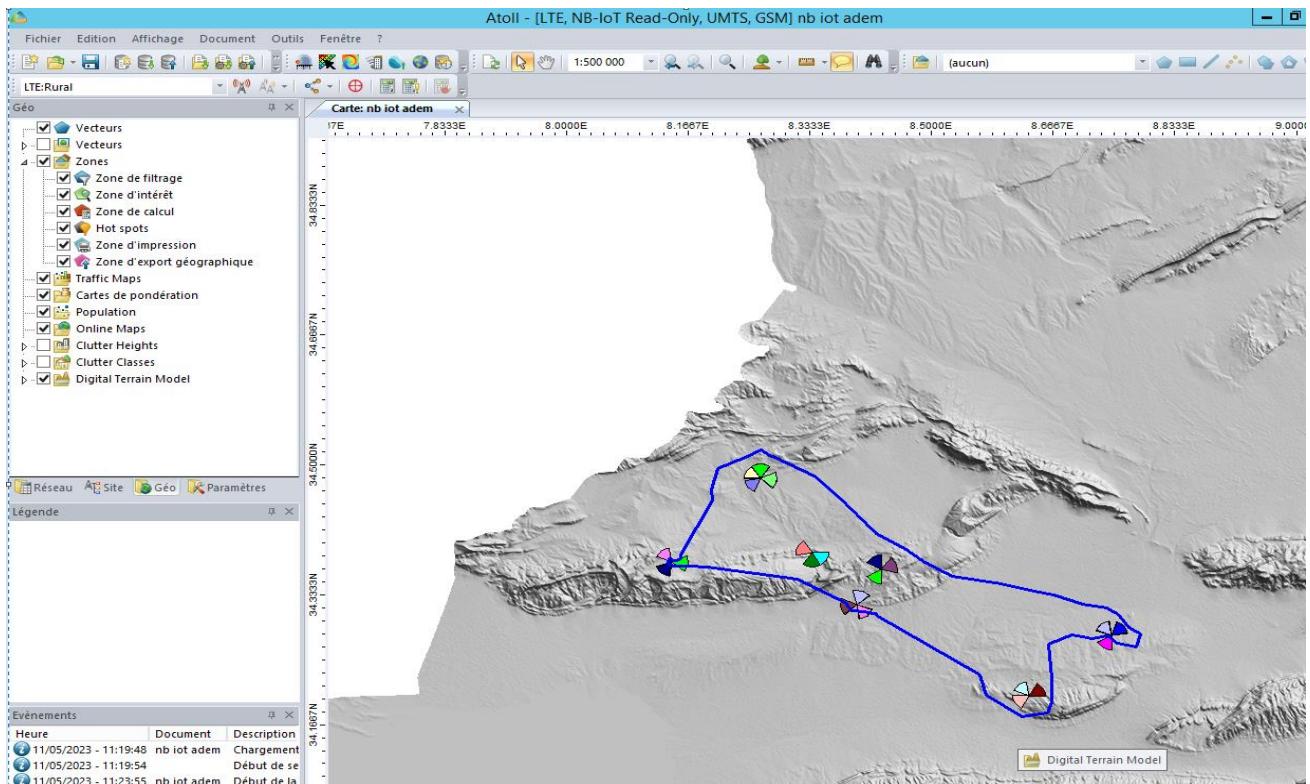


Figure 44 Filtrage de zone

Nous appliquerons par la suite un filtrage de zone pour sélectionner les sites les plus proches des points de la CPG.

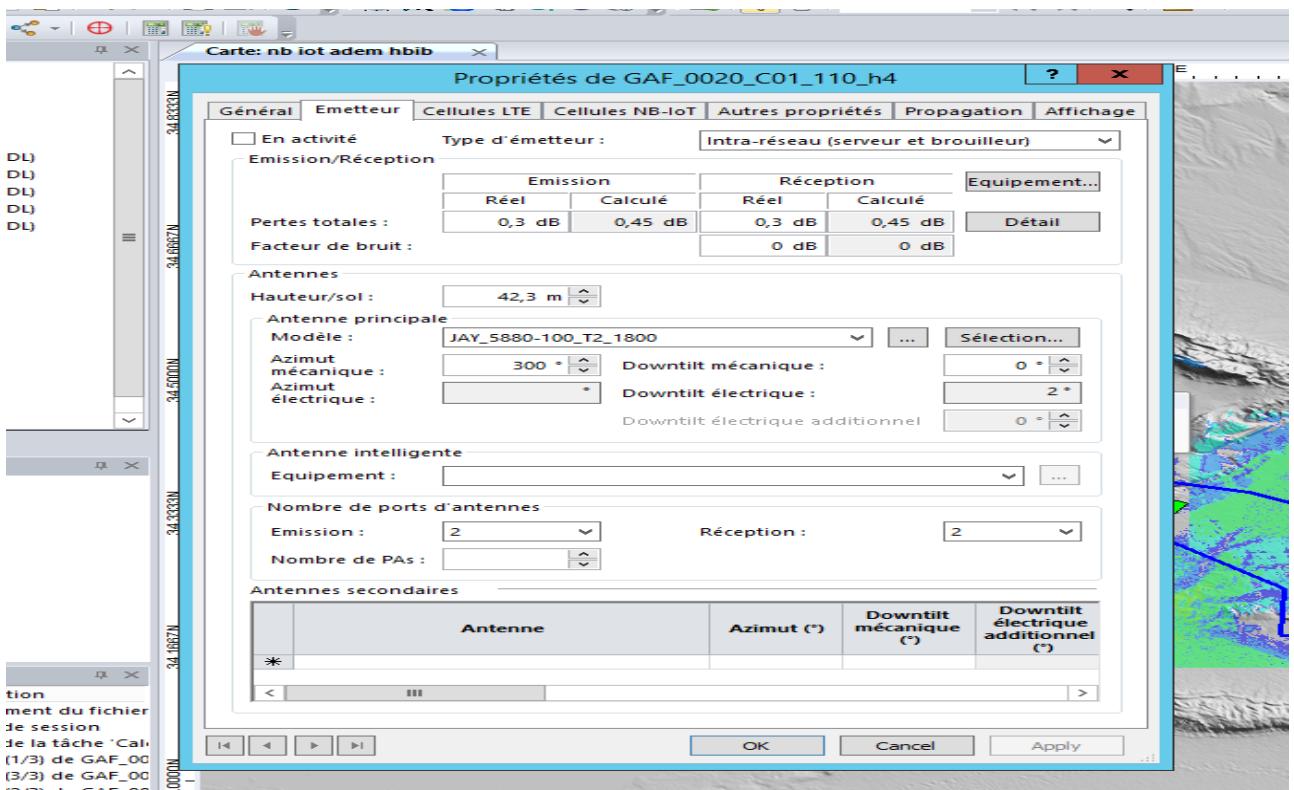


Figure 45 Propriétés

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Ensuite nous ferons des réglages sur les cellules du LTE. La figure suivante présente le résultat trouvé :

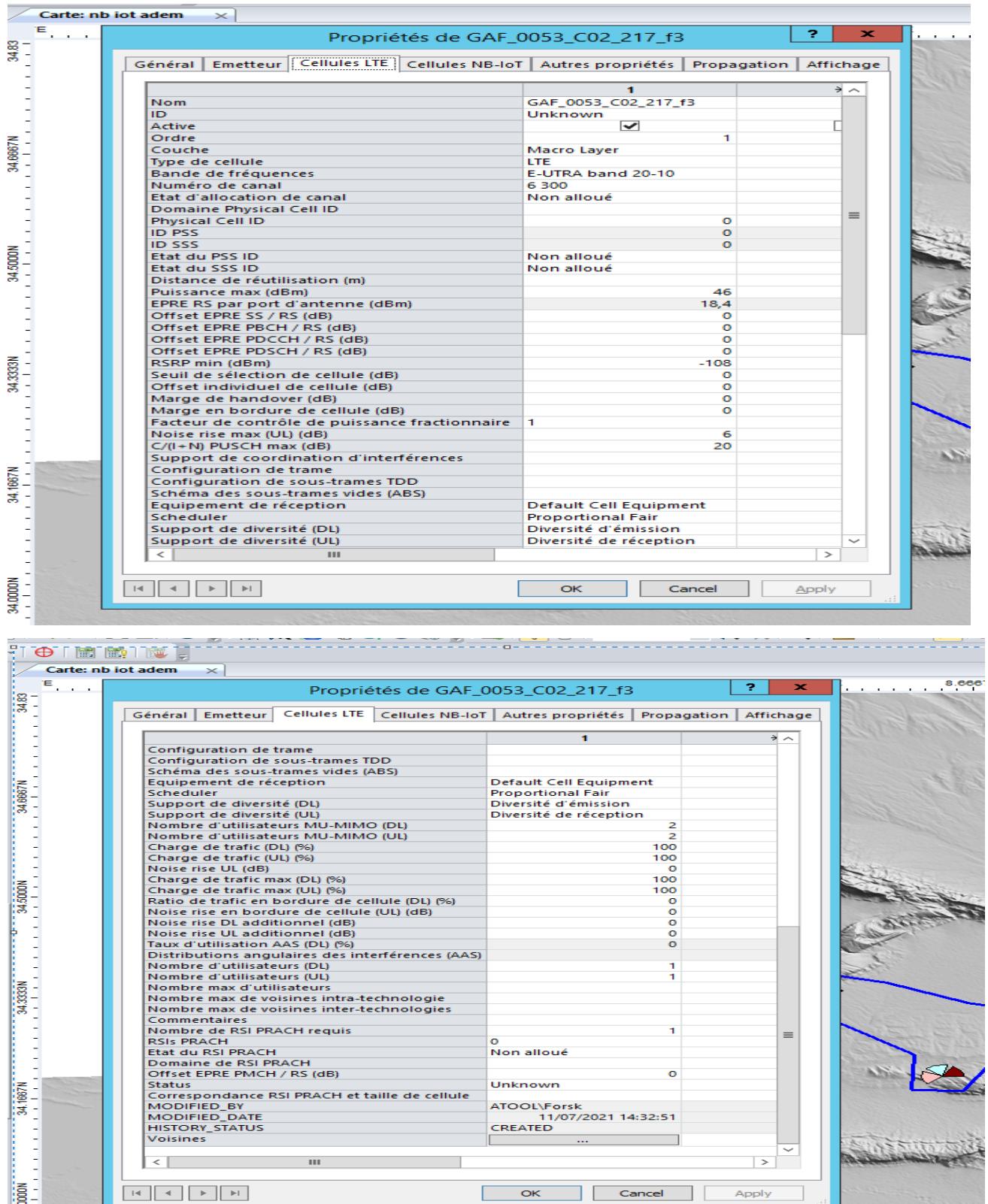


Figure 46 Résultat 4g

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

C'est la carte de la configuration avec des normes bien définies pour assurer le support de la transmission.

