



**HAL**  
open science

# Amélioration de la qualité de service radio sur la partie chaîne antenne aère

William Siounandan

► **To cite this version:**

William Siounandan. Amélioration de la qualité de service radio sur la partie chaîne antenne aère. Son [cs.SD]. 2015. dumas-01633492

**HAL Id: dumas-01633492**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01633492>**

Submitted on 13 Nov 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

## LE DIPLOME D'INGENIEUR CNAM Spécialité : Informatique

OPTION : SYSTEMES RESEAUX ET MULTIMEDIAS

PAR

**William SOUNANDAN**



---

**Amélioration de la qualité de service radio sur la partie  
chaîne antenne aère**

---

Soutenu le .... /.... /2015

---

### JURY

**Président :** Michel CRUCIANU, professeur au CNAM de Paris

**Membres :** M. Pierre SWEID, professeur au CNAM de Clichy  
M. Kamel Loualiche, ingénieur en télécommunication  
M. Imad Jaiel, ingénieur en télécommunication  
X  
X

## Remerciements

J'aimerais tout d'abord exprimer mon respect et ma reconnaissance à l'égard de **Pierre SWEID**, ingénieur réseaux, qui a accepté d'encadrer ce projet et de me consacrer du temps.

Je remercie également Monsieur **Michel CRUCIANU** du conservatoire national des arts et métiers pour ses conseils et critiques constructives et qui m'ont aidé dans la bonne qualification du projet en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM.

Je remercie **Kamel LOUALICHE**, ingénieur télécoms, pour son soutien sur mon projet en m'apportant des conseils précieux et très utiles. Sa motivation sur ce projet m'a permis de me surpasser.

Je remercie chaleureusement l'équipe **MRA** (Maintenance des Réseau Accès) pour leur accueil et leur sympathie.

Je suis également reconnaissant envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidé dans l'avancement de ce projet, je pense à l'ingénierie **DIAM** (Direction Ingénierie Accès Mobile), à toute l'équipe DIVB (Direction Ingénierie Validation) logistique.

Surtout, je remercie tendrement **ma famille** qui m'a soutenu tout au long de mes études au CNAM. Ils m'ont tous été d'un soutien incroyable qui m'a beaucoup touché durant cette longue aventure humaine.

Enfin, le dernier des mercis revient tout particulièrement à ma chère et tendre **mère** dont l'inépuisable soutien m'a donné de l'énergie tout au long de ma vie et encore plus durant ces 5 longues années d'études au sein du CNAM et sans qui je ne serais pas arrivé au bout de cette aventure.

## INTRODUCTION

Ce projet de fin d'étude est pour moi, l'aboutissement d'un processus commencé, il y a maintenant 5 ans.

Pourquoi reprendre ses études d'ingénieur ? Il y a une multitude de raisons, toutes différentes, selon chaque personnalité. En ce qui me concerne. C'est tout d'abord satisfaire un objectif, en effet, après avoir obtenu un DUT GEII (génie électrique informatique industriel) ainsi qu'une licence GEII au sein de l'université Paris 13, J'ai intégré la société Bouygues Telecom, en 2007 . C'est lors de ma première année au sein de cette société que j'ai fait le choix de reprendre mes études afin d'obtenir un diplôme d'ingénieur en télécommunication. J'ai donc commencé à prendre des cours du soir au CNAM. Depuis bientôt 3ans, j'ai intégré SFR, mais je n'ai pas oublié mon objectif principal qui est l'obtention du diplôme d'ingénieur. Celui-ci est resté un objectif profond ancré par goût de la discipline scientifique. Je pense que l'on n'arrive pas au bout sans une motivation profonde quelle qu'elle soit.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de ma formation d'ingénieur réseaux systèmes multimédias. Il s'est déroulé sur une période d'une année au sein du service maintenance de la direction Technique Réseaux et Systèmes de l'opérateur SFR (Société Française de radiotéléphonie).

J'ai eu l'occasion de travailler sur le projet PROMA (mise en place d'un nouveau contrat) qui est d'une grande importance pour SFR. Après plusieurs années d'externalisation, l'opérateur a décidé d'internaliser la maintenance et ainsi créer un nouveau service. Cela afin d'améliorer le taux de disponibilité baisser le taux de panne et maîtriser le réseau de bout en bout.

C'est donc la conjonction d'une réalité d'entreprise et d'un objectif personnel qui furent moteurs de cette aventure.

## Table des matières

INTRODUCTION.....	3
<b>1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....</b>	<b>6</b>
1.1. HISTORIQUES ET ACTIVITÉS .....	6
1.2. OBJECTIF ET STRATEGIE D'ENTREPRISE .....	8
1.3. ORGANISATION .....	9
1.4. ORGANIGRAMME .....	10
<b>2. ARCHITECTURE DES RESEAUX MOBILES .....</b>	<b>11</b>
2.1. PRESENTATION SITE RADIO .....	11
2.2. RESEAUX GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS) .....	12
2.2.1. LE RÉSEAU D'ACCÈS (BSS) .....	12
2.2.2. LES TERMINAUX APPELLÉS .....	13
2.2.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE GSM .....	15
2.2.4. INTERFACE RADIOÉLECTRIQUE.....	17
2.3. RÉSEAUX GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE) .....	18
2.3.1. ARCHITECTURE DU RÉSEAU GPRS .....	18
2.3.2. PCU (Packet Control Unit) .....	19
2.3.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE .....	19
2.3.4. INTERFACE RADIOÉLECTRIQUE.....	20
2.4. RESEAUX UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM) .....	21
2.4.1. ARCHITECTURE DU RÉSEAU UMTS .....	21
2.4.2. LE RESEAU D'ACCES.....	22
2.4.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE .....	23
2.4.4. INTERFACE RADIOELECTRIQUE.....	25
2.4.1.1. LES CANAUX LOGIQUES .....	26
2.4.1.2. LES CANAUX PHYSIQUES.....	26
2.4.1.3. LES CANAUX DE TRANSPORT.....	27
2.5. RÉSEAUX EPS (EVOLVED PACKET SYSTEM) .....	28
2.5.1. ARCHITECTURE DU RESEAU EPS.....	28
2.5.1.1. LE RESEAU D'ACCES LTE .....	28
2.5.2. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE LTE.....	29
2.5.3. GESTION DES COMMUNICATIONS .....	31
<b>3. AUDIT AVANT-PROJET ET OBJECTIFS.....</b>	<b>32</b>
3.1 CONTEXTE GENERAL .....	32
3.2 ENJEUX .....	35
3.3 MA MISSION.....	37
<b>4. GESTION DE PROJET .....</b>	<b>38</b>
4.1. CAHIER DES CHARGES.....	38
4.1.1. DESCRIPTION GENERALE DU PROJET .....	38
4.1.2. OBJECTIF DE L'ENTREPRISE.....	38
4.1.3. CONTRAINTES DU PROJET.....	38

<b>4.1.4.</b>	<b>EVALUATION DES RISQUES</b> .....	39
<b>4.2.</b>	<b>PLANNING</b> .....	40
<b>4.3.</b>	<b>SUIVI DU PROJET</b> .....	40
<b>5.</b>	<b>PROBLEMATIQUES</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1.</b>	<b>RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE</b> .....	42
<b>5.1.1.</b>	<b>LES PERTES</b> .....	46
5.1.2.	PROBLEME DE R.O.S.....	47
<b>5.2.</b>	<b>BROUILLAGE</b> .....	53
<b>5.2.1.</b>	<b>PROBLÈME DE BROUILLAGE</b> .....	55
<b>5.3.</b>	<b>INTERMODULATION</b> .....	57
<b>5.3.1.</b>	<b>PROBLEME D'INTERMODULATION</b> .....	60
<b>6.</b>	<b>SOLUTIONS PROPOSEES</b> .....	<b>63</b>
<b>6.1</b>	<b>RAPPEL DU CONTEXTE</b> .....	63
<b>6.2</b>	<b>METHODOLOGIES ET MOYEN MATERIELS PROPOSE</b> .....	63
6.2.1	PARAMÉTRAGE.....	63
6.2.2	L'analyseur <b>SWOT</b> ( <b>S</b> trengths - <b>W</b> eaknesses - <b>O</b> pportunities - <b>T</b> hreats) 65	
6.2.3	ANALYSE DU RESEAU.....	66
6.2.4	MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE.....	71
<b>6.3</b>	<b>ÉVALUATION DE LA MISSION</b> .....	72
<b>7.</b>	<b>SOLUTIONS PALLIATIVES</b> .....	<b>73</b>
<b>7.1.</b>	<b>MISE EN PLACE D'UN CATALOGUE DE MAINTENANCE</b> .....	73
<b>7.2.</b>	<b>FORMATION TECHNICIENS</b> .....	74
<b>8.</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS</b> .....	<b>75</b>
<b>8.1.</b>	<b>ASPECTS TECHNIQUES</b> .....	75
<b>8.2.</b>	<b>ASPECTS ORGANISATIONNELS</b> .....	76
<b>8.3.</b>	<b>ASPECT HUMAINS</b> .....	76
<b>9.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>77</b>
	GLOSSAIRE.....	79
	ANNEXES85	
	<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	102
	<b>REFERENCE</b> .....	104
	<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	105

# 1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

## 1.1. HISTORIQUES ET ACTIVITÉS

La Société Française de Radiotéléphonie est aujourd'hui le deuxième opérateur de télécommunications mobiles en France et le leader du marché en ventes nettes (nouveaux clients). Un des points forts de la société SFR est d'être le **premier opérateur mobile à avoir lancé la technologie 3G et 3G+ en France**.

Elle a été créée en 1987 avant de devenir une filiale du groupe Cegetel en 1996 pour rassembler les activités télécommunications de la Compagnie Générale des Eaux (Vivendi). Rappelons que Cegetel avait de nombreux actionnaires dont Vivendi, Vodafone, British Telecom... et a été le premier opérateur privé des télécommunications.

En 2003, SFR absorbe sa maison mère Cegetel et devient l'actionnaire principal de l'opérateur de télécommunication fixe Cegetel. Par la suite, la société devient filiale de Vivendi et Vodafone.

En 2005, SFR vend Cegetel à Neuf Télécom tout en gardant 28% du capital du nouvel ensemble Neuf Cegetel.

En 2006, SFR rachète les activités téléphonie fixe et Internet de Télé 2 France, et cette même année, il devient l'actionnaire majoritaire de Neuf Cegetel donnant naissance à une nouvelle entité dans la téléphonie fixe (ADSL, FTTH).

En 2007, SFR lance sa première offre ADSL et achète les activités fixes de Télé2 en France.

En 2014, le groupe se compose désormais de : **Numéricâble, SFR, Virgin mobile, Completed et Telindus** suite au rachat du groupe Alice. Depuis fin novembre 2014, les ventes brutes de Numéricâble SFR ont été 2,5 fois supérieures à celles de Numéricâble sur la même période en 2013. Près d'un milliard d'euros a été consacré en 2014 à la rénovation et au déploiement des réseaux Fibres et 4G.



Figure 1 : Actionnariat 2014

Depuis sa création, des événements commerciaux se sont succédé au sein de la société :

- **1987** : Elle obtient sa licence GSM et démarre son déploiement en 1991
- **1996** : Lancement du premier forfait GSM
- **1997** : En début d'année, SFR passe le cap du premier million de clients avant de franchir le cap des deux millions à la fin de l'année. La même année, SFR lance la carte prépayée sans abonnement, ni facture, et rechargeable sur simple coup de fil.
- **2000** : Premier opérateur à démarrer le déploiement d'un réseau à haut débit avec l'ouverture du 1er site GPRS à Paris. La même année, elle acquiert une licence 3G UMTS.
- **2001** : Lancement d'une offre commerciale 2.5G GPRS.
- **2003** : Première offre Wifi.
- **2004** : Lancement de sa première offre commerciale 3G
- **2006** : SFR lance une offre commerciale 3G+ HSDPA
- **2007** : Lancement de la Clé internet 3G+, véritable innovation permettant l'accès instantané et sans paramétrage à Internet pour les ordinateurs portables.
- **2008** : Création de SFR Business Team, le 20 septembre 2008, lors de l'achat de Neuf Cegetel par SFR
- **2011** : SFR lance des forfaits Low-cost (les forfaits Red...)
- **2014** : Lancement de l'offre Fibre Numéricâble dans les boutiques SFR le 18 novembre 2014

Disposant de ses propres réseaux 2G et 3G/3G+, 4G de sa création à aujourd'hui, SFR développe auprès des particuliers, des professionnels et des entreprises des offres complètes de téléphonie mobile, services multimédias et solutions "mobile data". L'entreprise a également su étendre ses activités au secteur des télécommunications fixes à travers sa filiation avec neuf Cegetel.

L'un des principaux atouts de SFR est la politique qu'elle a su adopter pour la couverture territoriale à travers une organisation en six grandes régions :

- Nord-est,
- Centre-Est,
- Ouest,
- Sud-ouest,
- Méditerranée,
- et Ile-de-France.

Cette couverture territoriale est renforcée par l'implantation dans ces régions de structures techniques et commerciales à vocation nationale (centre d'administration du réseau, activités de recherche et développement, etc.).  
Quelques chiffres clés :

- ✓ Le groupe compte près de **23 millions** de clients mobile,
- ✓ **6,6 millions** de foyers abonnés au Haut Débit,
- ✓ **11,4 milliards d'euros** de chiffre d'affaires (fin 2014),
- ✓ Le groupe Numéricâble-SFR réunit **11 800 collaborateurs**,
- ✓ **99%** du territoire couverts par le réseau GSM/GPRS,
- ✓ Plus de **215 pays** ou destinations accessibles à l'étranger,
- ✓ **99%** de la population couverte en 3G (UMTS) et 3G+ (HSDPA),
- ✓ Réseau mobile **n° 3** selon l'enquête de l'ARCEP,
- ✓ Le parc d'abonnés fixe du groupe s'établit à **6 577 000 clients** (fin 2014)
- ✓ Le parc mobile de clients forfait s'établit à **13 004 000 clients** (fin 2014).

**Avec la 4G et le Dual Carrier (LTE et DC-HSPA+), SFR proposa fin 2014 une des meilleures couvertures Très Haut Débit mobile en France avec 70% de la population couverte, dont la moitié en 4G.**

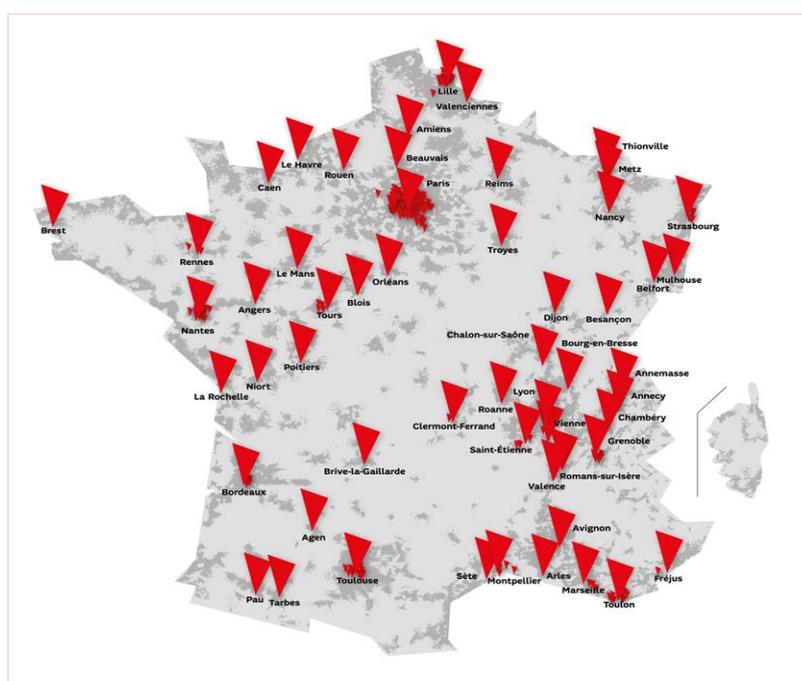


Figure 2 : couverture 4G et DC-HSPA

## 1.2. OBJECTIF ET STRATEGIE D'ENTREPRISE

Deuxième opérateur de téléphonie mobile, SFR veut se positionner sur le marché de la téléphonie fixe/ADSL et rivaliser avec Orange/France Télécom.

Plusieurs évènements majeurs dans la stratégie d'évolution :

Le rachat de neuf Cegetel puis de Numéricâble est le reflet de la détermination de conquérir de nouveaux territoires de croissance. SFR a lancé son offre fibre, en complément de l'offre mobile existante, avec la Box SFR. Deux solutions de convergence pour les entreprises ont vu le jour :

- « **SFR One Solution** » (convergence voix fixe/mobile)
- « **Business Mail** » (convergence data fixe/mobile)

Un des objectifs principaux de la société reste également la première place à l'audit lancé par l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes), reflet de la qualité du réseau, entraînant la satisfaction des clients.

### 1.3. ORGANISATION

SFR est constituée de 11 800 collaborateurs sous la Direction Réseaux, Systèmes d'Information et Opérateurs (DRSIO). Cette direction se divise en plusieurs directions générales qui assurent diverses fonctions pour permettre à l'entreprise de mieux se focaliser sur son marché.