### 3.3.2 Résultats et interprétation

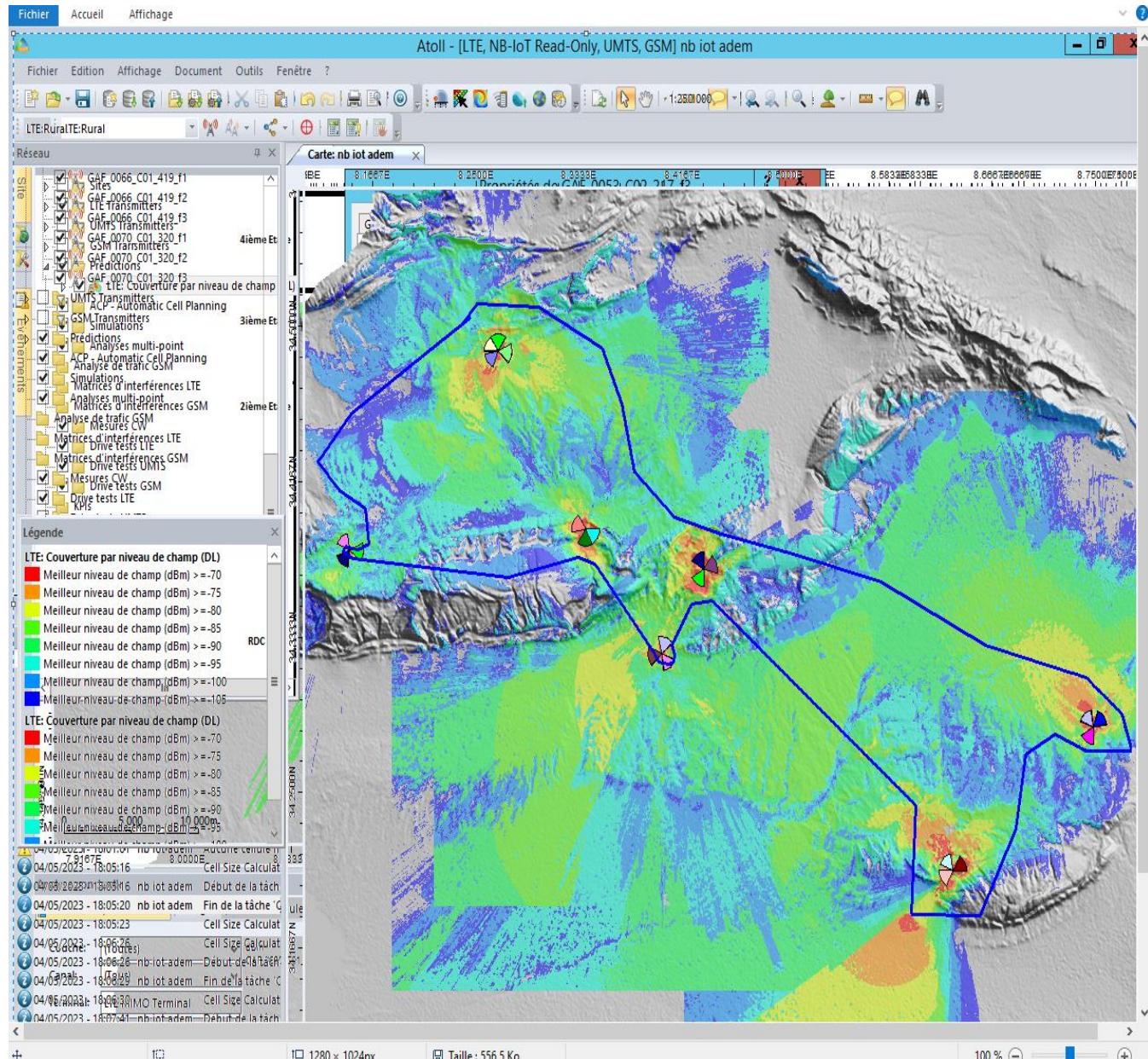


Figure 47 Premier test de couverture

Cette figure représente le test de la couverture, au niveau du champ, par un réseau NB-IoT .  
Le fonctionnement est bien réussi.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

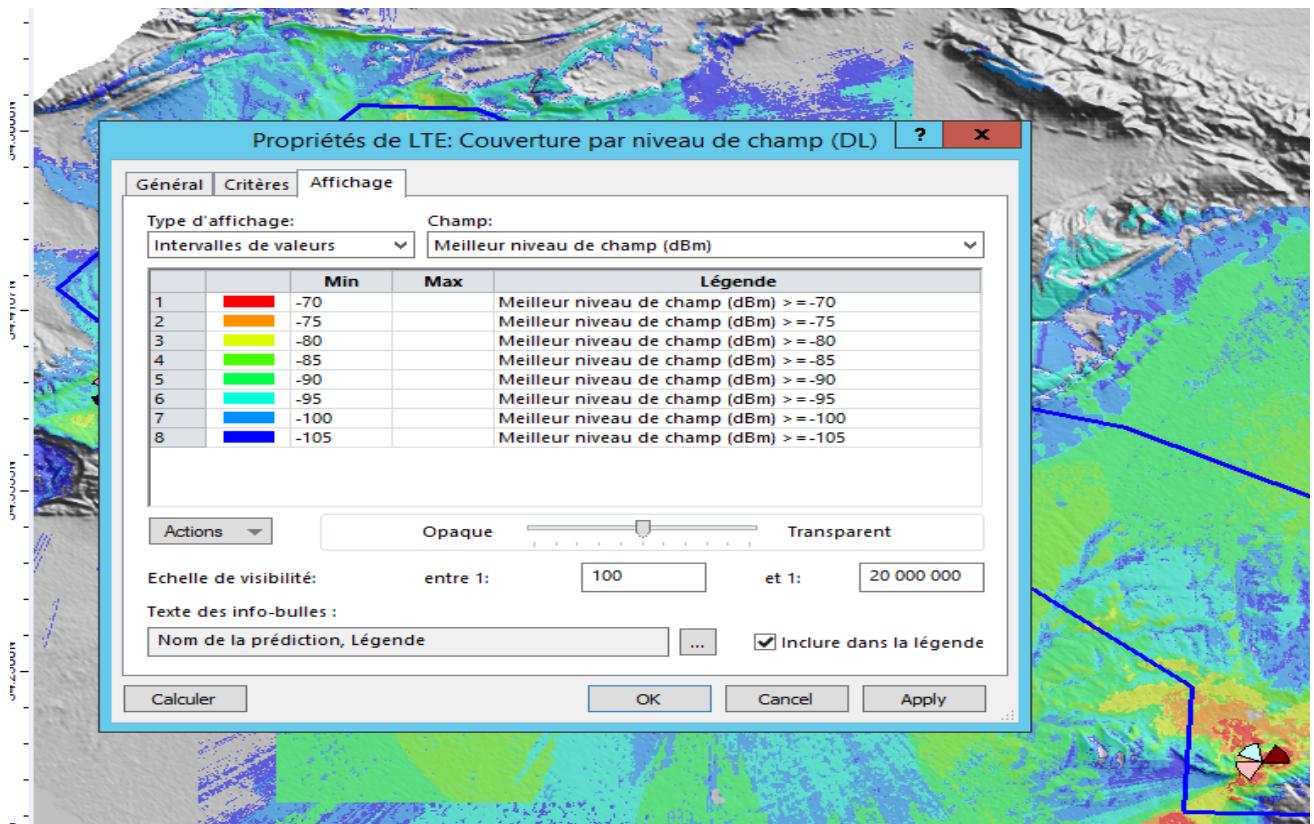


Figure 48 Propriétés de couverture

Cette figure représente les échelles que nous avons appliqué pour faire les tests de couverture

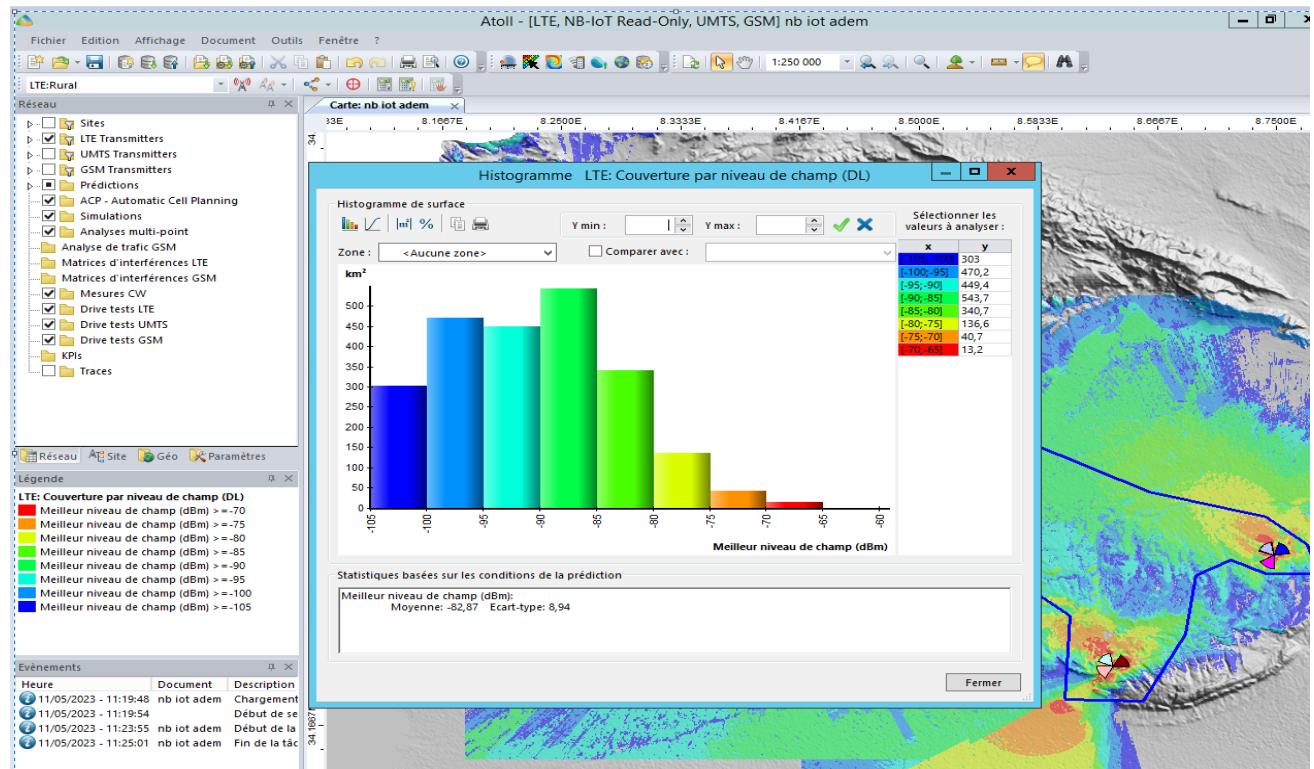


Figure 49 Statistiques

Pour cette figure représente les statistiques de chaque zones selon les échelles que nous avons utilisé.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