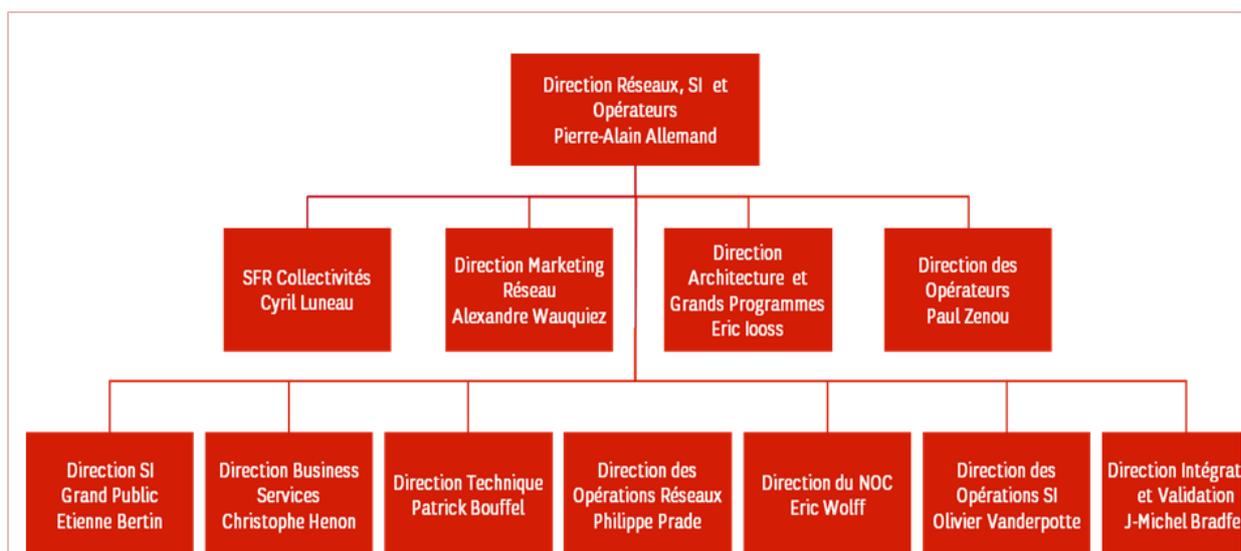


Figure 3 : Direction Réseaux, Systèmes d'Information et Opérateurs (DRSIO)

Les principales missions de la DRSIO sont de doter SFR de réseaux et systèmes performants en adéquation avec les ambitions de SFR sur ses marchés et d'améliorer la qualité du service de bout en bout, en maîtrisant les coûts et en intégrant au mieux la perception client.

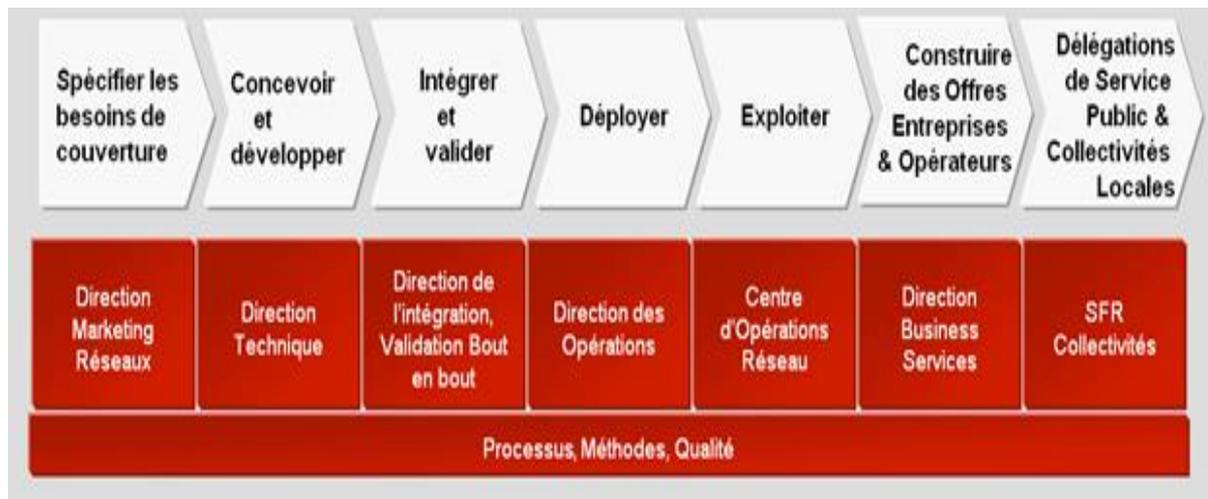


Figure 4 : Mission DRSIO

## 1.4. ORGANIGRAMME

J'ai effectué mon stage au service **MRA (Maintenance réseaux accès)** au sein de la Direction de la maintenance qui est une entité de la DRSIO

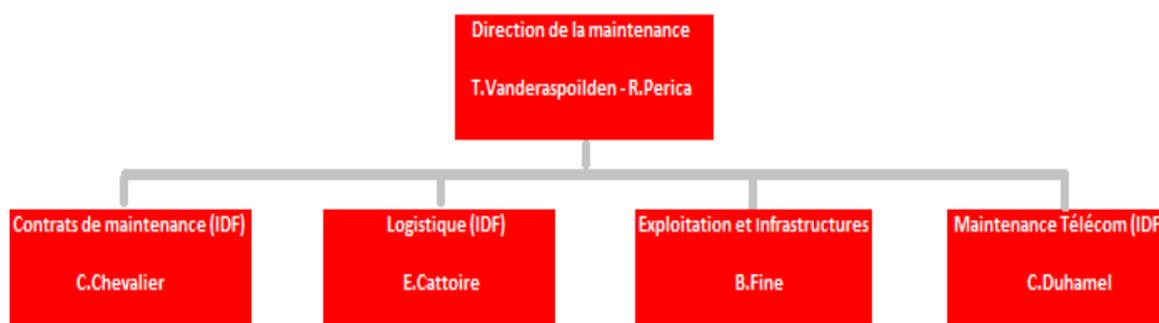


Figure 5 : Organigramme MRA

Rôle et missions :

- ✓ Garantir la baisse du taux de panne sur le réseau d'accès IDF (préventives, RAN avec Direction Exploitation et infrastructures)
- ✓ Réaliser les interventions curatives dans les GTRS demandées
- ✓ Etre leader en efficacité terrain (Vs mainteneurs tiers)
- ✓ Contribuer à la disponibilité du réseau d'accès

## 2. ARCHITECTURE DES RESEAUX MOBILES

Je vais tous d'abord présenter l'architecture réseau mobile afin d'avoir quelques notions sur le fonctionnement d'un réseau télécom et pour mieux introduire mon projet.

### 2.1. PRESENTATION SITE RADIO

Les sites radios sont composés principalement d'un module système, d'un ou plusieurs modules radios et d'une ou plusieurs antennes.

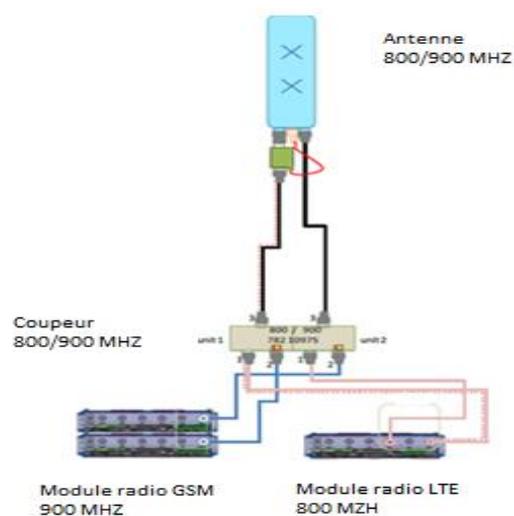


Figure 6 : Exemples configuration site radio

Ci-dessus on peut trouver les éléments de base composant un site radio mobile. Chaque élément a une fonction précise :

- Le module système est en charge des fonctions de contrôle télécoms, des opérations systèmes et de maintenance, du traitement des bandes de fréquence et de la transmission.
- Le module radio RF (radio fréquence) est composé d'amplificateur de puissance. Il peut gérer une ou plusieurs bandes de fréquence.
- L'antenne transmet le signal généré par le module RF vers les utilisateurs. Elles peuvent être mono bande ou multibande.

La figure ci-dessous permet de mieux visualiser le rapport entre le mobile et l'antenne.

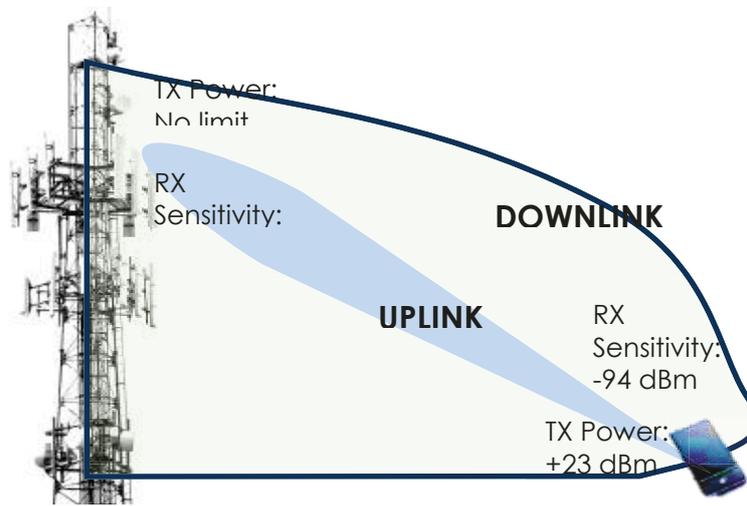


Figure 7 : visualisation des signaux uplink et downlink

## 2.2. RESEAUX GSM (Global system for Mobile communications)

Le réseau GSM a pour rôle primaire d'établir des communications entre abonnés mobiles et fixes. Ce type de réseau est également appelé réseau « voix » et se décompose en deux parties : le réseau d'accès et le cœur du réseau.

### 2.2.1. LE RÉSEAU D'ACCÈS (BSS)

La partie radio appelée réseau d'Accès dite BSS est un ensemble d'équipements radio permettant d'assurer la transmission radioélectrique avec le mobile. Cette partie radio est constituée de :

- **Antennes**
- **Feeders** : câbles entre les antennes et la BTS
- **BTS** (Base Transmitter Station) : station de base qui émet et reçoit les signaux radio.
  - Assure l'émission et la réception radio entre les mobiles localisés sur le site qu'elle gère et le réseau (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur).
  - Elle effectue aussi des mesures radio pour le réseau afin de vérifier le bon déroulement d'une communication en cours.
- **Transmission (E1 ou IP)** : lien qui transporte les données voix et data entre la BTS et le BSC. Différents supports possibles (Faisceau Hertzien, ligne louée, xDSL)
- **BSC** (Base Station Controller) : équipement qui contrôle un sous-ensemble de BTS et assure la communication avec le réseau cœur.

- Supervise plusieurs BTS,
- Gère l'allocation des canaux,
- Exploite les mesures prises par les BTS
- Prend la décision d'un handover.
- Le BSC est relié par une liaison MIC avec la BTS et le MSC

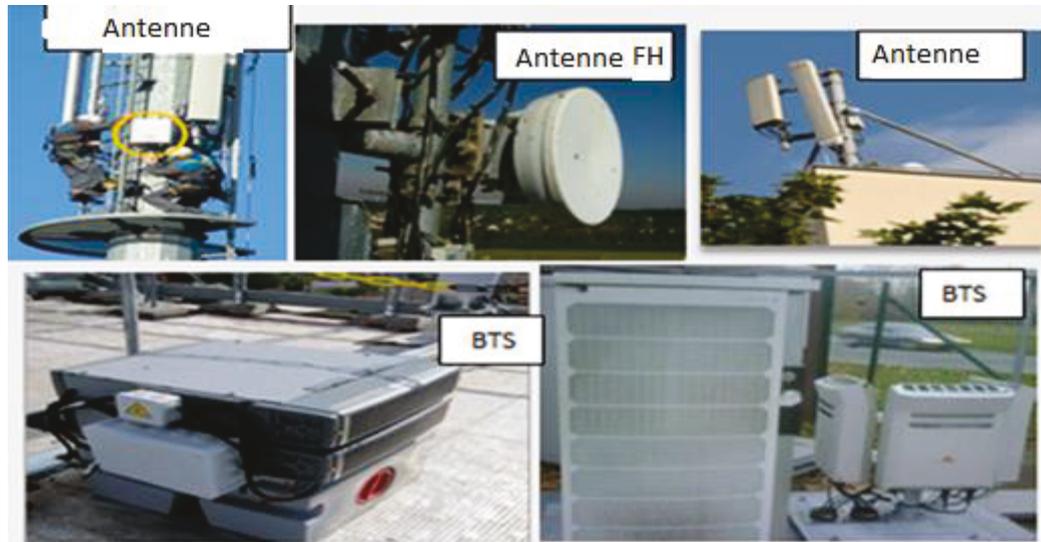


Figure 8 : photos d'un site radio

### 2.2.2. LES TERMINAUX APPELLÉS

Plus communément appelé MS (Mobile Station) ou UE (User Equipment), peuvent avoir de multiples « form-factors » :

- un téléphone, un Smartphone
- un mini PC
- un iPad



L'attachement des mobiles MS est pris en compte par la partie BSS.

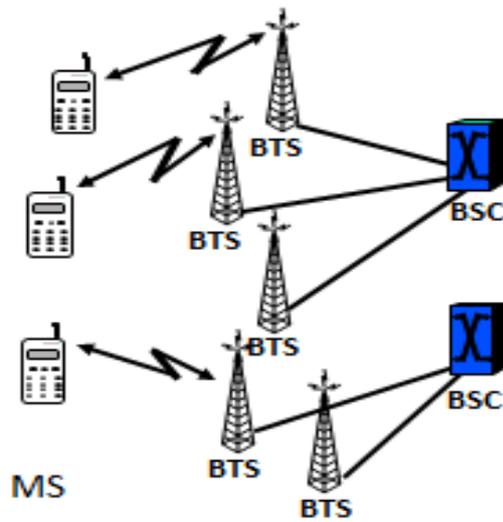


Figure 9 : Schéma de l'architecture du réseau GSM

Le rayonnement d'une cellule 2G peut aller d'une centaine de mètres à une trentaine de kilomètres. La taille des cellules dépend des fréquences utilisées voir figure ci-dessous. Plus la fréquence est basse plus la longueur de portée est grande.

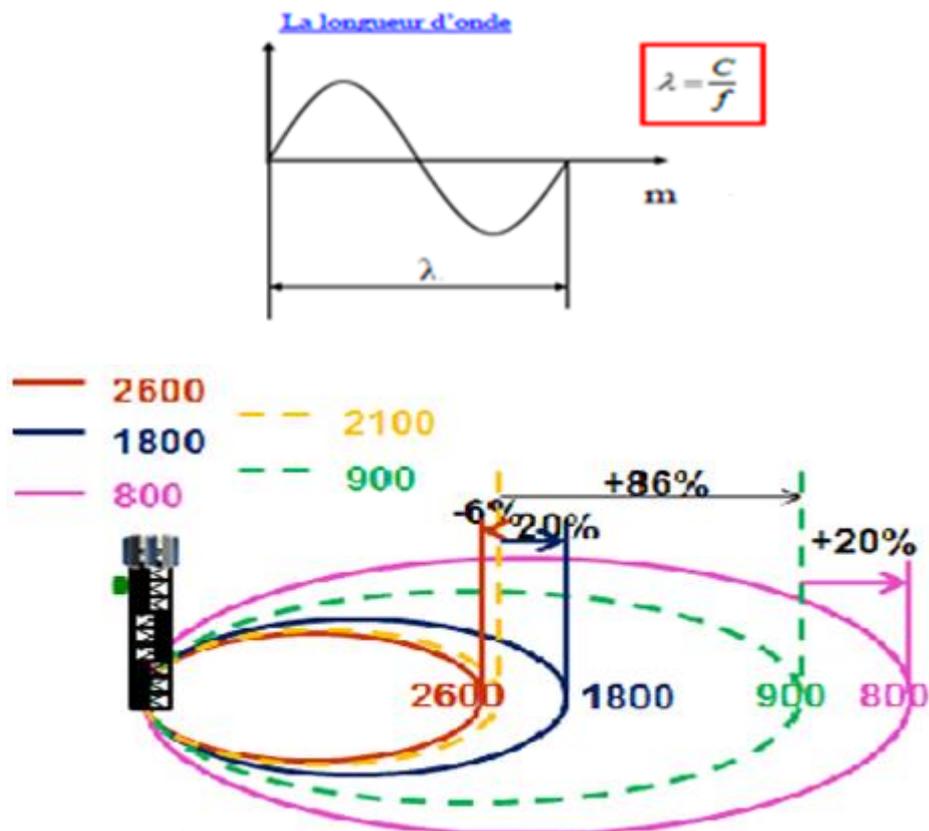


Figure 10 : Longueur de portée  $\leftrightarrow$  longueur d'onde en fonction de la fréquence

### 2.2.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE GSM

Le réseau GSM est défini à partir de couches de protocole entre les interfaces suivantes

- **l'Um** (entre le MS et la BTS)
- **l'interface Abis** (entre la BTS et le BSC)
- **l'interface A** (entre le BSC et le MSC)

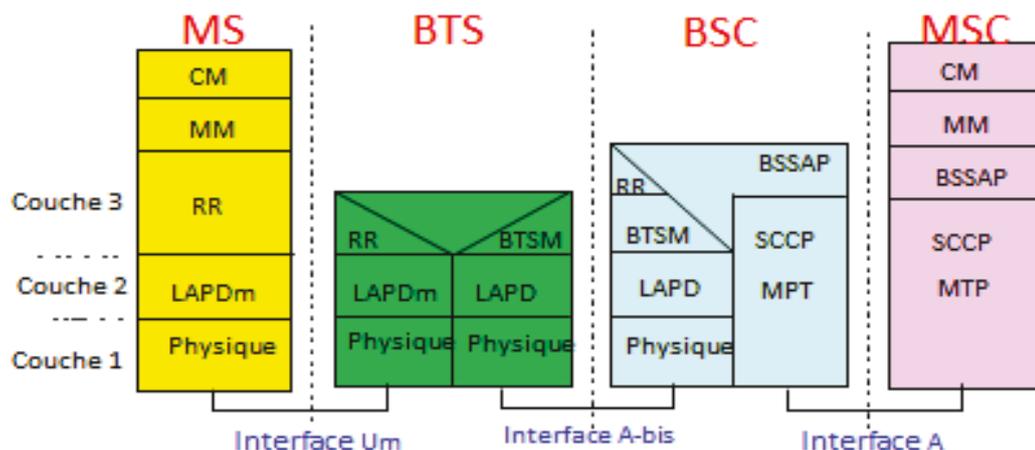


Figure 11: Architecture protocolaire GSM

Sur l'interface Abis, le transport des informations se fait numériquement au niveau de l'interface radio. La **couche de liaison de données** permet de fiabiliser la transmission entre deux équipements.

On utilise, pour le support de la signalisation, le protocole **LAPD** basé sur le protocole **HDLC** (numérotation des trames, mécanisme de correction d'erreurs). Sur les interfaces Um et A, on utilise respectivement le **LAPD modifié** et le MTP niveau 2 (**SS7**).

**La couche réseau** permet d'établir, de maintenir et de libérer des circuits commutés (paroles ou données) avec un abonné du réseau fixe. Cette couche en comprend 3 : RR, MM et CM, cette dernière couche étant elle-même divisée en 3 sous-couches CC, SS et SMS.

La sous couche **RR** traite l'ensemble des aspects radio. Elle gère l'établissement, le maintien et la libération des canaux logiques. Au niveau du mobile, elle sélectionne les cellules et surveille la voie balise à partir des mesures effectuées par la couche physique. Elle est principalement présente dans la MS et le BSC. Quelques messages sont échangés entre le mobile et la BTS ou entre la BTS et le BSC.

La sous-couche **MM** gère l'itinérance. Elle prend donc en charge la localisation, l'authentification et l'allocation du mobile.

La sous-couche **CM** est découpée en 3 parties :

- L'entité **CC** traite la gestion des connexions de circuits.
- L'entité **SMS** assure la transmission et la réception des messages courts.
- L'entité **SS** gère les services supplémentaires.

Les messages des sous-couches CM et MM transitent dans le BSS sans être pris en compte par la BTS et le BSC.

Ses interfaces utilisent les protocoles suivants :

- Le protocole **MTP** qui est divisé en trois niveaux (MTP1, MTP2 et MTP3) proche des trois premières couches du modèle OSI (couche physique, couche liaison de données et couche réseau). Son but est de permettre le transport et la distribution fiable des informations de signalisation à travers le réseau et aussi de réagir aux pannes afin d'assurer continuellement la transmission.
- Le protocole **SCCP** ce protocole permet de transporter des informations de signalisation avec ou sans connexion.
- Le **BSSAP** comprend le BSSMAP et le DTAP. Deux types de messages peuvent être échangés entre le BSC et le MSC : les messages interprétés par le BSC concernent la sous-couche BSSMAP et les autres messages transitant entre le mobile et le MSC sont traités par la sous-couche DTAP (dans ce deuxième cas, le BSC joue le rôle d'un répéteur). Un mécanisme de distribution permet d'aiguiller correctement les messages suivant leur type DTAP ou BSSMAP.
- Le protocole **BSSMAP** : cette sous-couche BSSMAP gère les ressources radio. Elle est utilisée pour gérer les handover et les mises à jour de localisation. Les trames BSSMAP sont encapsulées dans la partie « données » des trames SCCP.
- Le protocole **DTAP** ce protocole prend en charge les messages CM et MM entre le mobile et le MSC. Le BSC est considéré comme « transparent » : les messages transitent sans modification entre le mobile et le MSC. Les trames DTAP sont encapsulées directement dans des trames SCCP ou bien dans des trames BSSMAP.

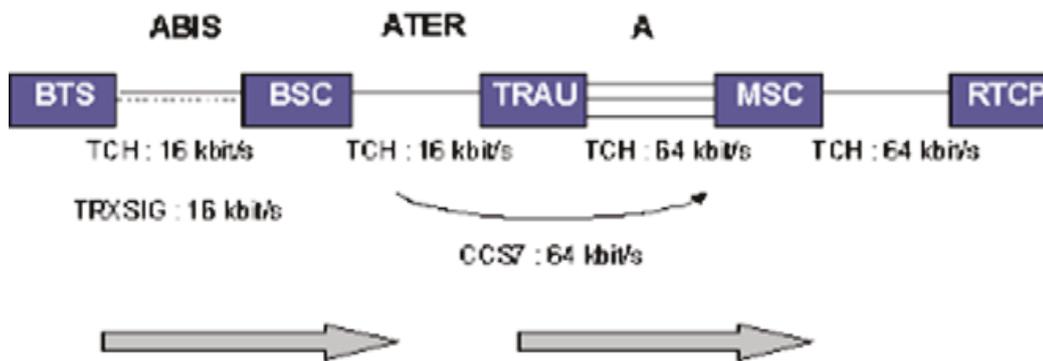


Figure12 : Schéma frames BSSMAP

#### 2.2.4. INTERFACE RADIOÉLECTRIQUE

Lors de la mise sous tension, le mobile cherche le canal le plus approprié pour se rattacher à son réseau. En fonction du signal reçu le mobile peut basculer d'un canal BCCH à un autre (Handover).

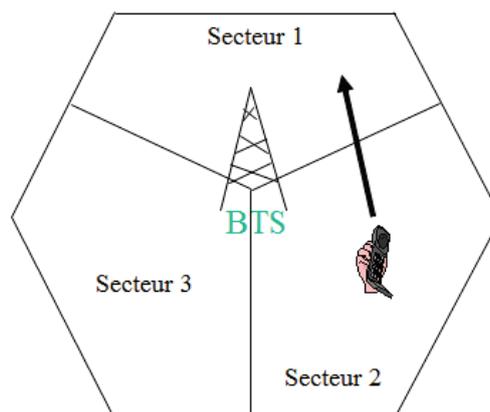


Figure 13: Handover intercellulaire (au sein d'un autre secteur de la même BTS)

Le réseau utilise différents canaux pour que le mobile puisse se connecter à celui-ci et ainsi pouvoir accéder aux nombreux services.

La balise BCH regroupe différents canaux tels que :

- Le canal **FCCH** utilisé pour la synchronisation fréquentielle
- Le canal **SCH** utilisé pour la synchronisation temporelle
- Le canal BCCH utilisé pour la diffusion des informations systèmes.
- 

Les informations du BCCH sont l'identité de la zone de localisation, les cellules voisines, les paramètres de contrôle et les options de la cellule.

Noms	Sens
BCCH (Broadcast Control CHannel)	Descendant
FCCH (Frequency Correction Channel)	Descendant
SCH (Synchronization Channel)	Descendant
AGCH (Access Grant Channel)	Descendant
CBCH (Cell Broadcast Channel)	Descendant
PCH (Paging Channel)	Descendant
RACH (Ramdom Access Channel)	Montant
FACCH (Fast Associated Control Channel)	Bidirectionnel
SACCH (Slow Associated Control Channel)	Bidirectionnel
SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel)	Bidirectionnel

**Tableau 1 : Canaux GSM**

Nous avons aussi des canaux de contrôle unidirectionnel soit montant ou descendant (CCCH) :

- Le canal RACH utilisé dans le sens montant pour l'accès aléatoire du mobile,
- Le canal AGCH utilisé dans le sens descendant pour l'allocation d'un canal radio,
- Le canal PCH utilisé dans le sens descendant pour l'appel du mobile (paging),
- Le canal CBCH utilisé dans le sens descendant pour la diffusion de messages courts spécifiques,
- Le canal SDCCH est utilisé pour la signalisation du trafic.

## **2.3. RÉSEAUX GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)**

### **2.3.1. ARCHITECTURE DU RÉSEAU GPRS**

Le réseau GPRS est l'évolution « naturelle » du GSM. Il met à disposition des clients, des technologies permettant l'échange de données autres que la voix en mobilité, l'internet mobile.

Il peut transporter le trafic de l'utilisateur à des débits de 171,2kbits/s en mode paquet. Quelque temps après l'apparition du mobile les usagers ont eu besoin d'utiliser de la DATA. Le débit offert par le GSM étant de 14,4 Kbits/s, Nous avons eu l'apparition du service HSCSD permettant Transfert de données en utilisant les circuits de voix.

Il utilise jusqu'à 8 canaux TCH (voie) compatible avec le débit 64kbits/s commuté du MSC.

Par rapport au GSM, le GPRS implémente de nouveaux équipements afin de gérer la communication de paquets au sein du réseau :

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node) : nœud de contrôle de service. Il a pour fonction de vérifier l'enregistrement des abonnés, de les authentifier et d'autoriser leurs communications
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : passerelle reliant les réseaux radio de l'opérateur et les serveurs internet + plateformes de services (TV, ...)

Ces entités sont reliées par un lien IP qui tient lieu de réseau cœur (Backbone)

### 2.3.2. PCU (Packet Control Unit)

Le PCU est donc une Interface responsable du partage des ressources et de la retransmission des données. Elle est intégrée au BSC

- Assurer la liaison entre le mobile et le SGSN

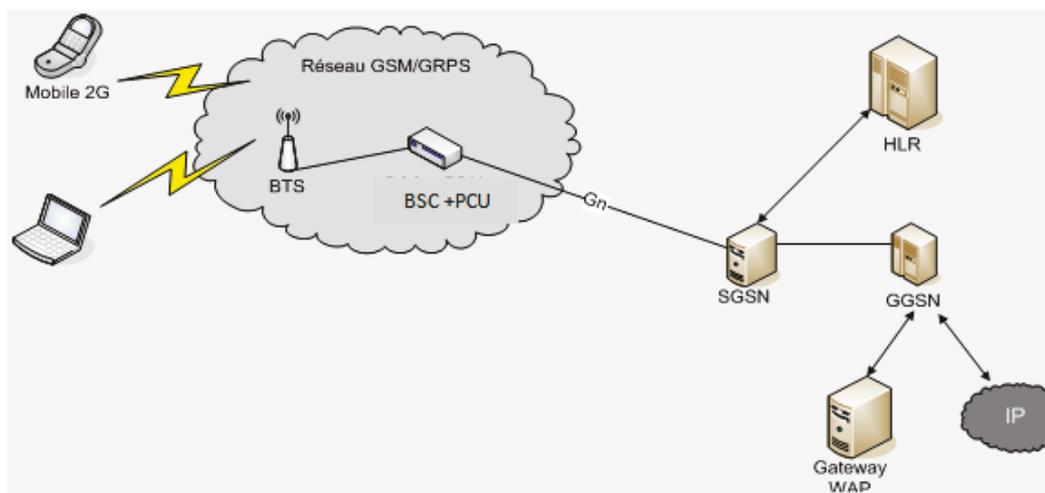


Figure 14: Schéma de l'architecture du réseau GPRS

### 2.3.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE

Pour établir une liaison de donnée on utilise le protocole **LLC** entre le mobile et le SGSN et un tunnel **GTP** pour les échanges entre le SGSN et le GGSN.

Le protocole LLC fonctionne et s'appuie sur le protocole UDP (sans acquittement) ou soit comme le protocole TCP (avec acquittement), ainsi il assure le transfert des données.

Le protocole GTP s'appuie aussi sur les protocoles TCP et UDP entre le SGSN et le GGSN.

Ces équipements sont connectés à un réseau de données basé sur le protocole IP. Les données GTP sont encapsulées dans les protocoles UDP ou TCP.

La couche **SNDP** réutilise les protocoles standards des réseaux fixes IP, elle effectue la compression des en-têtes TCP/IP et des données de trafic.

Le protocole **RLC** permet une liaison de données avec le mécanisme de contrôle de flux pour le trafic et la signalisation entre le mobile et le BSC. Il met en correspondance les trames LLC et les canaux logiques.

Le protocole **BSSGP** est semblable au protocole BSSMAP et donc effectue la gestion de trafic entre le mobile et le SGSN.

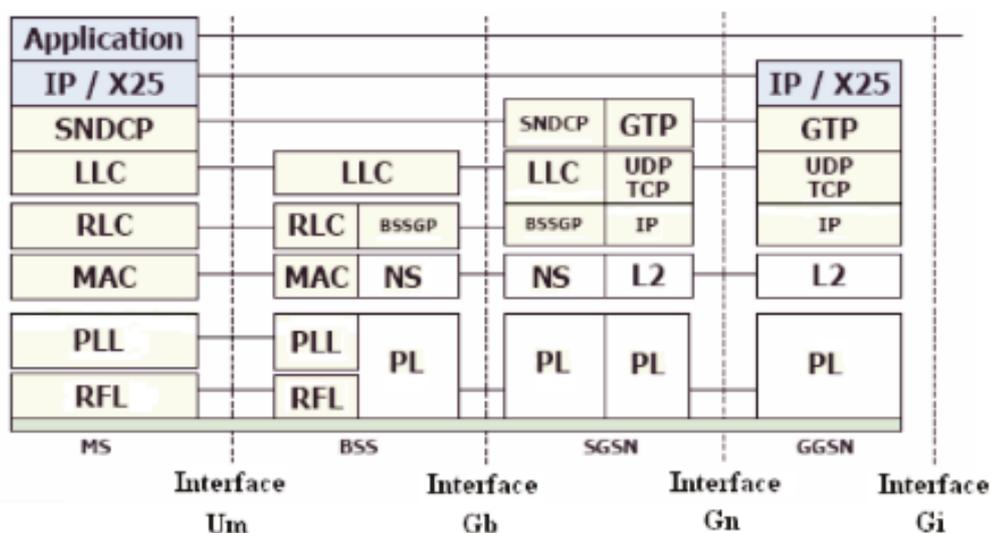


Figure 15 : Architecture protocolaire GPRS

#### 2.3.4. INTERFACE RADIOÉLECTRIQUE

Le réseau GRPS utilise les canaux de bases du GSM (FCCH, SCH, BCCH), mais également les canaux suivants :

- Le canal PDTCH est différent du canal TCH, il est bidirectionnel il est utilisé pour le trafic.
- Le canal PBCH est un canal de diffusion, il donne la zone de routage, les paramètres de control et de puissance de la cellule

- Le canal PRACH est un canal d'accès, il fait une demande de ressource avant de transmettre des données
- Le canal PAGCH est bidirectionnel, il transmet des messages d'authentification du mobile et du PCU
- Le canal PNCH est utilisé pour envoyer une notification à un groupe d'utilisateurs pour faire du multipoint
- Le canal PACCH utilisé dans le sens montant pour la signalisation comme le SDCCH.

Catégorie	Nom	Sens
Diffusion	PBCCH (Packet Broadcast Control Channel)	Descendant
Contrôle (commun)	PAGCH (Packet Access Grant Channel)	Descendant
	PBCCH (Packet Broadcast Control Channel)	Descendant
Contrôle (dédié)	PACCH (Packet Associated Control Channel)	Bidirectionnel
	SACCH (Slow Associated Control Channel)	Bidirectionnel
	PTCHH (Packet Timing Advance Control)	Bidirectionnel
Trafic (dédié)	PDRCH (Packet Data Traffic Channel)	Bidirectionnel

Tableau 2 : Canaux GPRS

## 2.4. RESEAUX UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

### 2.4.1. ARCHITECTURE DU RÉSEAU UMTS

L'UMTS par rapport au GSM est l'une des technologies téléphoniques de troisième génération (3G). Elle est basée sur la technologie W-CDMA, il est possible de réutiliser les mêmes fréquences avec des cellules radio d'une largeur spectrale plus grande à chaque cellule (5 MHz), alors qu'en GSM, les cellules radio doivent utiliser des bandes de fréquences différentes ce qui implique (en GSM) de diviser et répartir les fréquences attribuées à un opérateur entre plusieurs cellules.

La disparition de cette contrainte permet en UMTS d'avoir plus de bande passante et donc plus de débit (ou plus d'abonnés actifs) dans chaque cellule.

Aujourd'hui le réseau 3G peut nous offrir un débit allant jusqu'à 42 Mbits/s. **(Cf. Annexe bande de fréquence).**

Comme pour le GSM, le réseau UMTS est divisé en 2 sous parties :

- Le réseau d'accès radio (RAN pour Radio Access Network)
- Le réseau cœur (CN pour Core Network)

## 2.4.2. LE RESEAU D'ACCES

Le réseau d'accès radio achemine l'information du terminal au réseau cœur. Également appelé UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network), il est composé de 2 principaux constituants:

- Le **NodeB** : il s'agit de l'émetteur - récepteur du réseau d'accès de l'UMTS qui remplace la BTS. Son rôle est de :
  - convertir le flux de données entre les interfaces Lub&Uu et de participer à la gestion des ressources radio.
  - Gérer la voix/data pour l'utilisateur, contrôler les communications entre le RNC et les UE, gérer la taille de ces cellules, les canaux de transport, superviser les alarmes HW et SW ainsi que les performances radio
- Le **RNC** (Radio Network Controller) remplace le BSC et s'interface avec le réseau cœur, généralement à un MSC et à un SGSN, au travers de l'interface Lu, qui regroupe deux interfaces possibles, luCS ou luPS selon que le réseau cœur appartient au domaine circuit ou au domaine paquet.
  - Assurer la gestion des ressources radio de l'UTRAN et l'interconnexion avec les autres éléments actifs du réseau : MSS et GGSN.
  - Gérer le protocole RRC (Radio Resource Control) qui définit les messages et les procédures entre le mobile et l'UTRAN.
  - Répartir les ressources radio RRM
  - Gérer la localisation et la mobilité des utilisateurs, la supervision (compteurs) et la sécurité (chiffrement des données)
- **Les interfaces existantes :**
  - **lu CS** (lu Circuit Switched) pour le domaine circuit (≈ Interface A)
  - **lu PS** (lu Packet Switched) pour le domaine paquet (≈ Interface Gb)
  - L'interface **lur**, permet les échanges entre RNC (soft handovers,...).

A noter que ce type d'interface n'existe pas en GSM. L'interface lub, relie le Node B au RNC (≈ Interface Abis). Contrairement au GSM, cette interface est ouverte et permet ainsi aux opérateurs d'utiliser des équipements Node B et RNC de constructeurs différents. Ci-dessous l'architecture réseau umts.