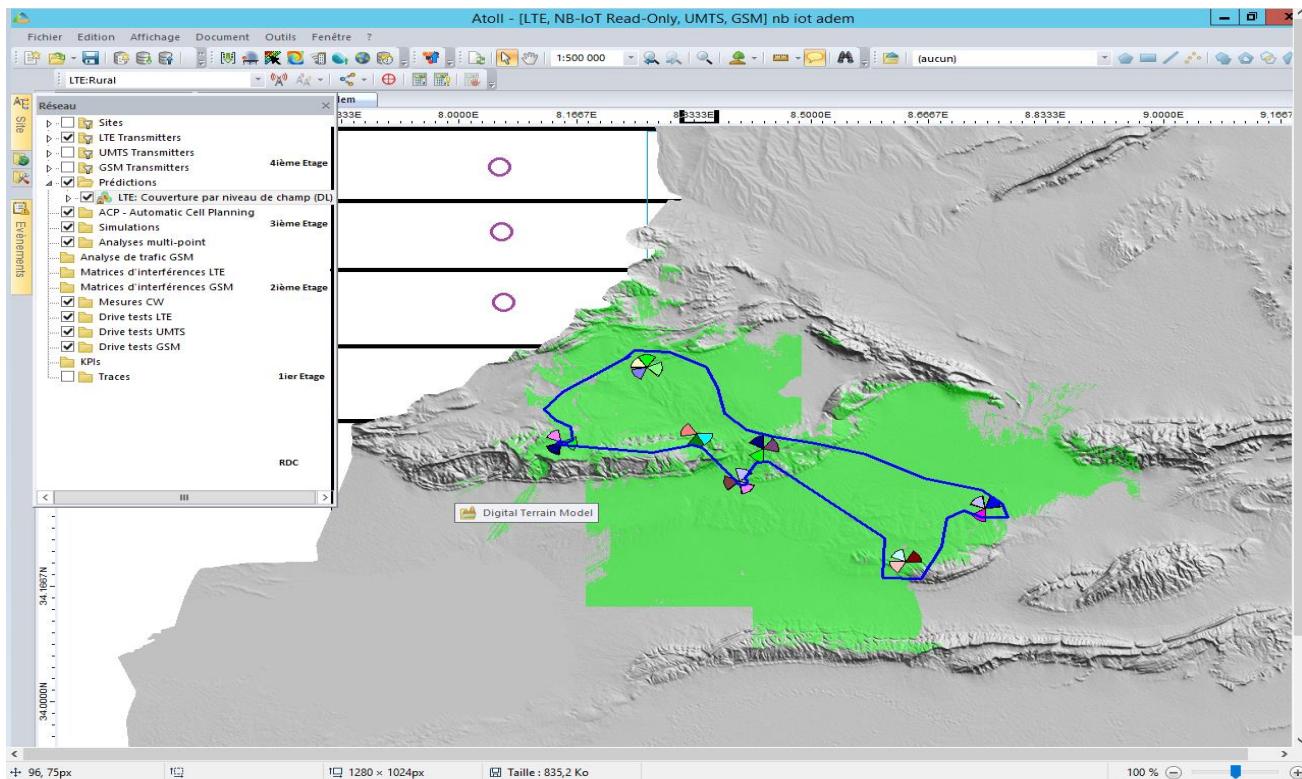


Figure 50 Première test

La figure 50 présente les mêmes caractéristiques que la figure 47 mais en une seule couleur.

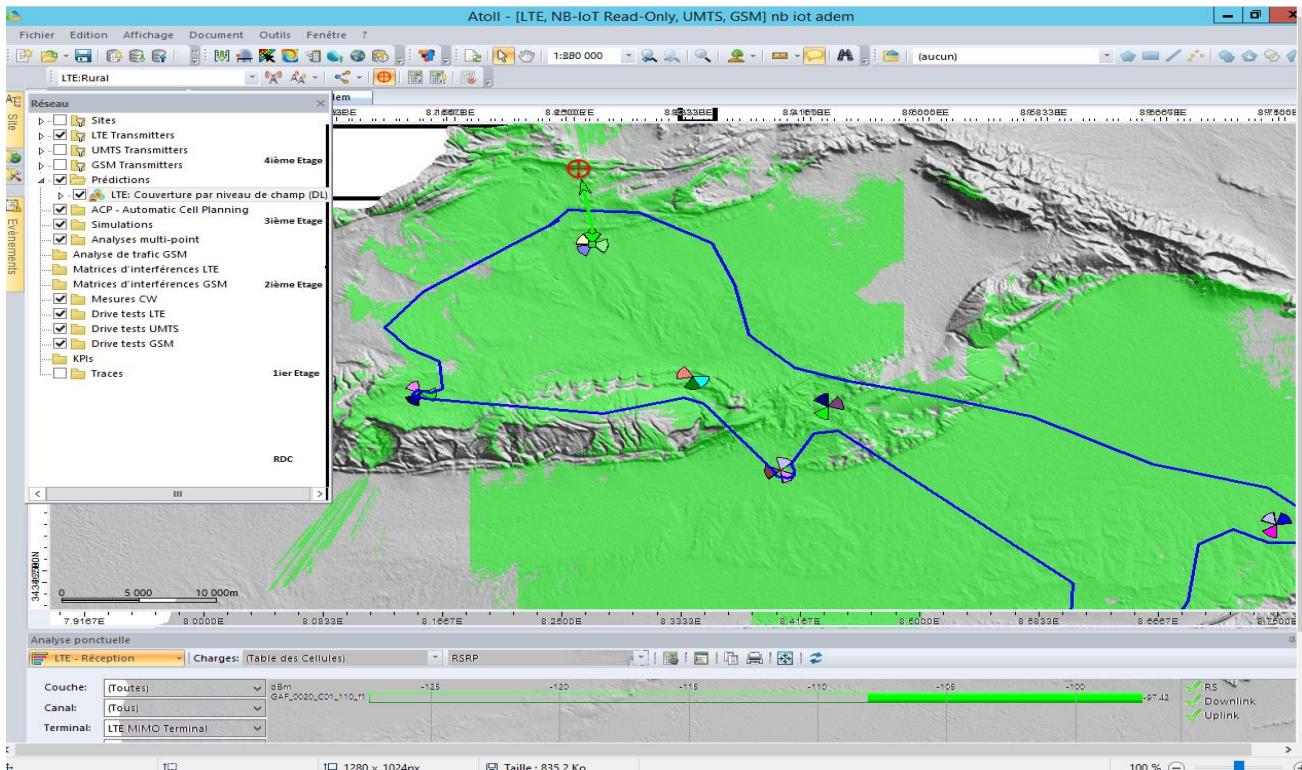


Figure 51 Test point à point

Cette figure représente des tests du point à point selon le niveau du champ.

Ce test sera importé en fichier Kmz pour l'ouvrir sur la carte Google Earth.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

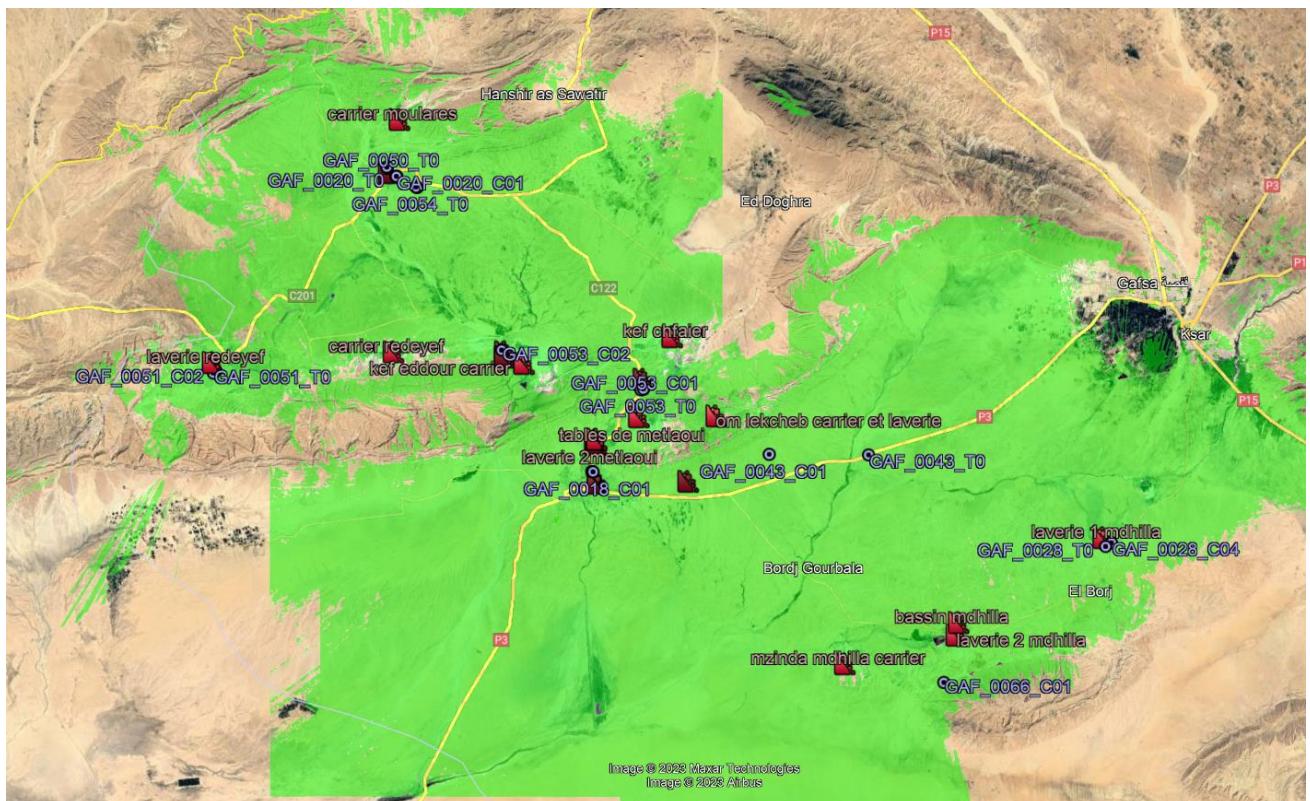


Figure 52 Couverture

La figure 52 présente le résultat de la zone de couverture des sites de l'Orange aux niveaux des points du CPG.

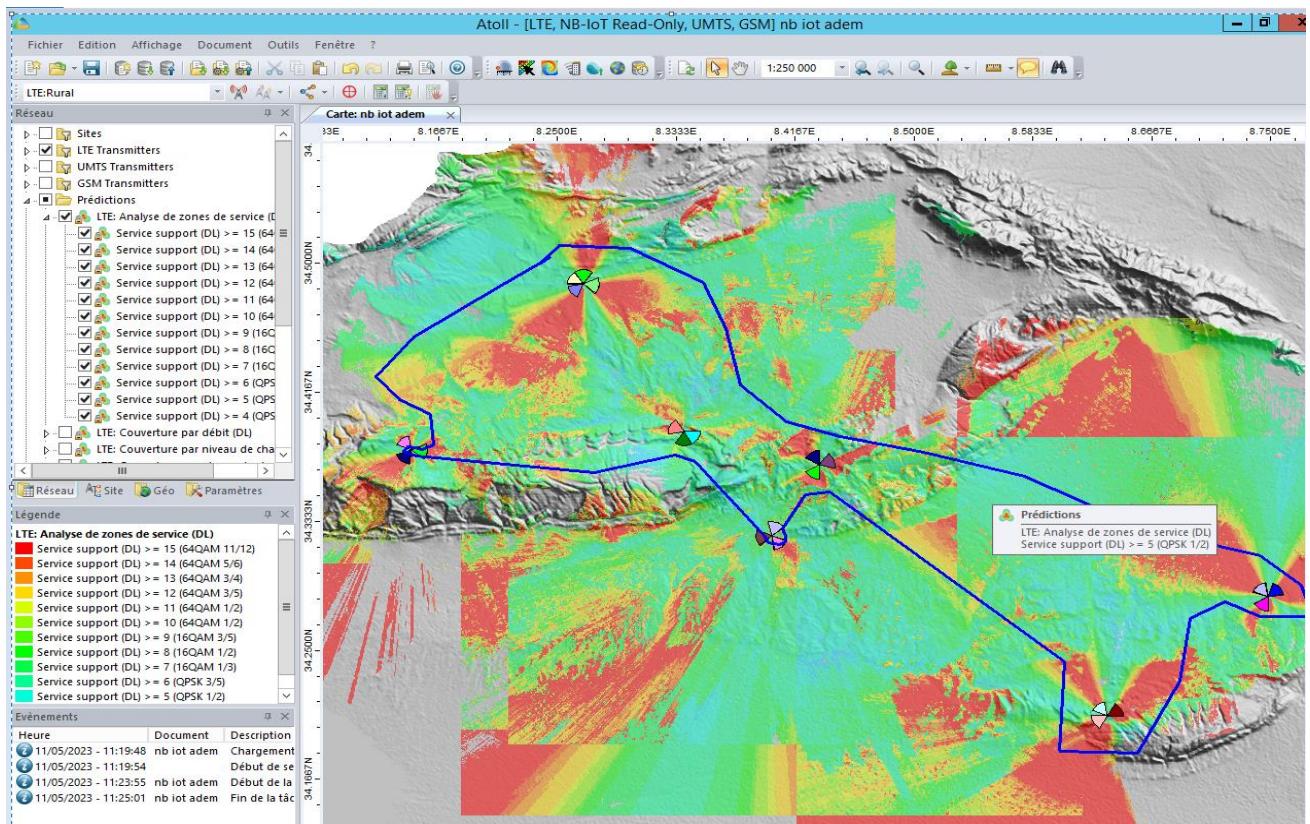


Figure 53 Test de service

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Cette figure représente un test d'analyse effectué dans la zone de service par l'opérateur orange suite à l'utilisation du réseau NB-IoT.

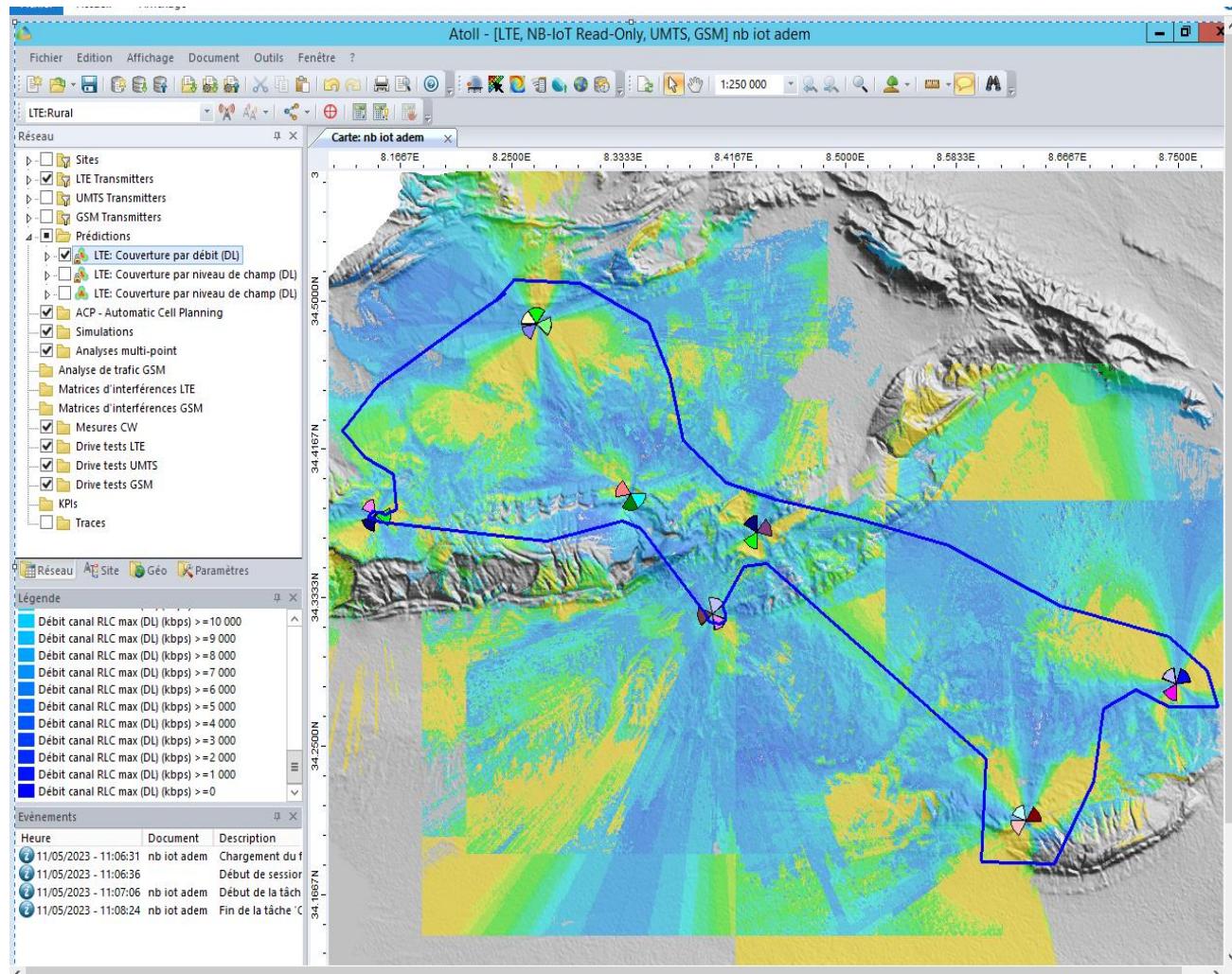


Figure 54 Test de débit

Ceci représente la zone de la couverture par débit. Nous déduisons que le débit nécessaire du NB-IoT doit être 250 kbit\text{s}. On remarque que l'opérateur Orange a un avantage dans le débit d'internet dans cette zone.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