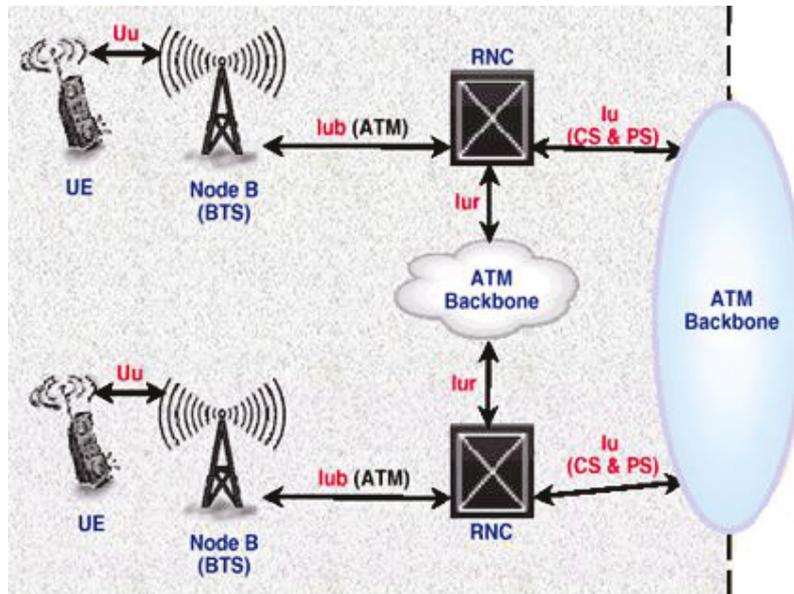


Figure 16 :Schéma de l'architecture du réseau UMTS (UTRAN)

### 2.4.3. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE

Le réseau UTRAN possède plusieurs plans :

- Plan utilisateur pour la DATA (USER PLANE PACKET SWITCHED)  
*Applications* : WAP, WEB, FTP, STREAMING, ETC.
- Plan utilisateur pour la voix (USER PLANE CIRCUIT SWITCHED)  
*Applications* : VOIX, VISIOCONF, ETC.
- Plan contrôle pour la voix et la DATA (CONTROL PLANE CS&PS)  
*Applications* : SIGNALISATION, ALLOCATION DE RESSOURCES RADIO, HANDOVER CONTROL, ETC.

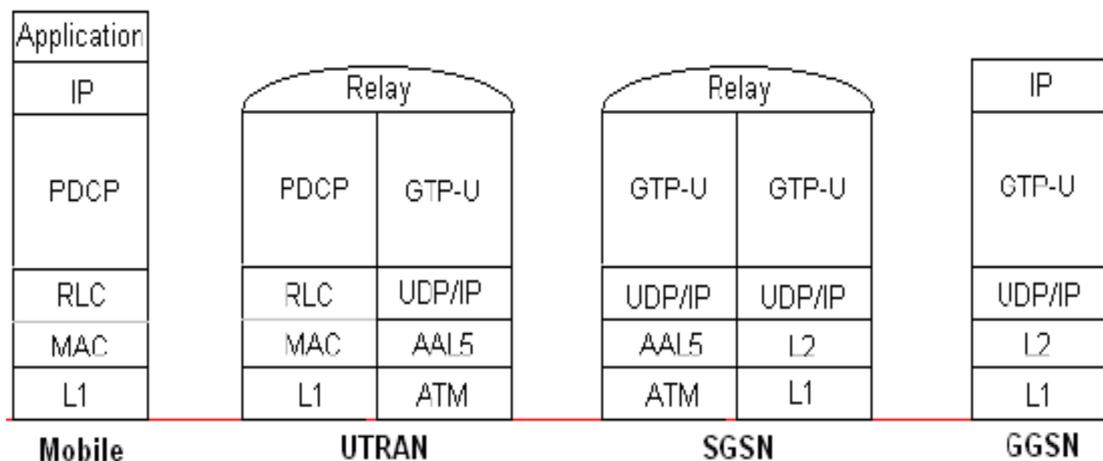


Figure 17 : Architecture protocolaire mode paquet

## Fonctions principales des protocoles :

- **PDCP** : Compression d'en-têtes
- **RLC** : Segmentation / réassemblage des paquets
  - ✓ Chiffrages
  - ✓ Contrôle de flux
  - ✓ Acquittements des paquets
- **MAC** : Contrôle les procédures de signalisation
  - ✓ Mapping entre les canaux logiques et les canaux de transports
  - ✓ Identification des mobiles sur les canaux communs
  - ✓ Gestion des priorités entre mobiles
  - ✓ Gestion de priorité sur les flux de données au niveau mobile
- **GTP-U** : Conversion des données UTRAN (ATM) vers les données SGSN (IP)
- **UDP** : Protocole de transport sans acquittement

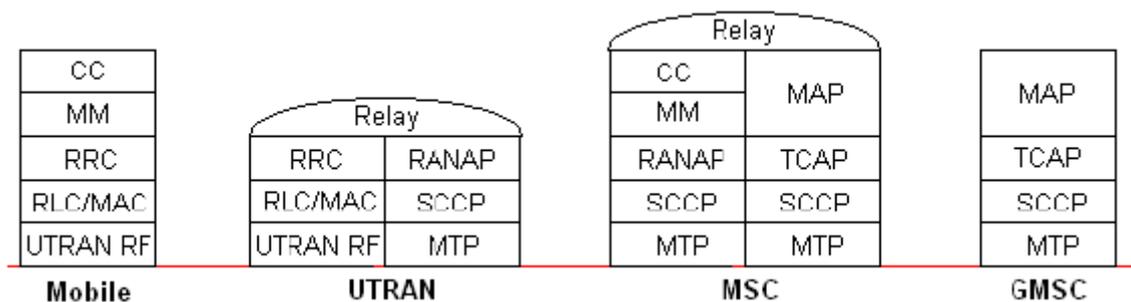


Figure 18: Architecture protocolaire DATA UMTS

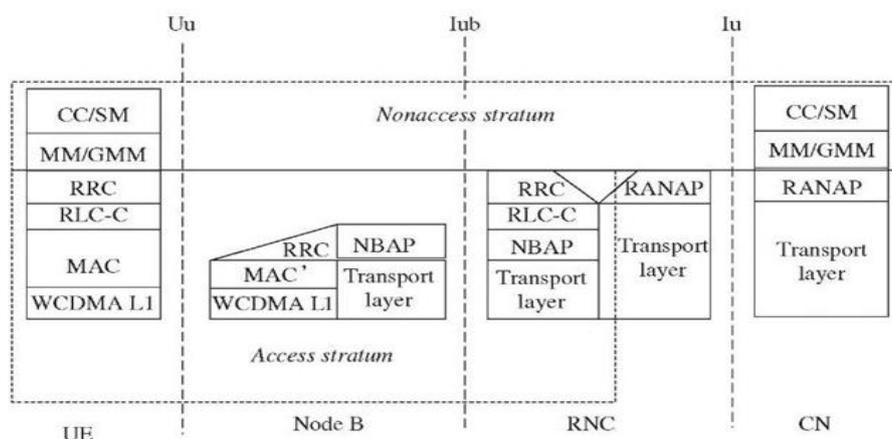


Figure 19: Architecture protocolaire control plane

## Fonctions principales des protocoles :

- **RRC** : Transporte les infos pour établir, modifier ou libérer les liens radio et la gestion de la mobilité
- **NBAP** : Protocole sur le lien IUB il contient la signalisation commune et /ou la signalisation dédiée
- **RNSAP** : Protocole sur le lien IUR, il permet la mobilité entre RNC
- **RANAP** : Utilisé sur le lien IU, il permet les opérations de paging, sécurité et de RAB management
- **(G)MM** : Gestion de la mobilité (ATTACH, DETACH, LOCATION UPDATE, ETC.)
- **SM** : Gère l'activation et la désactivation du PDP contexte (pour les appels DATA)
- **CM** : Contrôle les appels voix

### 2.4.4. INTERFACE RADIOELECTRIQUE

Contrairement au GSM nous avons trois types de canaux :

- Les **canaux logiques** : sont les points d'accès aux services de la couche MAC
- Les **canaux physiques** : sont les ressources utilisées sur l'interface radio pour la transmission des informations
- Les **canaux de transport** : sont les points d'accès aux services de la couche physique

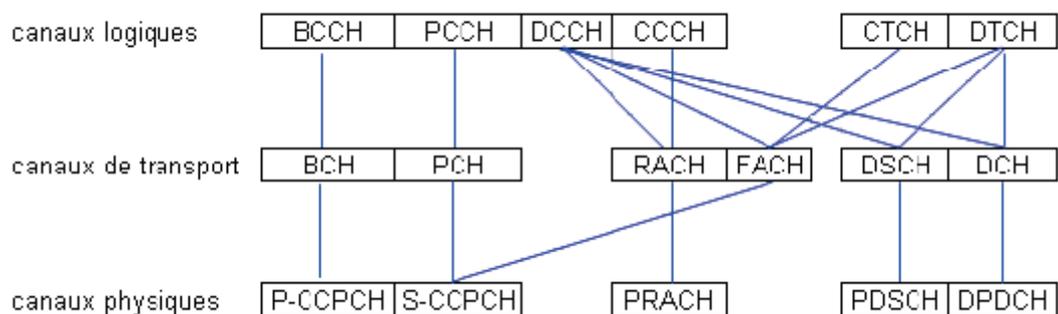


Figure 20 : Canaux UMTS

### 2.4.1.1. LES CANAUX LOGIQUES

On peut distinguer deux classes de canaux logiques :

- Les **canaux logiques de contrôle** qui sont utilisés pour le transfert des informations dans le plan de contrôle (signalisation).
- Les **canaux logiques de trafic** qui sont utilisés pour le transfert des informations dans le plan usager. Deux types de canaux logiques de trafic sont spécifiés.

#### **Les canaux logiques de contrôle et de trafics :**

- BCCH (Broadcast Control Channel) : diffusion d'information de contrôle
- PCCH (Paging Control Channel) : envoi de messages de paging (recherche d'un terminal) aux mobiles
- CCCH (Common Control Channel) : émission/réception de messages pour les mobiles non connectés au réseau
- DCCH (Dedicated Control Channel) : émission/réception de messages pour les mobiles connectés au réseau
- DTCH (Dedicated Traffic Channel) : échange de données avec un mobile connecté au réseau
- CTCH (Common Traffic Channel) : envoi de données à un ensemble de mobiles

### 2.4.1.2. LES CANAUX PHYSIQUES

Sur l'interface radio UTRA/FDD, un canal physique est défini par une fréquence porteuse, un code de canalisation (Channelization code), un code d'embrouillage (Scrambling code), une durée dans le temps (avec un instant de temps de début et de fin qui dépend du type de canal) et une phase relative pour la voie montante.

Les métriques suivantes sont également référencées pour définir la durée des canaux physiques : un slot est un intervalle de temps de longueur fixe et égale à 2560 chips (=0,667ms), le nombre de bits par slot est variable et une trame radio est une durée où l'on traite de l'information qui s'étend sur quinze intervalles de temps ou slots, soit 38 400 chips (10ms).

Les canaux physiques sur la voie montante : PRACH, PCPCH, DPDCH et DPCH.

Les canaux physiques sur la voie descendante : certains canaux physiques sur la voie descendante supportent les canaux de transport décrits précédemment, d'autres ne transportent que des informations de signalisations internes de la couche physique, nous distinguons : DPCH, SCCPCH, PDSCH, PCCPCH, CPICH

- **P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel)**: Diffuse d'une façon continue les identifications du système
- **S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)**
- **PRACH (Physical Random Access Channel)**: Transporte le FACH et le PACH
- **PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)**: Transporte les informations de contrôle vers le système et vers l'utilisateur
- **DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)**: Transporte des données de l'utilisateur

#### 2.4.1.3. LES CANAUX DE TRANSPORT

Un canal de transport est un service offert par la couche physique à la couche MAC pour le transfert d'informations. Les canaux de transport peuvent être classés en trois catégories :

- Le **canal de transport commun** : est un canal point à multipoint ou point unidirectionnel utilisé pour le transfert d'information d'un ou de plusieurs équipements usagers (UE),
  - Le **canal de transport partagé** : est un canal utilisé pour le transport des données de contrôle ou de trafic uniquement en voie descendante et partagé dynamiquement par différents utilisateurs,
  - Le **canal de transport dédié** : est un canal point à point dédié à un seul UE et qui transporte des données de contrôle ou de trafic. Ce type de canal existe dans les deux sens de la liaison.
- DCH (Dedicated Channel) : canal dédié
  - BCH (Broadcast Channel) : canal de transport du réseau vers les mobiles à débit constant
  - PCH (Paging Channel) : canal de transport du réseau vers le mobile
  - RACH (Random Access Channel) : canal de transport mobile -> réseau
  - FACH (Forward Access Channel) : canal de transport réseau -> mobile

## 2.5. RÉSEAUX EPS (Evolved Packet System)

Le réseau EPS propose des débits répondants aux besoins croissants des utilisateurs d'internet. Il est constitué d'un nouveau réseau d'accès le **LTE** (Long Term Evolution) mais aussi d'un nouveau cœur du réseau appelé **SAE** (System Architecture Evolution).

Pour cela la norme LTE propose un débit descendant minimal de 10Mbps pour atteindre les 300Mbps en condition optimale. Les débits montants partent de 5Mbps jusqu'à 75Mbps.

L'un des challenges des réseaux mobiles est d'être disponible partout et tout le temps. Pour cela, la norme LTE a été prévue pour fonctionner aussi bien dans les zones denses que dans les zones rurales. Une cellule LTE peut couvrir 5km de diamètre dans les zones fortement peuplées et s'étendre jusqu'à 100km dans les zones les plus reculées. Disposer de très haut débit ne sert à rien si les temps de réponses sont trop lents.

En effet, les sites et services mobiles sont actuellement faits pour être coûteux en bande passante. Pour améliorer l'expérience internet mobile, il faut donc, que le réseau soit en mesure d'envoyer des petits fichiers rapidement. Le LTE propose pour cela une latence moyenne de 20ms et peut descendre en dessous des 5ms en condition optimale. Pour comparer, un réseau UMTS à une latence moyenne de 300ms.

### 2.5.1. ARCHITECTURE DU RESEAU EPS

#### 2.5.1.1. LE RESEAU D'ACCES LTE

Le réseau d'accès LTE est constitué d'une station de base des réseaux mobiles appelée **eNode B** (Evolved Node B) qui est l'équivalent du Node B dans les réseaux UMTS. Il constitue l'élément principal du réseau radio LTE, appelé aussi eUTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)

L'eNode B est responsable de la transmission et de la réception radio avec l'UE. Contrairement à la 3G, l'eNode B réunit le Node B et le RNC en une seule entité. La particularité des eNode B est qu'ils sont reliés, à la fois, au réseau cœur MME/SGW mais également reliés aux autres eNode B adjacents via des interfaces appelées « X2 ».

Cela apporte :

- une **sécurité** car l'e Node B minimise la perte de paquets lors de la mobilité de l'utilisateur en mode ACTIF (handover).

- un **meilleur partage des ressources** : si le lien principal est saturé, la station peut en utiliser un autre pour continuer à servir ses utilisateurs dans un temps raisonnable.

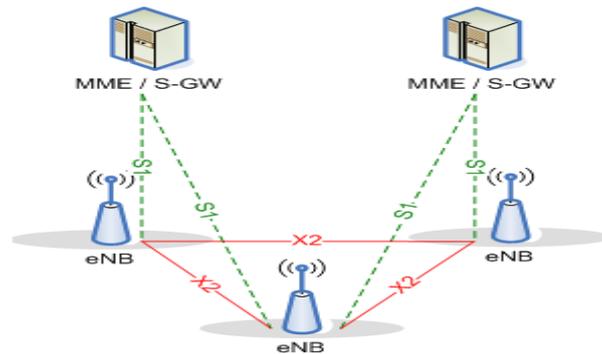


Figure 21: Schéma de l'architecture du réseau LTE (E-UTRAN)

- **HSS** : Le HSS est une base de données qui est utilisée simultanément par les réseaux 2G, 3G, LTE/SAE et IMS appartenant au même opérateur. Il supporte donc les protocoles MAP (2G, 3G) et DIAMETER (LTE/SAE, IMS). Avec la technologie LTE, le HLR est réutilisé et renommé Home Subscriber Server (HSS). Le HSS est un HLR évolué et contient l'information de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, 3G, LTE et IMS.
- **L'entité PCRF** fournit au PDN-GW les règles de taxation. Ces règles de taxation permettent au PDN-GW de différencier les flux de données de service et de les taxer de façon appropriée. Si l'utilisateur demande l'établissement d'une session IMS, un message SIP sera envoyé au P-CSCF qui dialoguera avec le PCRF pour lui indiquer la QoS requise par l'utilisateur pour cette session.

## 2.5.2. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE LTE

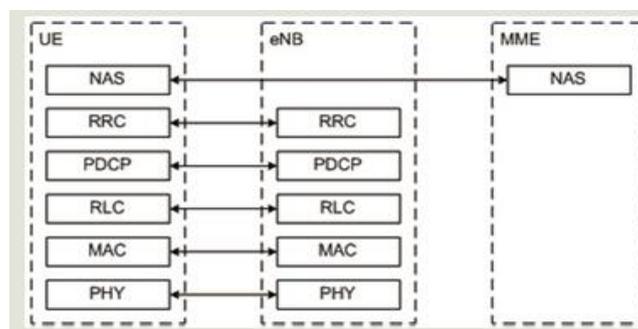


Figure 22 : Architecture protocolaire LTE (E-UTRAN)

Le LTE fonctionne sur un système à couches entre l'utilisateur (UE), l'eNodeB (eNB) et le Mobile Management Entity (MME). Chaque couche communique avec son équivalent du même niveau.

Les différentes couches présentes sont :

- **PHY : Couche Physique** des équipements, supportant les technologies OFDMA et SC-FDMA . Elle est chargée de la transmission effective des signaux entre les interlocuteurs.
- **MAC (Media Access Control) et RLC (Radio Link Control)** constituant la couche de Liaison de Données. La sous-couche MAC est chargée de l'interface entre les couches supérieures et la couche physique. La sous-couche RLC fiabilise la transmission de données en mode paquet.
- **PDCP (Packet Data Control Protocol)** : Cette couche est chargée de la compression et de la décompression des données pour leur acheminement sur le réseau. Elle se trouve côté utilisateur ("user plane").
- **RRC (Radio Resource Control)** : Comme son nom l'indique, le RRC est chargé de contrôler les ressources afin de garantir la **Qualité de Service (QoS)**.