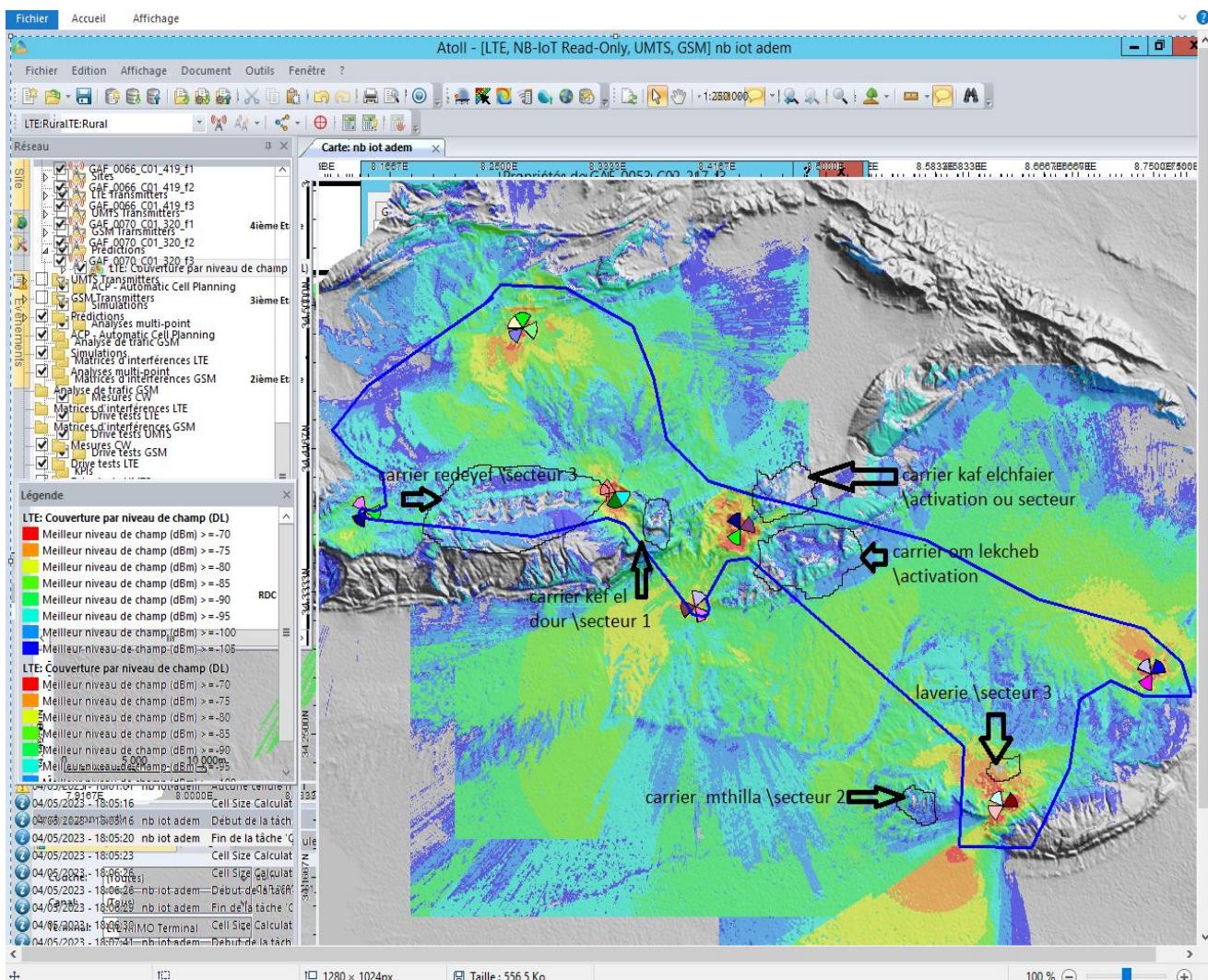


Figure 55 Les erreurs

D'après la figure 55, nous déduisons que malgré que la simulation ait été effectué avec succès, quelques points (capteurs) appartenant à la CPG sont malheureusement non couverts. C'est pour cette raison qu'une optimisation doit avoir lieu.

Pour ce faire, nous commençons par la collecte des données des sites dans le tableau 6. Nous sélectionnons également les azimutes et les distances afin de réaliser le réglage nécessaire pour avoir une bonne qualité de service dans les points non couverts.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Tableau6. Réglage des Azimutes

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
CellName Orange	Sector	Latitude	Longitude	Type	Azimuth	Orientation (no)	Azimuth Or	point CPG name (orient)	Latitude (client)	Longitude (client)	distance between C, and P	
1 Gaf_0020	sect4	34°29'16.68"N	8°16'58.28"E	LTE	300 no			Iavene moulaises	34°29'23.12"N	8°15'47.01"E	0,6 km	
2 GAF_0020	sect4	34°29'16.68"N	8°16'58.28"E	LTE	0 no			camer moulaises	34°31'18.53"N	8°16'12.21"E	3,45 Km	
3 GAF_0020	sect1	34°29'16.68"N	8°16'58.28"E	LTE	320 no			Iavene redoyef	34°23'33.25"N	8°2'49.36"E	0,55 km	
4 GAF_0051	sect3	34°22'47.90"N	8° 9' 0.64"E	LTE	120 no			bassin lef el dour	34°23'29.49"N	8°2'02.9.68"E	0,20 km	
5 GAF_0053	sect1	34°23'34.16"N	8°2'02.4.83"E	LTE	180 no			Iavene nef el dour	34°23'18.53"N	8°2'02.8.77"E	0,58 km	
6 GAF_0053	sect2	34°23'34.16"N	8°2'02.4.83"E	LTE	120 no			camer nef dour	34°23'06.0"N	8°2'11.5.74"E	1,7 km	
7 GAF_0053	sect1	34°23'34.16"N	8°2'02.4.83"E	LTE	295 orientation			270 camer redoyef	34°23'27.47"N	8°15'21.11"E	9 km	
8 Gaf_0053	sect3	34°23'34.16"N	8°2'02.4.83"E	LTE					34°20'36.99"N	8°2'41.1.43"E		
9 GAF_0018	sect1	34°19'33.60"N	8°2'46.30"E	LTE	20 no			Iavene 2,3,4 bassin de mouloui			1,9 km	
10 GAF_0018	sect2	34°19'33.60"N	8°2'46.30"E	LTE	40 no			Iavene 1 bassin de mouloui	34°19'12.26"N	8°2'41.15.47"E	0,75 km	
11 GAF_0070	sect1	34°22'18.85"N	8°26'6.61"E	LTE	70 no			siege 16 le camier nef el claiier	34°24'11.36"N	8°2'7.12.02"E	3,76 km	
12 Gaf_0070	sect2	34°22'18.85"N	8°26'6.61"E	LTE	210 no			camer table de mouloui	34°21'22.15"N	8°25'52.90"E	1,85 km	
13 Gaf_0070	sect3	34°22'18.85"N	8°26'6.61"E	LTE	330 no			bassin de opp	34°22'36.56"N	8°26'3.57"E	0,54 km	
14 GAF_0034	sect2	34°24'22.20"N	8°31'12.60"E	LTE	190 orientation			200 camer on lacheb	34°21'24.82"N	8°28'59.28"E	6 km	
15 GAF_0070	sect1	34°22'18.85"N	8°26'6.62"E	LTE	70 orientation if selected G.			100 camer on lacheb	34°21'24.83"N	8°28'59.29"E	5,5 km	
16 GAF_0043	*****	34°20'10.30"N	8°31'10.50"E	NOT LTE				if we activate this cell with 4G we can support this point and camera on	Iavene 1 moulisia	34°17'25.59"N	8°44'33.65"E	0,64 km
17 GAF_0028	sect3	34°17'17.02"N	8°44'56.35"E	LTE	320 no				15 Iavene 2 moulisia bassin	34°14'10.69"N	8°38'40.53"E	3,4 km
18 GAF_0066	sect3	34°12'38.40"N	8°38'13.10"E	LTE	320 orientation				260 camer moulisia	34°13'12.69"N	8°34'12.19"E	6,30 km
19 Gaf_0066	sect2	34°12'38.40"N	8°38'13.10"E	LTE	240 orientation							
20 GAF_0067	*****	34°14'16.00"N	8°34'56.40"E	NOT LTE	*****			camer moulisia	34°13'12.70"N	8°34'12.20"E	2 km	

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

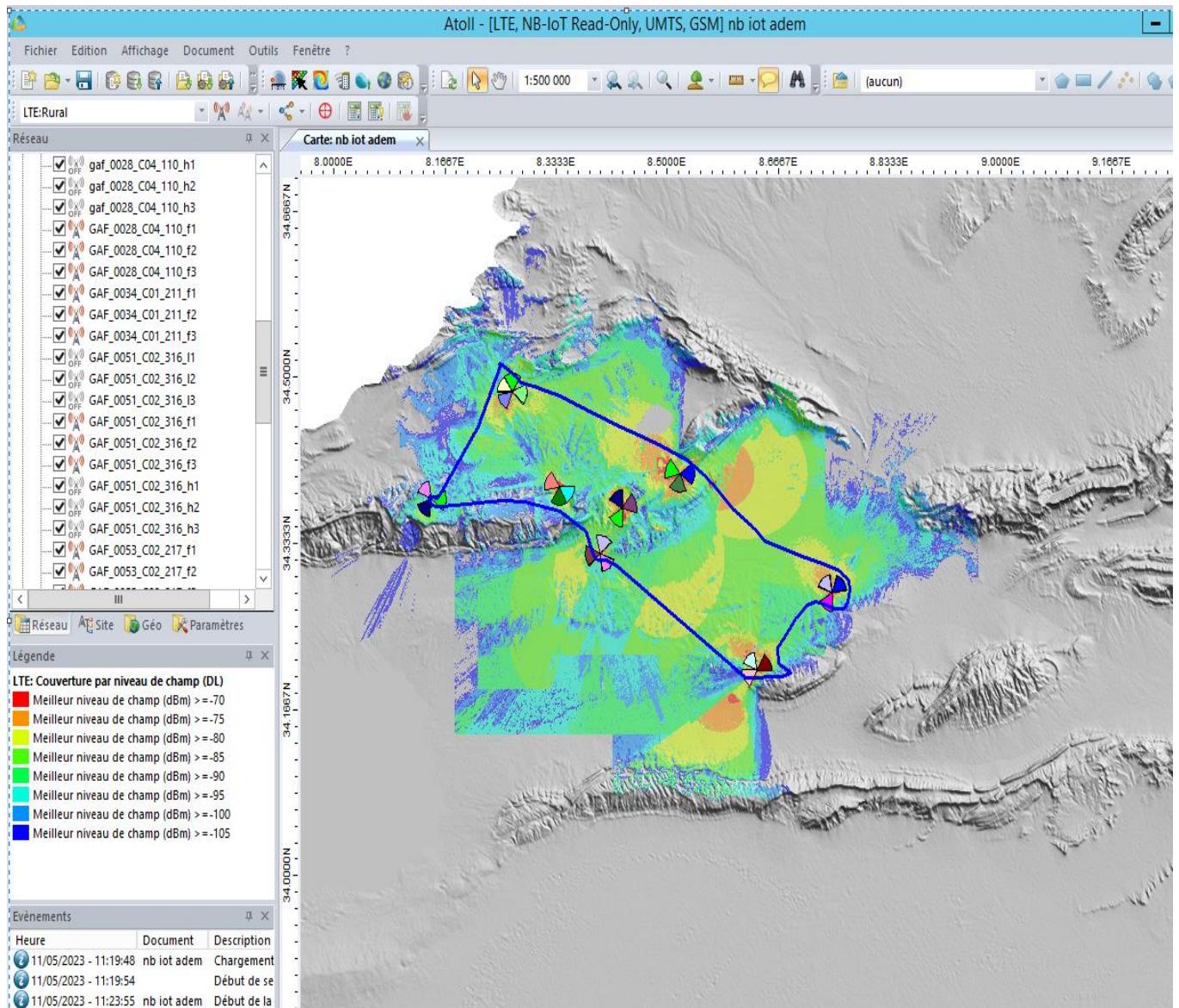


Figure 56 Deuxième test couverture

La figure 56 représente le troisième test de la couverture mais dans cette fois nous avons appliqué 4G au lieu de 3G pour la cellule GAF-0043 du 3G au 4G. Nous remarquons que la zone de la couverture augmente sauf au niveau de la zone de la cellule 43. Des erreurs de couverture sur des zones ont également été marquées.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

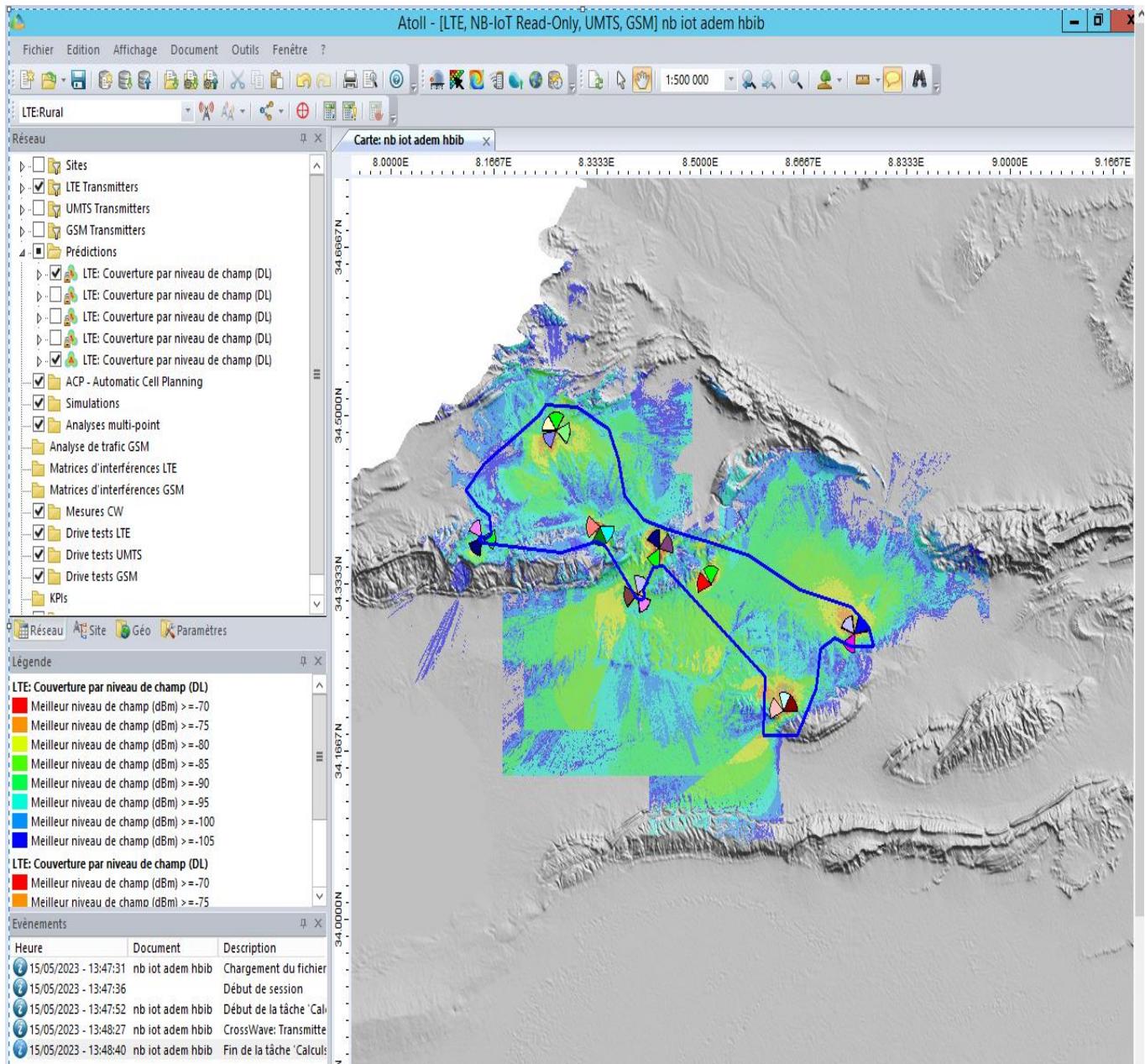


Figure 56 Troisième test couverture

La figure 56 représente la 3eme test du couverture mais dans cette fois nous avons evolué une nouvelle cellule GAF-0043 du 3G au 4G. Nous remarquons que selon le test que la couverture augmente sauf que au niveau de zone de la cellule 43 et aussi la présence des erreur de couverture sur des zone .