Deux états sont possibles : **RRC\_IDLE** (pas d'équipement connecté) ou **RRC\_CONNECTED**.

C'est un protocole en mode connecté qui fonctionne en 3 étapes :

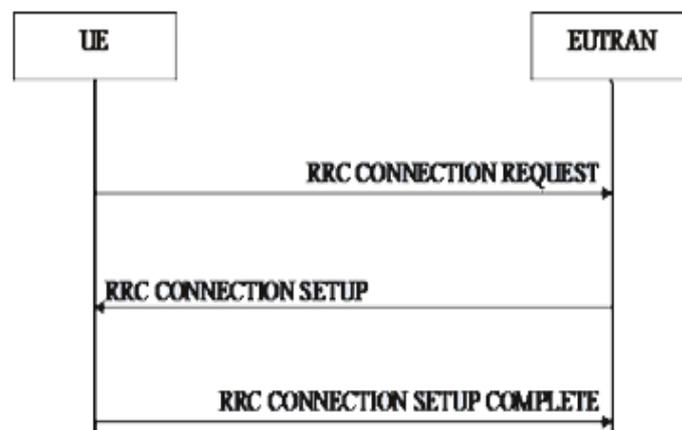


Figure 23 : Connexion RRC

Une demande est effectuée par l'utilisateur au réseau E-UTRA (**RRC CONNECTION REQUEST**), qui accepte (**RRC CONNECTION SETUP**) ou refuse la connexion (**RRC CONNECTION REJECT**). En cas d'acceptation, l'utilisateur renvoie un **RRC CONNECTION SETUP COMPLETE** et la connexion est établie.

### 2.5.3. GESTION DES COMMUNICATIONS

Avec l'apparition de la 4G une nouvelle technologie radio apparait : OFDMA/SC-FDMA.

Le signal OFDMA est utilisé en downlink, il comporte 2048 sous-porteuses présentant un espacement de 15 kHz. Les sous-porteuses sont réparties entre les utilisateurs.

En OFDMA, les utilisateurs se voient attribuer un nombre précis de sous-porteuses pour un time slot prédéterminé, appelées PRBs (physical Resource Blocks).

Les ressources blocks ont une dimension temps et fréquence, leur répartition est gérée en fonction de la planification par l'eNode B.

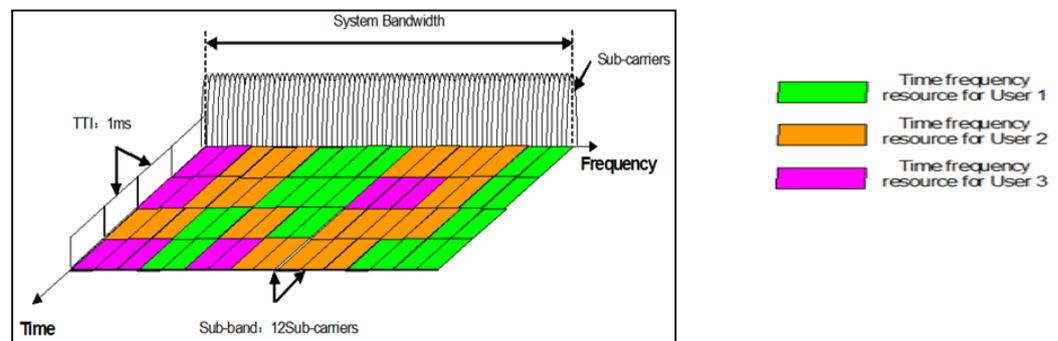


Figure 24 : Ressources blocks OFDMA

Le signal FDMA est utilisé en uplink. Il est le système d'accès multiple par répartition en fréquence. Comme d'autres systèmes d'accès multiple (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), il traite de la cession de plusieurs utilisateurs d'une ressource de communication partagée. Le système de transmission en liaison montante est basé sur une seule porteuse. L'espacement de sous-porteuse de liaison montante AF = 15 kHz.

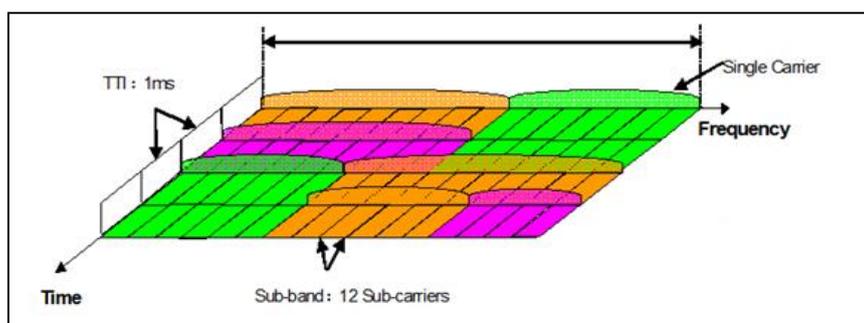


Figure 25: Ressources blocks SC-FDMA

### 3. AUDIT AVANT-PROJET ET OBJECTIFS

#### 3.1 CONTEXTE GENERAL

Tout en tenant compte du contexte économique et social que connaît l'entreprise aujourd'hui suite à une nouvelle organisation, la mission qui m'a été confiée durant mon stage s'inscrit dans un souci de qualité de service du réseau. L'amélioration de la QoS (Quality of service) radio sur la chaîne antenne aéroport est un enjeu majeur au sein du service maintenance.

Après plus de 15 ans d'externalisation de la maintenance la qualité du réseau SFR s'est dégradée au fur et à mesure du temps.

La satisfaction client étant un point fort de l'entreprise, SFR a décidé de reprendre les choses en main en réinternalisant une partie de l'activité au sein de la maintenance. Le projet MOZART a donc laissé place au nouveau projet dit PROMA (Internalisation des compétences).

À travers le projet PROMA, SFR récupère les accès, la logistique et une partie de la maintenance.

Ci-dessous le modèle MOZART vers PROMA :

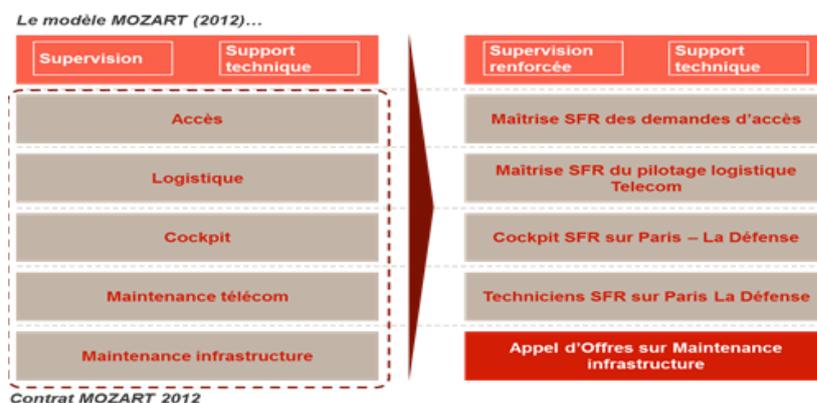


Figure 26: Rappel du contrat Mozart vers le contrat PROMA

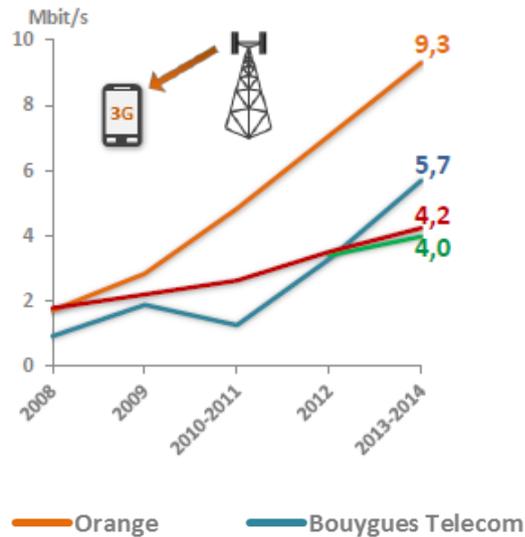
Les attentes de ce projet sont de taille :

- améliorer la qualité des infrastructures radios 2G, 3G et 4G qui aura pour effet la progression du service voix et Data sur la région Ile-de-France qui représente plus de 30 % de part de marché de la société SFR.

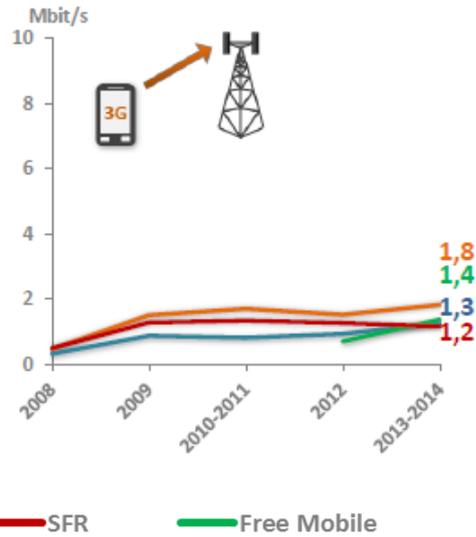
- mettre en place des solutions palliatives afin d'assurer un rétablissement de la perte de couverture radio.

Les résultats de l'enquête ARCEP confirment le mécontentement des clients. Les graphes ci-dessous présentent les résultats pour les services de données pour les agglomérations de plus de 10 000 habitants afin de pouvoir comparer les résultats avec les années précédentes.

### Débits médians descendants

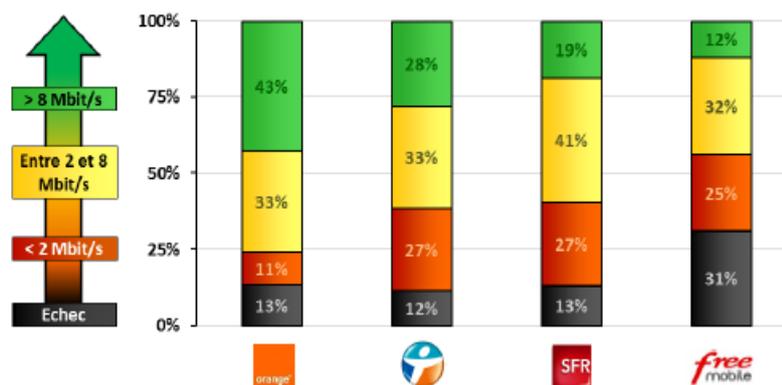


### Débits médians montants



Les débits se sont améliorés chez tous les opérateurs. Orange offre les meilleurs débits et Bouygues Telecom est généralement devant SFR et Free Mobile sur l'ensemble des services de données.

### Répartition des débits descendants



## Répartition des débits montants



Les résultats présentés ci-après contiennent un total de 258 indicateurs (105 pour le service de voix et 153 pour le service de données). En synthèse, chaque opérateur a obtenu les positions suivantes :

	Bouygues télécom	Free mobile	Orange	SFR
<i>Supérieur ou très supérieur à la moyenne (+ ou ++)</i>	16	1	78	5
<i>Voisine de la moyenne (-)</i>	80	49	27	92
<i>Inférieur ou très inférieur à la moyenne (- ou - -)</i>	9	55	0	8
<b>TOTAL</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>

Tableau 3 : Service voix opérateurs

	Bouygues télécom	Free mobile	Orange	SFR
<i>Supérieur ou très supérieur à la moyenne (+ ou ++)</i>	59	1	135	33
<i>Voisine de la moyenne (-)</i>	60	56	18	82
<i>Inférieur ou très inférieur à la moyenne (- ou - -)</i>	34	96	0	38
<b>TOTAL</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>153</b>

Tableau 4 : Service données opérateurs

Pour la première fois en 20 ans, SFR passe troisième sur la qualité loin derrière Orange. Tous ces résultats sont en phase avec le ressenti des clients.

Suite à cela l'opérateur a voulu tout de suite réagir en mettant plusieurs projets en place dont le projet PROMA.

## 3.2 ENJEUX

Le groupe Numéricâble-SFR a pour ambition d'être le leader national de la convergence du Très Haut Débit fixe-mobile. Il a pour objectif d'étendre rapidement la couverture THD fibre et 4G au plus près des territoires et d'offrir une qualité de service optimale d'ici fin 2017.

Le groupe investit massivement pour la qualité du réseau mobile existant et à l'extension de ce réseau en 4G. Le Groupe a connu une forte progression de sa couverture 4G en 2014 pour atteindre 50% à fin 2014.

Ainsi s'inscrivent les objectifs pour la maintenance :

- Pouvoir garantir les conditions radio suffisamment bonnes pour assurer aux clients une qualité irréprochable.
- Pouvoir anticiper tous les dysfonctionnements radio

Le nombre d'incidents liés à la mauvaise qualité de la chaîne antenne aère est difficilement quantifiable. Tous les jours, des intervenants résolvent des dysfonctionnements sur des sites radios. Grâce à l'ingénierie réglage et à la supervision, des tickets incidents sont créés. (Voir exemple ci-dessous).

```
Started      2015-03-03 23:32:33
Notif ID    39946
Acked      2015-03-03 23:33:18      Acked by      AUTOACK
Suppl Info 02 2325 4612d 82d 84d 1d 0d
Diag Info  FF FF FF FF FF FF
Object     +MAISONS_LAFFITTE_GS Consec no. 167166828      QUALITY_OF_SERVICE
Ctrl1 NE   BSC_780315_4      MR-IDF_2G

7604      **      MR-IDF_2G
+F2G 780013_8
PLMN-PLMN/BSC-376484/BCF-1022/BTS-1023
BTS OPERATION DEGRADED
Started    2015-03-03 21:48:30
Notif ID  39940
Acked     2015-03-03 21:49:14      Acked by      AUTOACK
Suppl Info 00 00 00 83 21 21 -Shared:S
User info RF module reported antenna line failure
Diag Info 00 00 00 83 21 21
Object     +MAISONS_LAFFITTE_GS Consec no. 167164095      COMMUNICATION
Ctrl1 NE   BSC_780315_4      MR-IDF_2G
```

Figure 27 : Alarme supervision

LAC	CI	HOP	AD OP ST STATE	FREQ
BCF-1022	FLEXI	MULTI	U WO	
48003	17813	BTS-1023	U WO	
F2G780013G1		BB/-		
	4	TRX-007	U WO	85
		TRX-008	U BL-TRX	80
		TRX-009	U BL-TRX	88
		TRX-010	U BL-TRX	111

1 : Information sur le type d'alarme

2 : Date d'arrivée de l'alarme

3 : Nom du BCF(1022), LAC(48003),CI(17813)

4 : Etat des TRX (communications)

Les mainteneurs n'ayant pas de méthodologies et de solutions pour résoudre ces différents types de problèmes, j'ai pu apporter mes compétences à ce projet d'internalisation de la maintenance.

À ce jour, le nombre d'interventions ne cesse d'augmenter ainsi que la qualité de service voix et data. La prochaine enquête ARCEP confirmera notre progression. Dans mon étude technique, j'énumérerai quelques problématiques rencontrées.

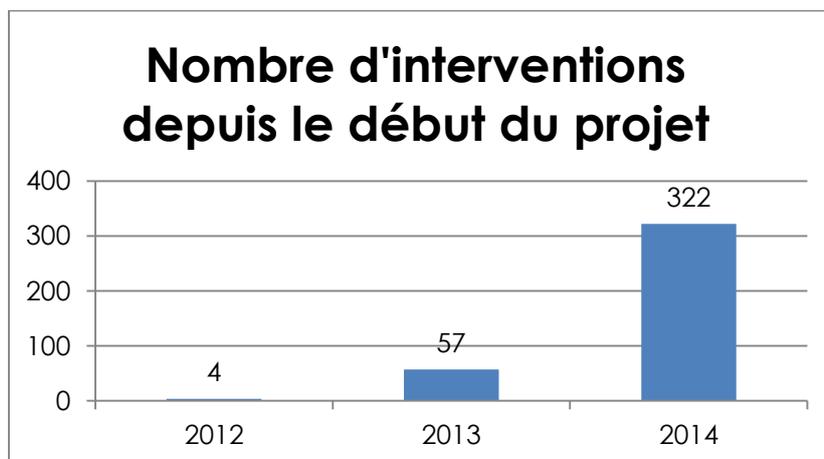


Figure 28 : Nombre d'interventions résolues

L'ampleur de mon projet ne pouvait pas se réaliser sans ressources tant au niveau matériel (appareil de mesure) qu'humain (compétences techniques). Le suivi de projet a été assuré au travers de réunions mensuelles avec le responsable manager de la maintenance Christophe Duhamel. L'objectif de ces réunions était d'établir l'état des lieux du projet, de lister les points bloquants et d'assurer le bon déroulement du projet. Il en résultait donc des réflexions sur l'orientation à prendre (next step), les points bloquants à soulever.

Ce suivi mensuel était un point clé dans la réussite et la concrétisation du projet. Il permettait de savoir si les initiatives prises allaient dans le bon sens. Certaines idées avaient du mal à être mises en place telles que le nombre d'appareils de mesure, le nombre de techniciens spécialisés et les modes opératoires à rédiger. Il a fallu s'adapter à l'environnement social et économique du projet PROMA et à l'évolution du réseau.



Figure 29 : Répartition zone de maintenance sur IDF

### 3.3 MA MISSION

Ma principale mission, au sein du service MRA, consistait à **mettre en place les solutions techniques** permettant de détecter les sites ayant des problèmes techniques sur la chaîne antenne aère dans la région Ile de France et mettre en place, par voie de conséquence, les solutions appropriées. Tout cela, à **moindre coût** et de la manière la **plus efficace possible**. Au fur et à mesure de ce mémoire, je vais démontrer que la qualité de la chaîne antenne aère à un rôle très important sur l'impact clients.

Ces objectifs nécessitent de :

- Collaborer avec le service ingénierie, pour la mise en place et la modification des paramètres radio (seuil d'alarmes),
- Réaliser une étude et l'achat d'appareils nécessaires à l'analyse du réseau,
- Former 40 techniciens aux bases de la radio télécommunication et à l'utilisation de ces outils,
- Mise en place d'un catalogue de maintenance.