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

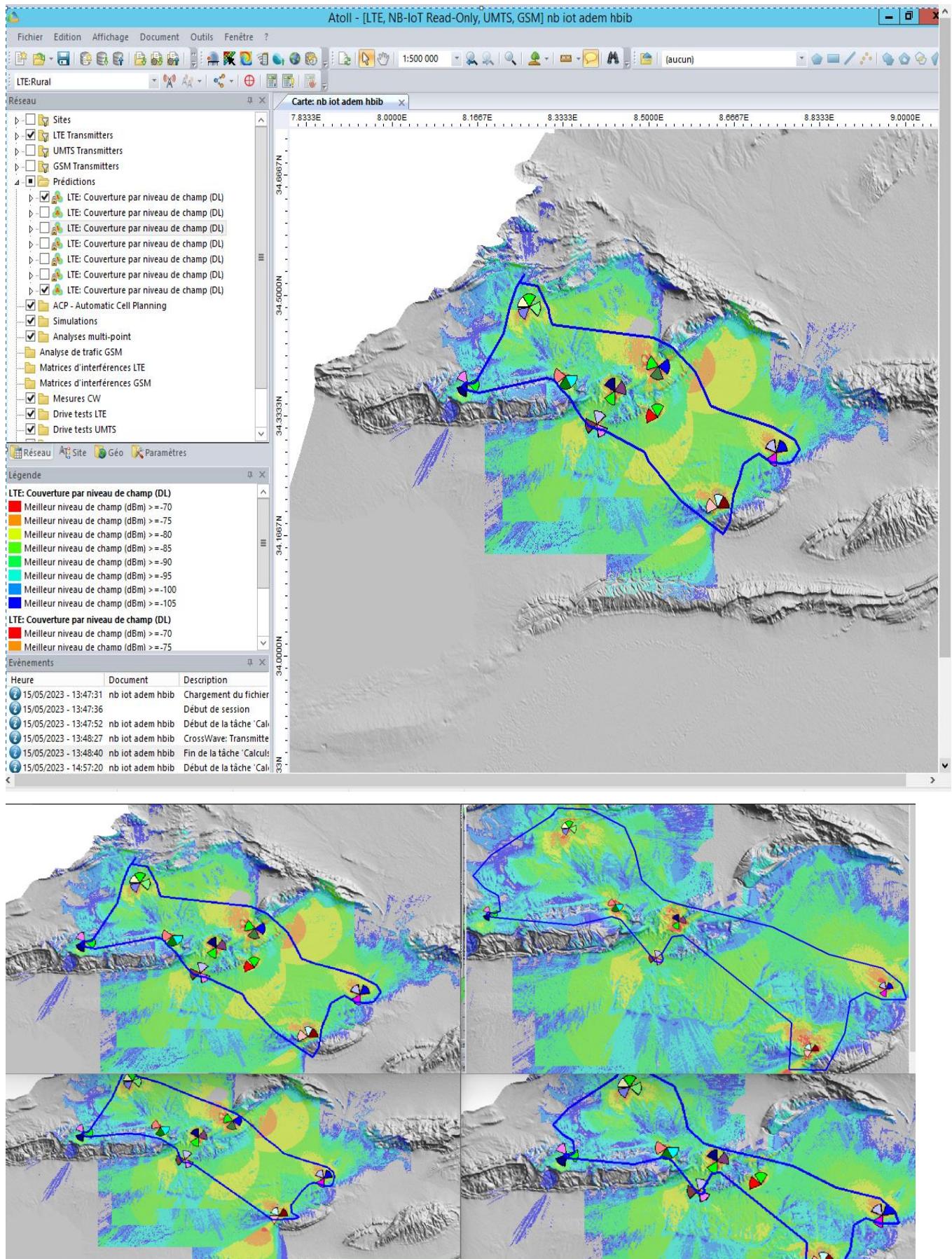


Figure 57 Test finale de la couverture

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

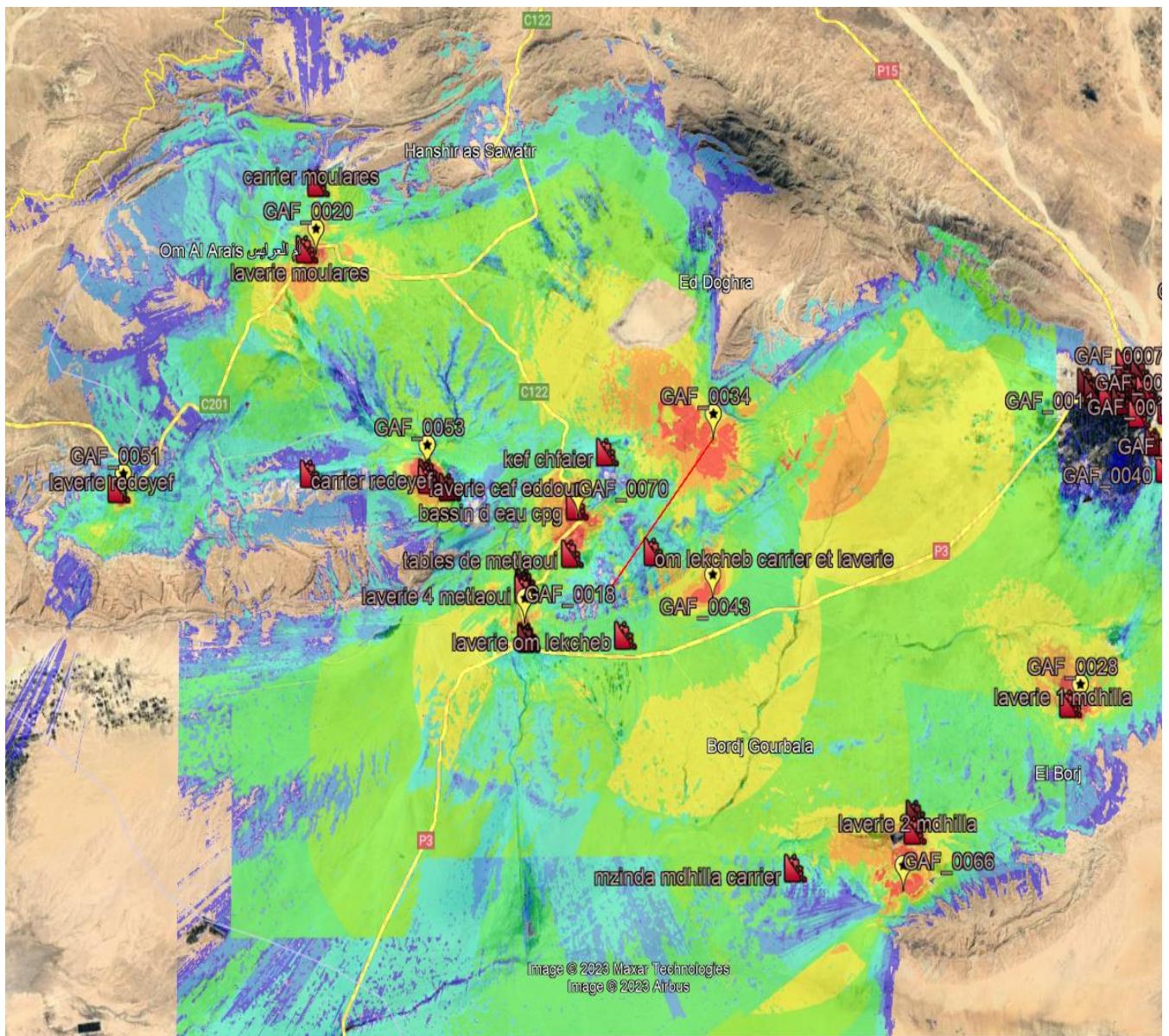


Figure 58 Resultat sur google earth

Nous avons importé le fichier de l'outil Atoll sur google earth. Le résultat est donné par la figure 58. Nous remarquons que 90% des points de CPG sont couverts par le réseau NB-IoT.

### 3.3.3 Comparaison entre cellule NB-IoT et cellule LTE :

Nous donnons un exemple réel d'une cellule LTE avec une configuration radio comme nous l'avons appliqué dans les tests.

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

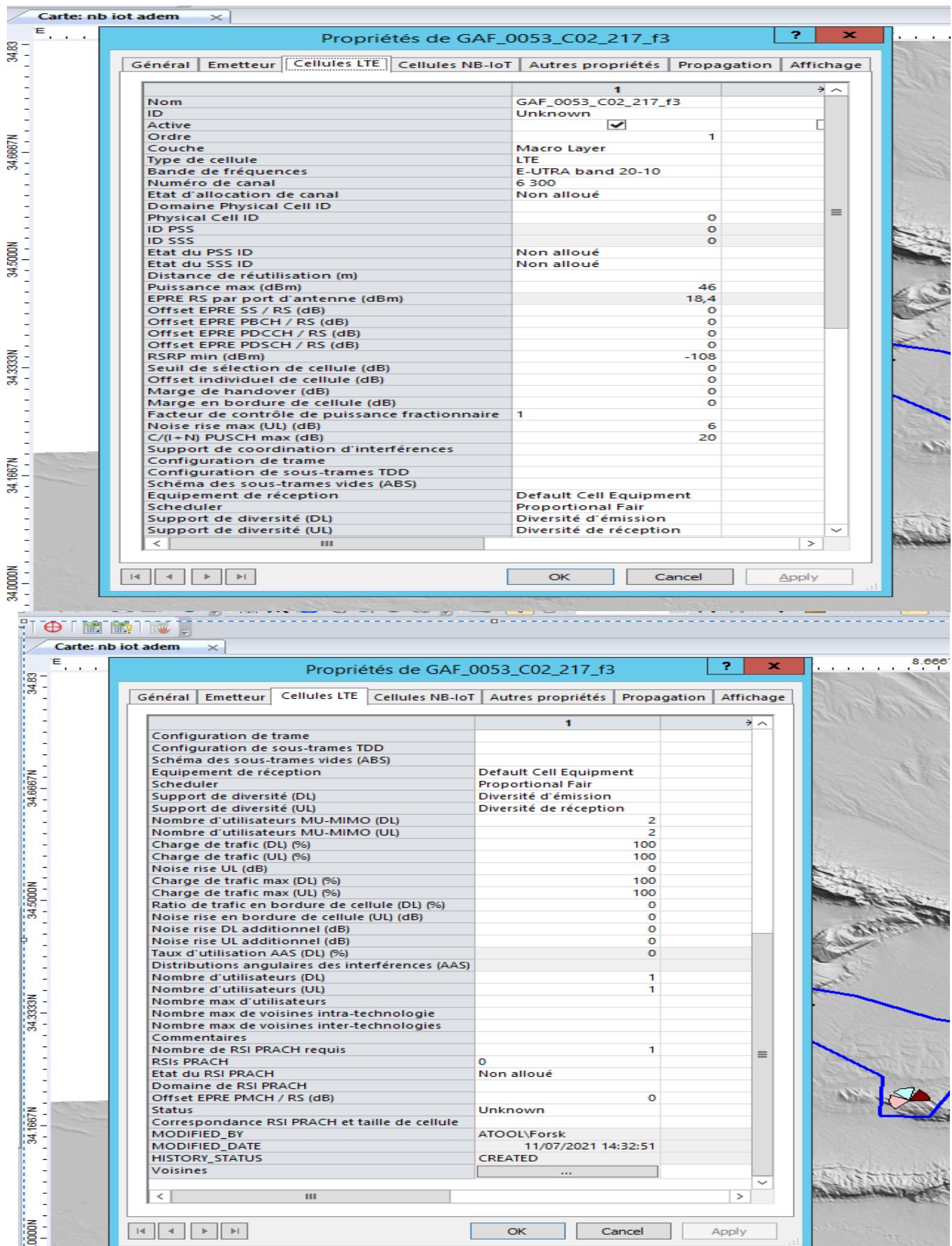


Figure 59 Cellule LTE

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

Cellule NB-IoT :

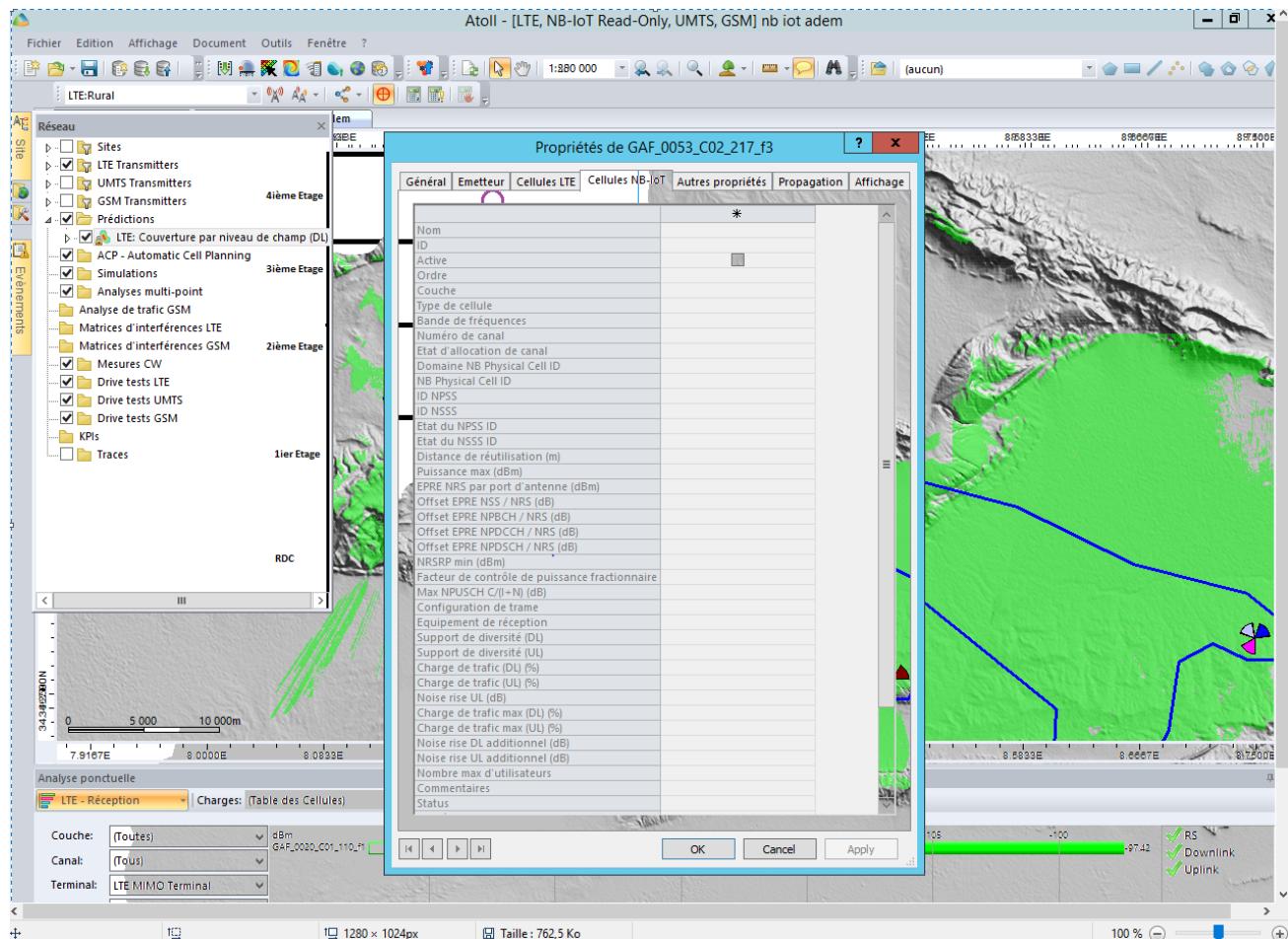


Figure 60 Cellule NB-IoT non active

La cellule NB-IoT est encore inactive dans la Tunisie. Par contre, la société Orange a fait une demande d'achat d'une licence pour intégrer cette technologie avec son réseau. et d'aprét ma formation avec la société Forstk on retrouver de valeur standard de cellule NB-IoT come site