Pour mener à bien cette mission, il m'a fallu travailler avec plusieurs services d'ingénierie (déploiements, maquettes, réglages).

## 4. GESTION DE PROJET

### 4.1. CAHIER DES CHARGES

#### 4.1.1. DESCRIPTION GENERALE DU PROJET

L'entreprise souhaite devenir n°1 sur l'enquête de satisfaction clients. Pour atteindre cet objectif, la qualité de son réseau doit être irréprochable. Ce projet a pour objet d'améliorer la **qualité de la chaîne antenne aïre** qui est en relation directe avec la qualité des communications téléphoniques mobiles.

Ce projet a aussi une importance stratégique et économique, il permet d'éviter de sous-traiter une nouvelle activité par l'opérateur.

#### 4.1.2. OBJECTIF DE L'ENTREPRISE

Depuis peu, la France regroupe 4 opérateurs téléphoniques, ainsi SFR a pour objectif de limiter les dépenses tous en étant efficace. SFR souhaite donc aujourd'hui, faire bénéficier les utilisateurs d'infrastructures radio permettant une augmentation significative de la qualité du réseau téléphonique mobile tout en restant compétitif. Un tel projet, a pour objectif profond de retenir et de fidéliser la clientèle déjà acquise par le groupe. De la satisfaction des utilisateurs dépend aujourd'hui la pérennité et la prospérité de SFR.

Les enjeux sont aujourd'hui d'un premier abord technique, mais sont en réalité, pour le groupe un enjeu et un objectif vital.

Ces objectifs rencontrent néanmoins aujourd'hui une réalité économique et financière qui doit être pris en compte. La France fait partie de l'un des pays du monde à afficher des prix aussi bas dans le secteur de la télécommunication. Il est essentiel de maintenir cette position qui est vecteur de stabilité sur le marché de l'offre mobile.

#### 4.1.3. CONTRAINTES DU PROJET

Les spécifications et les contraintes techniques pour mener à bien ce projet seront multiples. De nombreux paramètres doivent être pris en compte et parfois de manière simultanée.

Méthodologie et fédération des services seront les maîtres mots pour aboutir à la finalisation de mes demandes. En effet, il faudra remettre en cause des outils et des installations validées en amont et déjà présents sur le terrain. Par exemple, une partie de mon travail consiste à fournir les arguments permettant de convaincre le service ingénierie à apporter des modifications à certains paramétrages radio. Il faudra, pour cela, apporter aux différents interlocuteurs des éléments leur permettant de comprendre le problématique terrain et suivre le développement des modifications pour arriver à finaliser ces modifications essentielles à la finalité de mon projet.

La compréhension et l'analyse de la technologie radio **NSN** (Nokia System Network), sont un des piliers nécessaires pour progresser rapidement et efficacement.

Une fois l'intégralité des contraintes techniques générées par la technologie NSN maîtrisés, il sera plus facile de proposer des solutions. Pour arriver à cette finalité et cette vision globale de la technologie NSN, il faudra **analyser chaque paramètre** et **composant** afin de pouvoir proposer des améliorations techniques pointues et les plus pertinentes possibles.

Il sera également important d'analyser les différentes **KPI (Key Performance Indicator)** de manière simultanée pour que les propositions techniques coïncident avec une réalité économique et financière. En effet, il ne faudra pas perdre de vue que le succès d'un tel changement découle d'une rencontre entre la technologie et l'aspect financier.

Enfin, il ne faudra pas occulter le fait qu'il existe pour la validation d'un tel projet, de nombreux acteurs humains et une logistique importante. De nombreux échanges et discussions ont donc rythmé ce projet pour trouver un compromis entre la direction et les fournisseurs.

#### 4.1.4. EVALUATION DES RISQUES

##### **Les principaux risques à considérer dans la réalisation de ce projet sont :**

- **Un dépassement du budget, alloué au projet :** En effet, il faudra tenir compte du fait que les évolutions technologiques sont souvent liées à des dépassements budgétaires. Or, nous sommes actuellement dans une situation socio-économique ne nous permettant pas de pousser les jalons fixés au préalable concernant la budgétisation
- **Le respect du timing et du rétro-planning mis en place :** Le partage des connaissances sur les nouvelles technologies, engendre souvent un nombre d'échange et d'aller-retour conséquent. L'efficacité et la qualité des échanges sont donc essentielle pour que le projet puisse être réalisé dans les temps.



L'objectif de ces réunions périodiques était double, d'une part bien sûr présenter l'avancement du projet, des réflexions en cours mais surtout pour moi avoir un feedback sur les ressentis et les orientations du projet, des utilisateurs de tous les jours. C'était le moyen de s'assurer si le projet allait dans le bon sens ou pas.

J'ai notamment pu m'apercevoir au cours de ces réunions que certaines idées, telles que le changement du seuil du taux de coupures toléré par SFR ainsi que le niveau d'échecs RRC (Radio Resource Control), auraient du mal à être mises en place, parce qu'elles étaient difficilement adaptables au vu de la situation économique actuelle. Toutes ses prestations sont facturées des millions d'euros par le constructeur **NSN** (Nokia Service Network). Elles devaient donc être abandonnées.

## 5. PROBLEMATIQUES

En île de France, on dénombre plus de **3 500 sites radios** dont un certain nombre ont été laissés dans un état déplorable.

Il faut savoir que l'architecture des sites diffère en fonction des équipements radios installés et de l'environnement extérieur. Comme le montre la figure ci-dessous (Figure 33), nous pouvons ainsi avoir un site radio possédant une ou plusieurs baies radio couvrant une zone en 2G, 3G et 4G, ce qui peut engendrer de **multiples problèmes** au niveau de la **chaîne antenne aère** comme parfois de **l'intermodulation** mais également rencontrer des brouilleurs et des problèmes de **ROS** (Rapport d'onde stationnaire). Tous les détails techniques seront expliqués par la suite.





Figure 33 : Site radio sur une terrasse

## 5.1. RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE

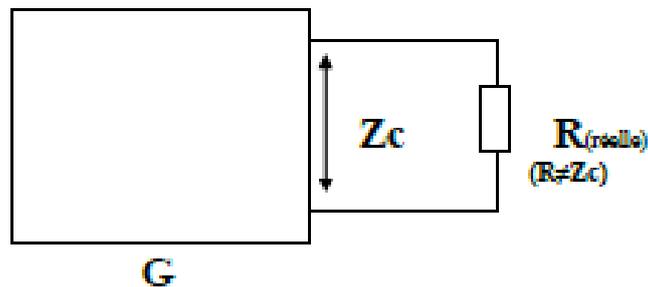
La ligne d'alimentation et l'antenne sont optimisées pour une impédance de  $50 \Omega$  sur la gamme de fréquence de transmission de sorte que la totalité du signal radio est émise à l'antenne. Le paramètre VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)  $\Leftrightarrow$  **ROS constitue** un indicateur important car en relation avec de signal réfléchi sur la ligne d'alimentation entière.

Le VSWR (ROS) est défini comme le rapport entre les ondes stationnaires maximum et minimum. La perte de retour est la perte de puissance du signal résultant de la réflexion causée par une discontinuité dans la ligne de transmission.

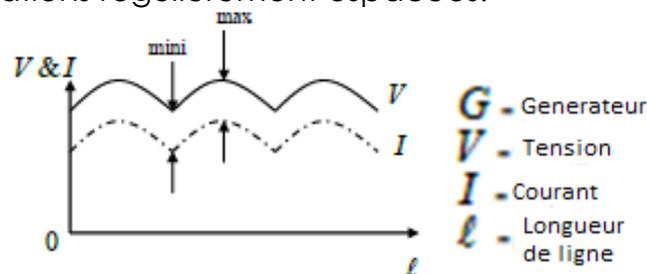
Il n'exprime pas les qualités de l'antenne proprement dite mais le fait que celle-ci peut être raccordée à un émetteur sans risque pour ce dernier ( $\Leftrightarrow$  un indicateur important à prendre en considération).

## Ondes stationnaires

Lorsqu'un signal sinusoïdal est appliqué à l'extrémité d'une ligne de transmission **d'impédance caractéristique  $Z_c$**  (connue) d'une longueur  $l$  de quelques mètres et que l'on ferme l'extrémité de cette ligne par une résistance  **$R$  (réelle)** différente de l'impédance  **$Z_c$  ( $R \neq Z_c$ )** il s'établit un régime dit « d'ondes stationnaires ».



Dans ce régime d'ondes stationnaires ou  $R(\text{réelle}) \neq Z_c$ , la tension et le courant sont en phase et leurs amplitudes relatives ne sont plus constantes et présentent des variations régulièrement espacées.



Compte tenu des informations que nous avons sur la propagation d'un signal sinusoïdal dans une ligne de transmission nous pouvons définir le « rapport d'onde stationnaire ».

La notation utilisée pour définir ce rapport est  **$S$** .

L'existence de ce régime d'onde stationnaire est liée au phénomène d'interférence se produisant entre l'onde incidente et la fraction d'énergie réfléchie sur l'impédance de charge qui n'est pas adaptée.

$$S = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

**$S$**  est un nombre réel égal ou supérieur à 1

Le R.O.S se définit en fonction du coefficient de réflexion  $\rho$  de la manière suivante:

$$\frac{\text{Tension maximale}}{\text{Tension minimale}} \text{ OU } \frac{\text{courant maximal}}{\text{courant minimal}} \text{ OU } \frac{\text{Amplitude de l'onde réfléchie}}{\text{Amplitude de l'onde incidente}}$$

$$\rho = \frac{Z_0 - Z_c}{Z_0 + Z_c}$$

$\rho$  : Est généralement un nombre complexe, de module inférieur ou égal à 1

**Le R.O.S total des éléments composant un système radio est équivalent à la somme des Coefficient de réflexion des R.O.S de chacun des éléments qui la compose**

### Exemple :

Si le R.O.S de notre ligne de transmission est de 1.22 et que le R.O.S de l'antenne que nous lui associons est de 1.4 nous pouvons alors définir les R.O.S totaux comme étant comprise entre une valeur maximale et une valeur minimale qui dépend de la phase des coefficients de réflexion de chacun des éléments.

- **R.O.S minimal** : Les coefficients de réflexion des deux éléments sont en opposition de phase.
- **R.O.S maximal** : Les coefficients de réflexion des deux éléments sont en phase.

Le coefficient de réflexion d'un R.O.S de 1.22 est  $\rho_1 = 0,099$

Le coefficient de réflexion d'un R.O.S de 1.4 est  $\rho_2 = 0,166$

Donc,

$$\rho_{\text{Max}} = 0,166 + 0,099 = 0,265 \text{ (addition ou soustraction des modules)}$$

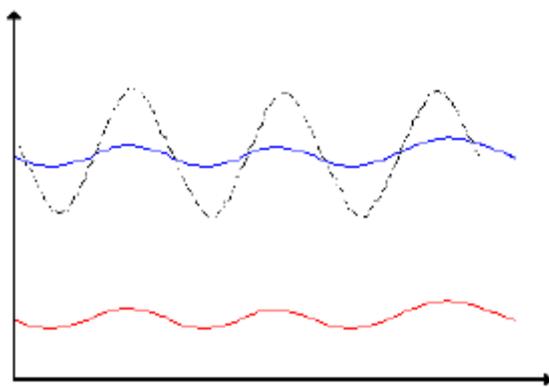
$$\rho_{\text{Min}} = 0,166 - 0,099 = 0,067 \text{ (partie réelle toujours +)}$$

$$S_{\text{Max}} = 1.7$$

$$S_{\text{Min}} = 1.14$$

## Représentation des ondes stationnaires

U/I



Ondes incidentes

Ondes réfléchies

Ondes stationnaires

## Valeur de $\rho$ en fonction du R.O.S

Dans le tableau ci-dessous, on donne la variation de coefficient de réflexion en fonction du paramètre R.O.S.

R.O.S	$\rho$
1.00	0.0000
1.07	0.0316
1.11	0.0501
1.15	0.0708
1.22	0.1000
1.25	0.1122
1.33	0.1413
1.38	0.1585
1.43	0.1778
1.50	0.1995
1.58	0.2239
1.78	0.2818
1.92	0.3162
2.10	0.3548

Tableau 5 : Rapport entre R.O.S et coefficient de réflexion

## Conséquences d'un R.O.S trop important

Un rapport d'ondes stationnaires trop important à plusieurs inconvénients :

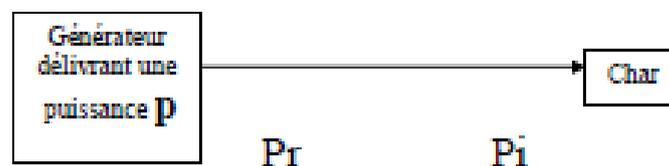
- Surtension au niveau de l'émetteur avec risque de destruction de l'amplificateur de puissance, une destruction possible de l'étage de sortie du générateur.
- Un mauvais rendement de l'alimentation de l'antenne, l'émetteur ne pouvant débiter toute sa puissance. Les BTS récentes possèdent en

outre pour la plupart un dispositif qui limite automatiquement la puissance d'émission en cas de ROS élevé ainsi un émetteur de 100 watts peut être limité à quelques watts.

- L'opérateur est tenté de considérer comme un échec un chiffre élevé pour le R.O.S de son antenne, son but est d'obtenir une valeur proche de 1 (1/1 ou "1 sur 1" comme il est courant de dire  $\Leftrightarrow \rho \neq 0$ ). La mesure du R.O.S est donc pour lui une occasion de déceler un problème à résoudre et lui fournit, par conséquent, matière à réflexion.

### 5.1.1. LES PERTES

Ces pertes sont la conséquence du R.O.S. Comme nous avons pu le constater, un système chargé par une impédance  $Z \neq Z_c$  va générer une puissance qui va être réfléchie vers le générateur. Le return loss est la quantification de cette puissance.



Soit un générateur délivrant une puissance  $P$ , l'impédance de charge étant différente de l'impédance interne du générateur nous nous trouvons alors dans un régime d'onde stationnaire d'où en résulte une puissance incidente et une puissance réfléchie.

Nous pouvons alors définir comme étant les pertes par réflexion :  $P_r$

Les pertes de transmission generis par ce **return loss** seront définies comme étant  $A$ (dB). Mathématiquement nous pouvons écrire :

$$A(dB) = 10 \text{Log} \frac{P_i}{P}$$

$$RL(dB) = 20 \text{Log} \frac{U}{U_r} = 20 \text{Log} \frac{S-1}{S+1}$$

#### Exemples :

Si un R.O.S de 1.22 est présent  
 $RL(dB) = 20 \log 0,22/2,22 = -20dB$   
 $RL(dB) = -20dB = 10 \log 1/100$   
 $A(dB) = 10 \log 99/100 = 0,04dB$

Si notre générateur délivre une puissance de 100 Watt et que le R.O.S mesuré est de 1.22, la puissance réfléchie est de 1W, l'affaiblissement est de 0,04dB et le **Return Loss** est de -20dB

$$A(dB) = 10 \text{Log} \frac{50}{100} = -3dB$$

La longueur mécanique du câble étant de 100m, nous pouvons définir que les pertes de notre ligne sont de 3 dB pour 100m.

RL (dB)	R.O.S	Pr (%)	Pt	P
	1.00	0.00	100.0	0.0000
30	1.07	0.01	99.99	0.0316
26	1.11	0.25	99.75	0.0501
23	1.15	0.50	99.50	0.0708
20	1.22	0.10	99.00	0.1000
19	1.25	0.26	98.74	0.1122
17	1.33	2.00	98.00	0.1413
16	1.38	2.51	97.49	0.1585
15	1.43	3.16	96.84	0.1778
14	1.50	3.98	96.02	0.1995
13	1.58	5.01	94.99	0.2239
12	1.67	6.31	93.69	0.2512
11	1.78	7.94	92.06	0.2818
10	1.92	10.00	90.00	0.3162
09	2.10	12.59	87.41	0.3548

Tableau 6 : Conversion du R.O.S en Return Loss des pourcentages de puissance Transmises et réfléchies et du module du coefficient de réflexion

### 5.1.2. PROBLEME DE R.O.S

Les problèmes constatés sur les sites radios étaient nombreux. Nous avons eu des problèmes d'infiltration d'eau, de coupure de câble, de mauvais serrages, de destruction possible de la sortie du générateur du module RF.

Cette désadaptation d'impédance est la cause de la réflexion d'une partie du signal. Nous perdons une partie de la puissance qui pourrait être transmise à l'antenne. Ci-dessous la liste des **dysfonctionnements rencontrés** :

#### Problèmes dus aux câbles

Les câbles peuvent subir un certain nombre de dégradations ; comme par exemple :

- Discontinuité

- Blindage endommagé
- Moisissure et Corrosion
- Pincement du câble par collier de serrage
- Mauvais rayon de courbure
- Bretelles endommagées

### Problèmes dus aux Connecteurs

- Connecteurs corrodés
- Connecteurs de mauvaise qualité
- Mauvais contact de la Pin centrale
- Mauvais montage du connecteur
- Bretelle mal serrée

### Problèmes dus aux antennes

- - Hors spécifications
- - Dommages causés par les orages ou dans le transport



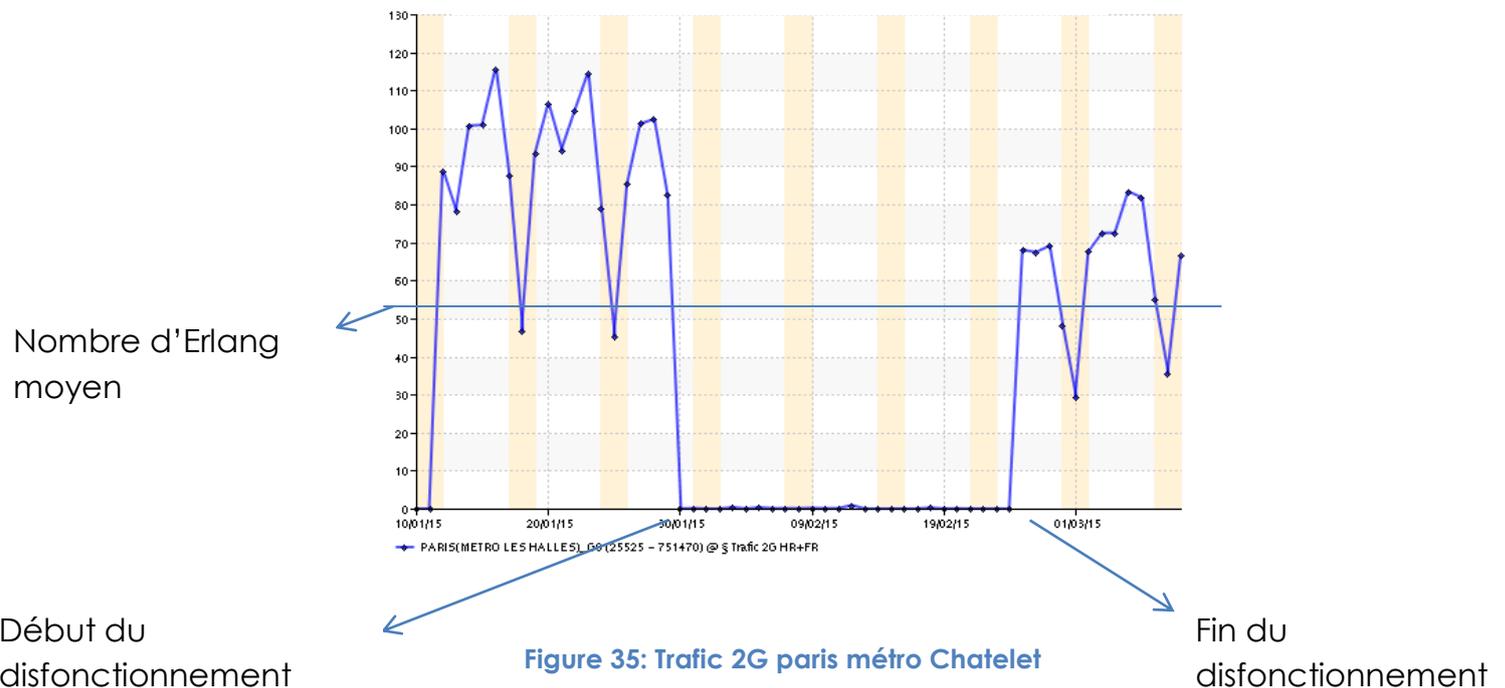
Figure 34 : Photos connecteur endommagé

### Exemple sur un site métro



Le site métro impacté étant celui de Chatelet. Il présentait un ROS à 2,1. Le dysfonctionnement était dû à un **coupleur défaillant sur la chaîne antenne** désadapté en impédance. Selon la figure ci-dessus, on voit que les 2 voisines de notre cellule défaillante sont la **cellule couvrant les Halles et celle couvrant Cité**.

Nous allons étudier dans un premier temps, l'impact sur la cellule défaillante et dans un second temps l'impact sur les 2 cellules voisines de notre site. Ci-dessous les indicateurs de performance de Chatelet.



On remarque que nous avons perdu la totalité du trafic sur la cellule 25525 qui couvre la station de Chatelet L4. Cette perte est due à l'augmentation de notre valeur du Rapport d'Ondes Stationnaire (R.O.S), qui avait pour valeur 2,1. Ce résultat a pour équivalent 9db en return loss. À cette valeur, la puissance transmise de la baie radio est d'environ 87 % de ses capacités.

Il faut savoir qu'à partir de 10 % de perte du signal transmis, la baie se met en sécurité et donc cesse de fonctionner. Le module radio se coupe pour se protéger. Lorsque la valeur du R.O.S augmente, le module radio chauffe. Comme expliqué précédemment, plus la désadaptation d'impédance est grande plus la puissance émise est réfléchi cela entraîne un réchauffement du module radio.

Une fois la panne résolue, il faut effectuer un reset du site pour qu'il retire sa protection. Cette panne a plusieurs impacts :

**Pour les clients :** Premièrement, le taux de coupures augmente sur les cellules voisines de notre cellule. De plus, ils sont dans l'incapacité de passer une communication et d'utiliser la DATA lorsqu'ils se situent dans la zone de couverture de celle-ci.

**Pour l'opérateur :** La panne commençant le 30 Janvier et terminant le 24 Février 2015, a abouti à une perte financière d'environ 10 800 €. Un erlang correspond à une communication téléphonique permanente sur la durée d'observation. L'opérateur SFR a estimé un qu'un erlang équivaut à environ 7,2€.

Ci-dessous l'influence sur les cellules voisines :

Sur la première voisine Les Halles (CI 56242), on peut constater que le trafic DATA a augmenté durant le dysfonctionnement. Suite au rétablissement de celui-ci le 24.02.15, le trafic est revenu à la normale.

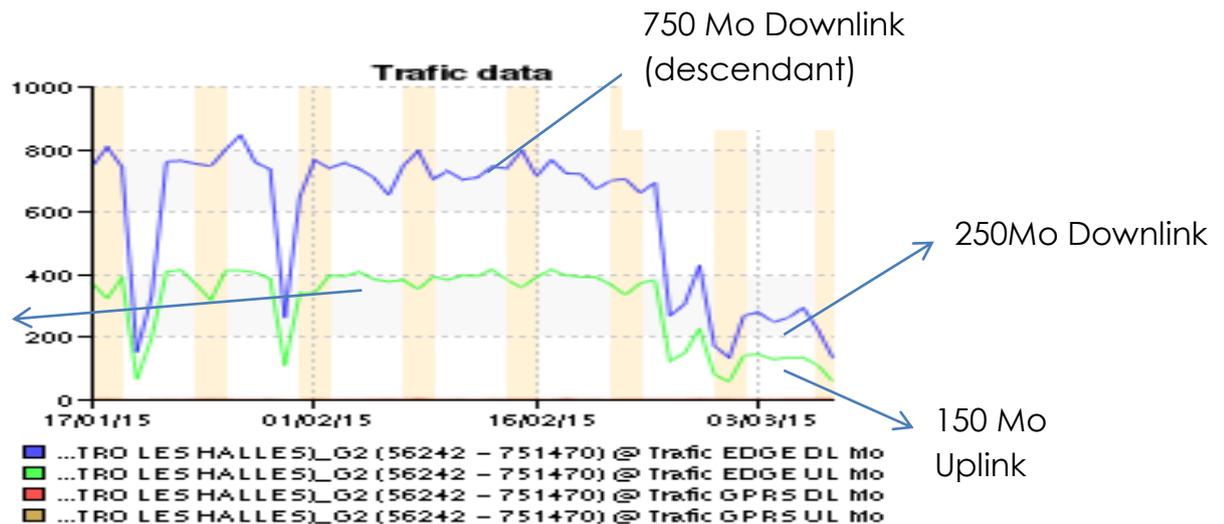


Figure 36: Trafic data de la cellule Les Halles

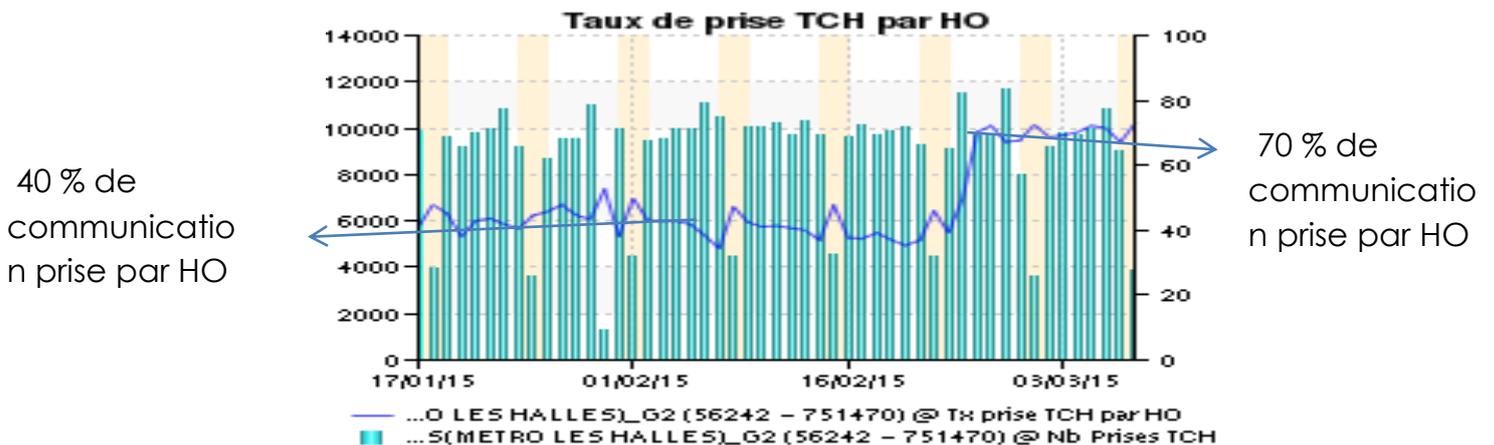


Figure 37 : Taux de communication prise par Handovers

## Taux de prise par HO KPI

Formule :

$$(100 \times \text{CELL\_TCH.HOSEIZS}) / (\text{CELL\_TCH.NORMSEIZS} + \text{CELL\_TCH.HOSEIZS})$$

### ➤ TCH.HOSEIZS

- TCH HO seizure -> Nombre de communications prises par Handovers

### ➤ TCH.NORMSEIZ

- TCH Normal seizure -> Nombre de communications débutée sous couverture de la cellule

On peut remarquer que le nombre de communications prises par handover a presque doublé après le 24.02.15. Cela est dû à l'émission de nouveau de la cellule de Chatelet. La communication des clients en mobilité ne pouvait pas être reprise par celui-ci pendant le dysfonctionnement. Comme on peut le deviner, cela a causé également des coupures de communications qui sont illustrées ci-dessous.

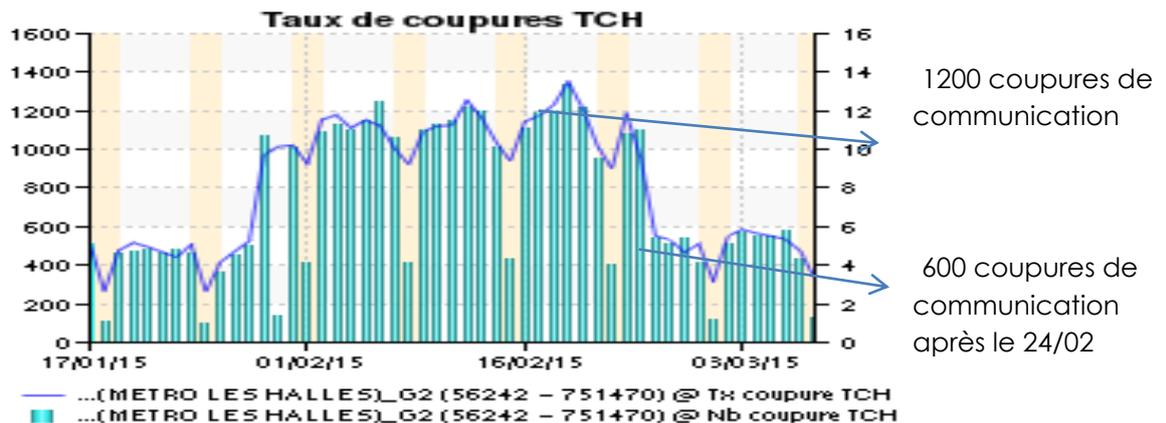


Figure 38 : Taux de coupures de communications des Halles

### ➤ Taux de coupure TCH

Formule :

$$(100 * (\text{CELL\_TCH.RFLOSSES} + \text{CELL\_TCH.HOLOSSES} + \text{CELL\_TCH.MISCDROP})) / (\text{CELL\_TCH.SEIZURES})$$

### ➤ TCH.RFLOSSES

- TCH Radio frequency loss -> Nombre de communications coupées dues à un problème de couverture radio

➤ **TCH.HOLOSSES**

- TCH Handover loss -> Nombre de communications coupées suite à un échec d'handover

➤ **TCH.MISCDROP**

- TCH MISCDROP -> Nombre de coupures système (problème matériel)

Suite à la résolution de la panne, le nombre de coupures de communications a été divisé par 2.

Sur la seconde voisine, une partie du trafic perdu a été récupéré par le site 751443, métro Cité (voir ci-dessous).

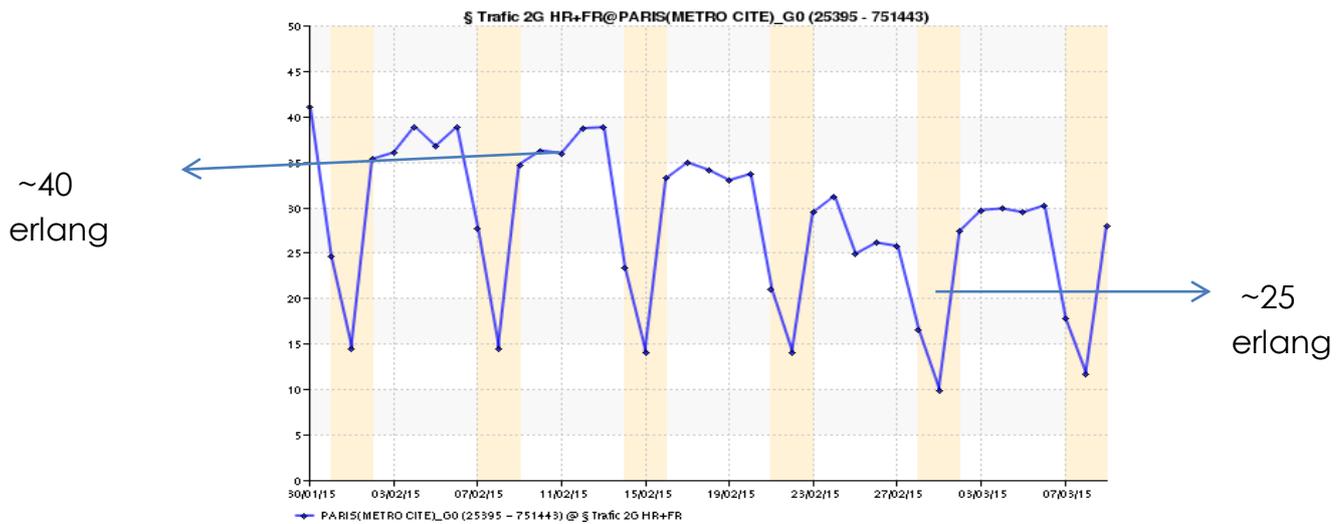


Figure 39 : Trafic 2G HR+FR de Cité

Le site radio du métro Cité a récupéré environ 25% du trafic perdu sur le métro de Chatelet. Cela diminue l'impact sur les clients ainsi que la perte financière de l'opérateur.

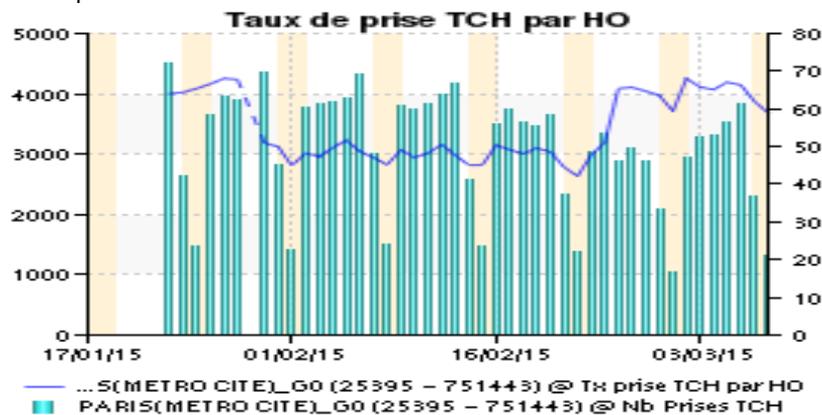


Figure 40 : Taux de communications prise par Handovers

Le nombre de communications récupérées par Handover a pu être rétabli après le 24.02.15 (figue ci-dessus).

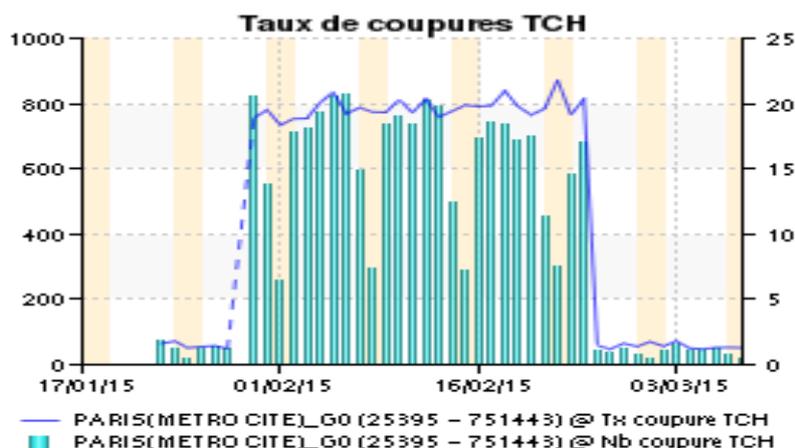


Figure 41 : Taux de coupures site métro cité

Le taux de coupures de communications est passé d'environ 20 % à 2 %. En termes de nombres, nous sommes passés de 800 coupures à moins d'une cinquantaine. Cet indicateur est très important pour l'opérateur car il est très désagréable pour un utilisateur d'être coupé lors de sa communication. Ainsi l'utilisateur ne fera pas part de son mécontentement à l'opérateur.

À travers ces différents graphiques, nous pouvons voir que le rapport d'onde stationnaire a une très grande importance pour l'opérateur et par la suite pour le client. De plus, nous constatons que cela impacte plusieurs cellules radio.

## 5.2. BROUILLAGE

Un brouilleur est un perturbateur électromagnétique qui engendre de l'interférence. Ce phénomène résulte de la superposition d'ondes de même nature et de fréquences égales. En télécommunication, nous avons deux sortes de brouillages. Le brouilleur interne (intermodulation) et le brouillage externe.