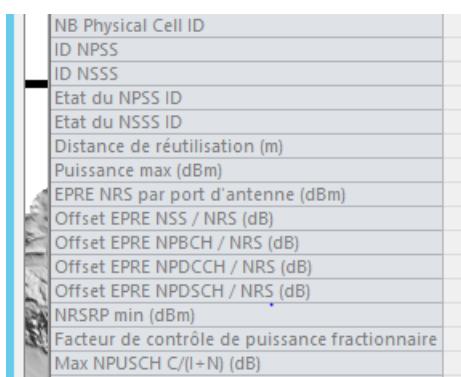


Figure 61 propriétés Nb-IoT

## Conception et modélisation d'un réseau IoT selon les besoins de la CPG

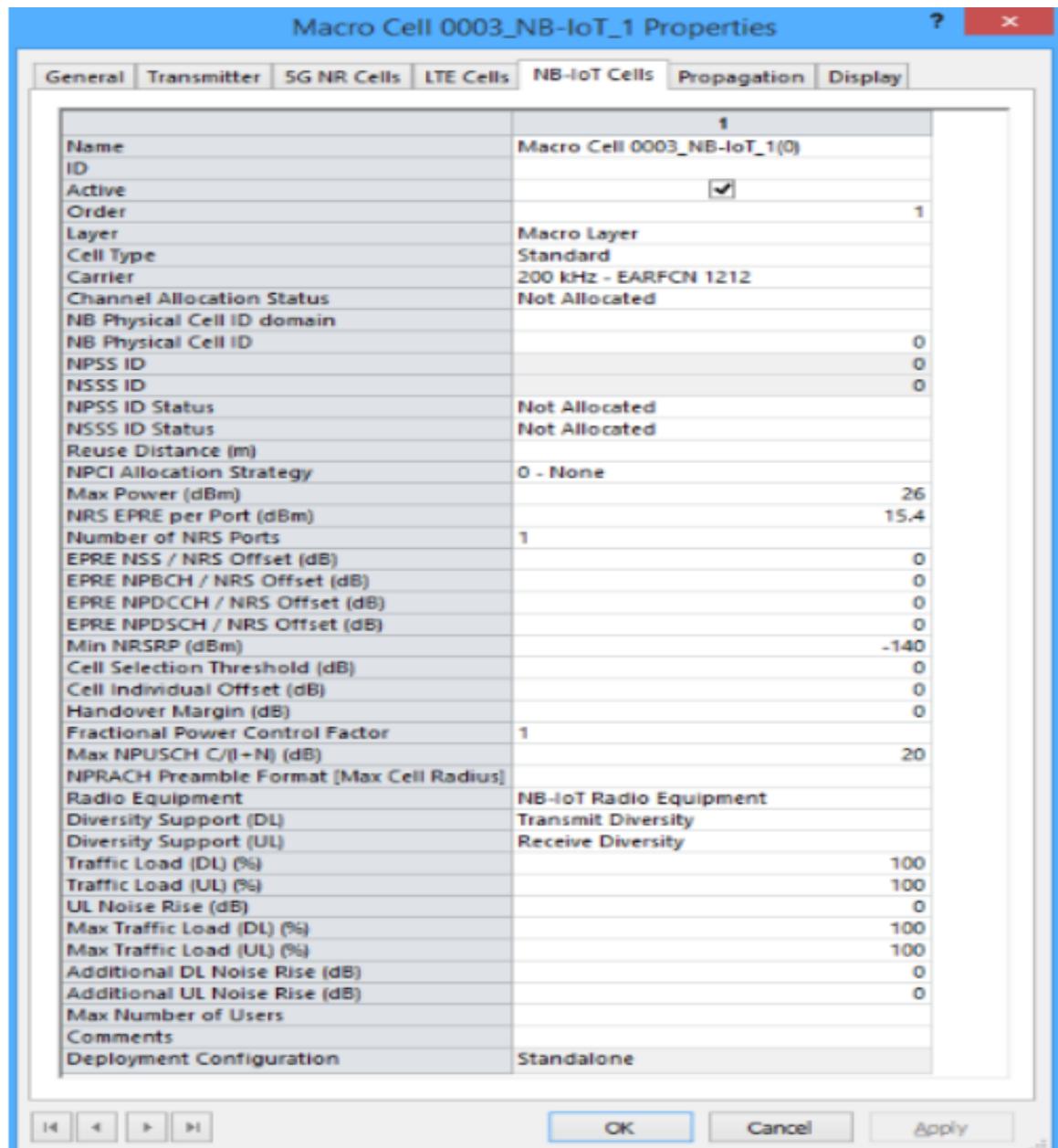


Figure 62 Cellule NB-IoT standard

## 4. Conclusion

Tout au long de ce dernier chapitre, nous avons simulé les données collectées de la société la CPG sur le logiciel ATOLL. Nos résultats des simulations prouvent que nous avons réussi à répondre aux besoins de la CPG. En fait, tous les capteurs sont bien connectés aux réseaux d'Orange.

## **Conclusion Générale**

Le présent travail que nous avons effectué au sein de l'entreprise Orange Tunisie avec l'équipe « Ingénierie Réseau d'Accès » s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études pour l'obtention de diplôme Licence Nationale en Ingénierie des systèmes informatique. Notre travail consiste à étudier le fonctionnement du réseau NB-IoT afin de répondre aux besoins de la CPG.

La réalisation de ce projet s'est répartit sur différentes étapes. Tout d'abord, nous avons étudié le cadre général du travail, à savoir, l'entreprise accueillante ainsi qu'aux besoins de la société CPG. Le deuxième chapitre a été consacré pour une étude théorique sur l'IoT, ses domaines d'application ainsi que les diverses technologies utilisées pour assurer la connexion entre les objets. Ces objets sont les capteurs de la CPG. Par la suite, nous avons discuté et prouvé le choix du réseau Nb-IoT comme technologie prometteuse assurant la bonne connexion avec une bonne qualité de service. Nous avons pu également étudier les détails de la configuration et du fonctionnement dans le cas réel. Notre dernière tâche était la simulation du réseau NB-IoT en utilisant les données définissant les besoins de la CPG. Une optimisation a été également faite dans le but d'améliorer les nombres des connexions et le taux de couverture des zones souhaitées.

En conclusion, ce stage était une opportunité pour développer notre aptitude à travailler dans une équipe et à développer le sens d'analyse pour pouvoir résoudre des problèmes complexes par la mise en place des plans d'actions dans l'objectif de trouver la solution optimale. Ce travail était bénéfique et enrichissant pour nous puisqu'il nous a offert l'occasion d'interagir avec les différentes entités dans la direction réseaux et services.

## Références Bibliographiques

- [\[1\]3GPP.com](#)
- [\[2\]ATOLL.FORSK.com](#)
- [\[3\]Gsacom.com](#)
- [\[4\] hadil ben ahmed et malek yousfi «developpement d'une application pour la detection et la resolution des anomalies et défaillances RET»rapport PFE juin 2021.](#)
- [\[5\]https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1181267](#)
- [\[6\]https://www.gsma.com/iot/deployment-map/](#)
- [\[7\]https://www.gsma.com/iot/extended-coverage-gsm-internet-of-things-ec-gsm-iot/](#)
- [\[8\]https://www.iotforall.com/cellular-iot-explained-nb-iot-vs-lte-m](#)
- [\[9\]https://www.matooma.com/fr/s-informer/actualites-iot-m2m/reseaux-lpwa-sommes](#)
- [\[10\]https://www.sierrawireless.com/iotblog/lpwa\\_for\\_the\\_iot\\_part\\_3\\_a\\_guide\\_to\\_decoding\\_lpwa\\_technologies/](#)
- [\[11\] ITU.com](#)
- [\[12\] Orange.com](#)

## Résumé

Au sein d'Orange Tunisie, notre équipe "Ingénierie Réseau d'Accès" a entrepris un projet de recherche visant à répondre aux besoins de la CPG en étudiant et en mettant en place le réseau NB-IoT. Notre parcours a consisté en une analyse approfondie des exigences de la CPG, une exploration des technologies de connectivité IoT, et la justification de notre choix du réseau NB-IoT pour sa qualité de service. Nous avons ensuite étudié en détail la configuration et le fonctionnement réel du réseau, et réalisé par la suite une simulation en optimisant les connexions et la couverture.

**Mot clés :** IoT, NB-IoT, LTE , ATOLL.

## Abstract

Within Orange Tunisia, our team "Access Network Engineering" embarked on a research project to address the needs of CPG by studying and implementing the NB-IoT network. Our journey involved in-depth analysis of CPG requirements, exploration of IoT connectivity technologies, and justification of our choice of NB-IoT for its quality of service. We then delved into the configuration and real-world operation of the network, conducting simulations to optimize connections and coverage.

**Keywords:** IoT, NB-IoT, LTE, ATOLL.