Ce dernier provient d'un perturbateur électromagnétique qui émet sur les mêmes bandes de fréquences. Une seule interférence présente un niveau suffisamment important pour désensibiliser la réception du signal utile. Nous parlons alors de « blocage ».

Ce phénomène donne l'impression qu'une station puissante proche en fréquence « étouffe » le petit signal que nous cherchons à émettre. La réception des petits signaux émis par les terminaux est plus difficile car le brouillage engendre une augmentation du plancher de bruit. Cette désensibilisation ne dépend pas de la bande passante.

Le bruit capté par l'antenne prend en compte ce bruit, donc il doit être traité comme une interférence extérieure venant corrompre le signal utile.



Figure 42 : Interférence sur une bande 3G

La figure ci-dessus la localisation de l'interférence sur une bande fréquence 3G. Les causes de brouillages sur les sites sont multiples du fait du nombre important d'émetteurs fonctionnant dans diverses bandes. La concentration de ces émetteurs, la qualité des installations (en particulier les antennes d'émission ou de réception et les équipements de réception) et l'environnement peuvent également causer des brouillages.

L'effet sur la réception, dans un système de radiocommunication, d'une énergie non désirée (due à une émission, à un rayonnement ou à une induction) est manifesté par une dégradation de la qualité de transmission, une déformation ou une perte de l'information que l'on aurait pu extraire.

Les causes de brouillages sont diverses. Sur les sites radioélectriques, le regroupement d'équipements radioélectriques crée des interactions qui sont autant de causes potentielles de dysfonctionnement.

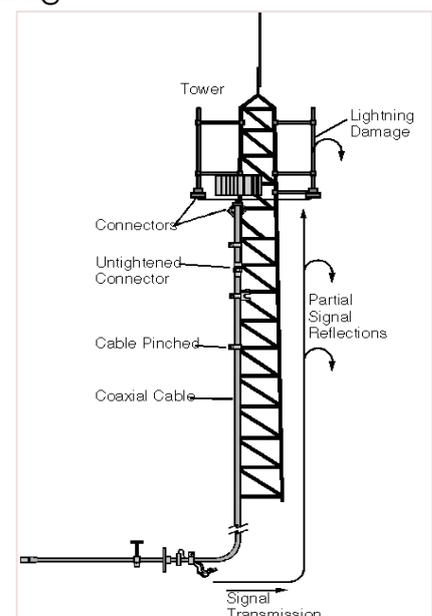


Figure 43 : Schéma liaison câble coaxial

## 5.2.1. PROBLÈME DE BROUILLAGE

Voici un exemple de cas de brouillage, que j'ai pu rencontrer, durant ma mission. Ce brouillage était généré par une interférence externe qui perturbait une cellule se trouvant sur le secteur n°1. La cellule en question était la 3155 sur l'UMTS 2100.

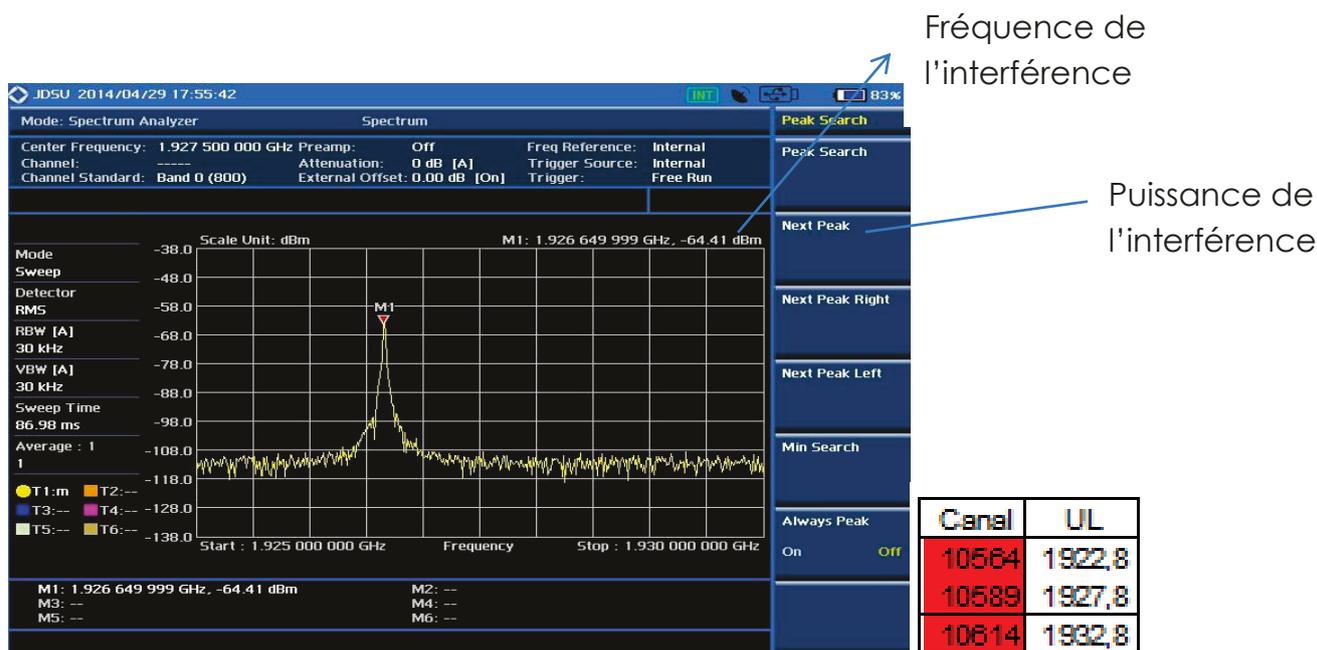
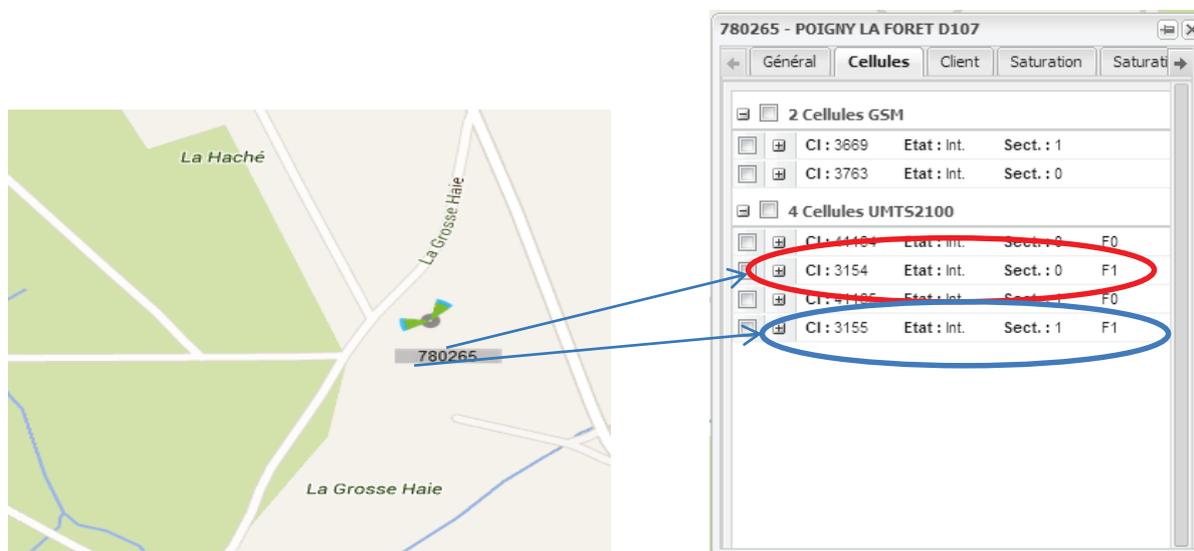


Figure 44: Brouilleur

Le graphique ci-dessus a été pris lors de l'intervention qui avait pour but de trouver le perturbateur de la cellule 3155 sur la bande 3G. Cette cellule de 5Mhz de bande passante a pour fréquence centrale 1927,8Mhz.

Le perturbateur se trouvant à 1926,6 Mhz donc à moins d'1Mhz de la fréquence centrale. Celui-ci perturbe automatiquement la cellule 3G ainsi que le secteur antenne aïre.

Par la suite, nous allons voir quel est l'impact pour le client.

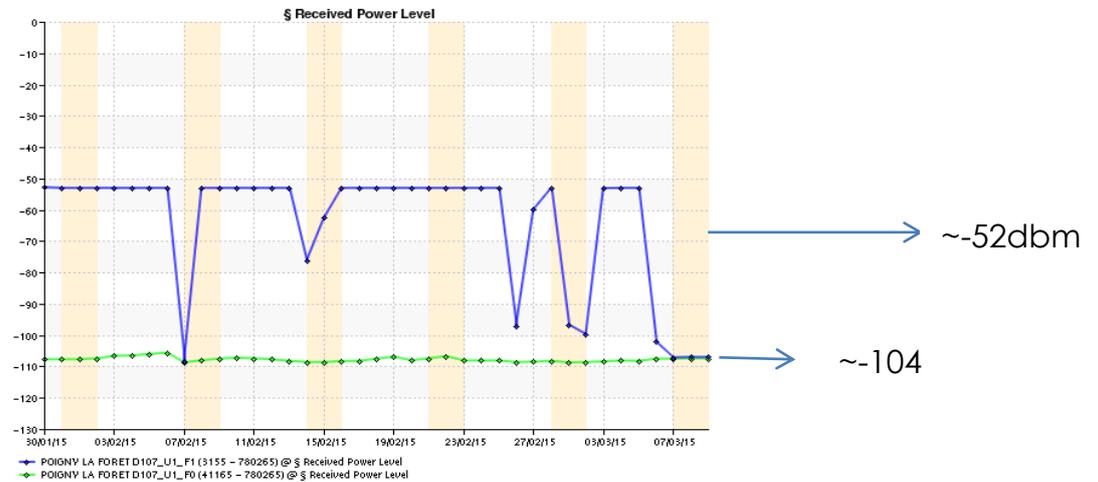


Figure 45 : Received power level

Le seuil de bruit « normal » doit être d'environ -104dbm. Cette interférence a pour conséquence d'élever le seuil de bruit du signal uplink (montant) à -52dbm. Une fiche de déclenchement ANFR (Agence Nationale des Fréquences) a alors été rempli par mes soins afin qu'ils puissent intervenir. Suite à leur intervention, l'interférence a été interrompue. Le seuil de bruit de notre cellule a retrouvé sa valeur nominale.

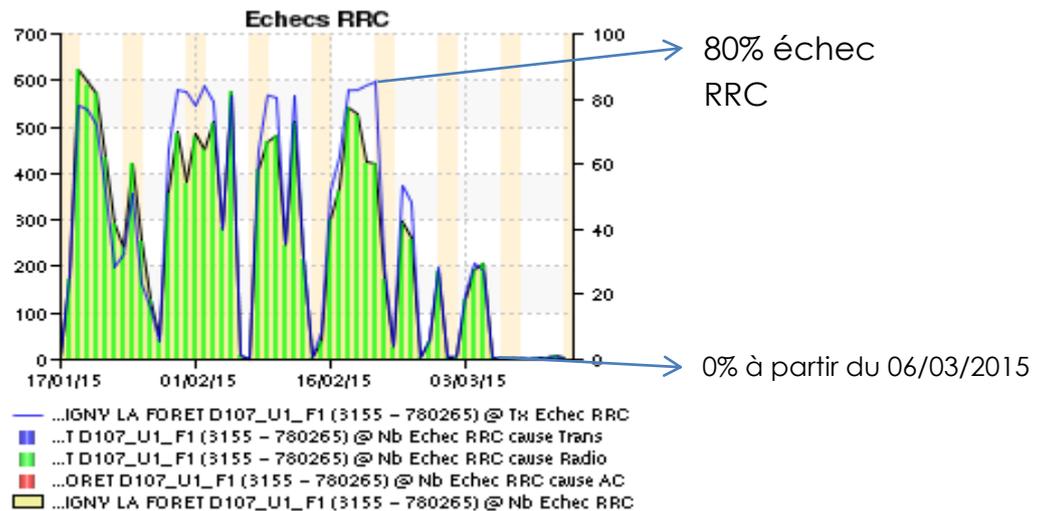
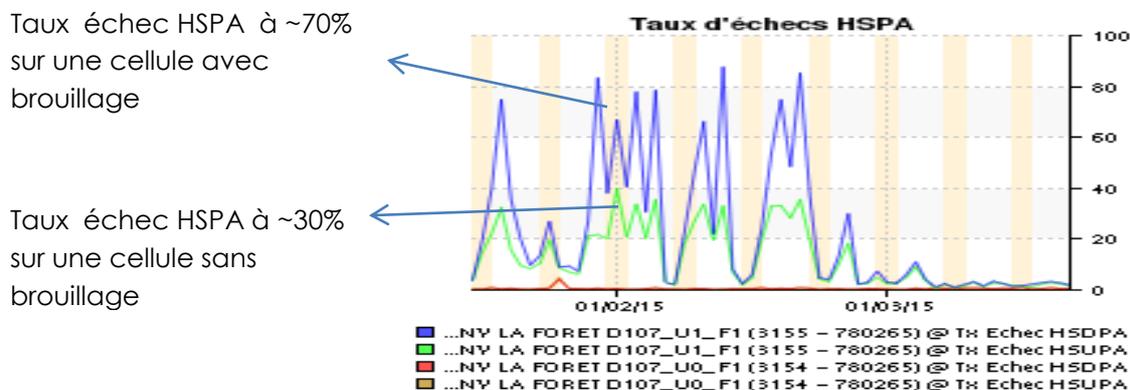


Figure 46 : Echec RRC

➤ **Echec RRC**

RRC\_Connection\_establishment\_failures -> Nombre de lancement de communication échoué. Les causes de les échecs RRC peuvent provoqué suite un problème sur la BTS ou du mobile client, de la mauvaise qualité de la transmission et dans notre cas d'un problème radio.

Du point de vue des indicateurs de performance, le principal effet de ce brouilleur sur le secteur est le nombre élevé d'échecs RRC (Radio Resource Control). Le protocole RRC supporte les échanges de signalisation entre le mobile et le RNC, pour la gestion des ressources radio électrique. Il est utilisé pour la diffusion des informations système et pour le Handover. Le taux d'échec retrouve une valeur quasi nulle suite à la résolution (cf Figure 46).



- **Echec HSPA** HSPA(High Speed Packet Access)  
Les echecs HSPA representent le nombre de mobile n'ayant pu réaliser des appel ni utiliser de la data mobile. Le client a du réseau mais ne peut utiliser les services associés. Cela est très contraignant pour les utilisateurs

Sur le graphe ci-dessus nous avons une cellule non brouillé avec un taux de 30% d'échec HSPA et une autre cellule 3G perturbé par un brouilleur externe augmentant le niveau de bruit et gênant les utilisateurs de cette cellules. Environ 70% des tentatives d'utilisation du trafic voix et data a échoué.

### 5.3. INTERMODULATION

L'intermodulation (IM) apparaît dans les systèmes des transmissions non linéaires. Elle peut être engendrée par les amplificateurs de puissance des émetteurs, par les circuits d'entrée des récepteurs ou encore par les systèmes d'antennes et leurs accessoires y compris les pylônes.

La source la plus importante et la plus nuisible résulte du mélange de plusieurs signaux radiofréquence dans l'étage de puissance des émetteurs.

Deux émetteurs insuffisamment découplés au niveau des antennes ou des feeders émettent leurs fréquences utiles F1 ou F2 mais aussi les produits d'intermodulation et harmonique. Les plus dangereux dans le cas de 2 émetteurs sont les produits de 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> ordre.

C'est la combinaison harmonique qui produit l'IM.

### Exemple :

- IM d'ordre 3  $\Rightarrow 2F1 - F2$  ou  $2F2 - F1$  = harmonique 2 de l'émetteur  $F1$  moins la fondamentale de l'émetteur  $F2$  (Figure ci-dessous)

3<sup>ème</sup> ordre :  $2F1 - F2$  ou  $2F2 - F1$

5<sup>ème</sup> ordre :  $3F1 - 2F2$  ou  $3F2 - 2F1$

7<sup>ème</sup> ordre :  $4F1 - 3F2$  ou  $4F2 - 3F1$

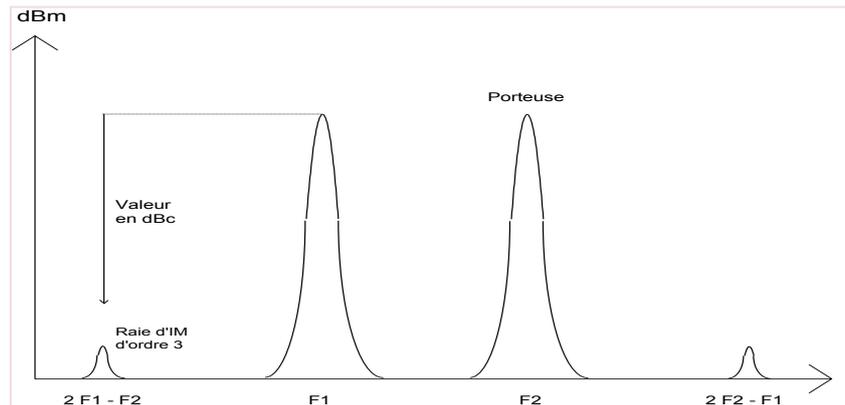


Figure 48 : Harmonique

Lorsque l'IM est générée par les émetteurs, le produit résultant de ce mélange peut entrer dans la bande réception, et en conséquence perturber les récepteurs.

#### **Il existe plusieurs causes d'intermodulations :**

- **Intermodulations émission** : Mélange de fréquences émission d'ordre 3, 5, 7 etc. qui entre dans la bande réception et perturbe les récepteurs.
- **Intermodulations réception** : Mélange des fréquences réceptions au niveau des récepteurs. Ce phénomène est assez courant pour les récepteurs munis d'un amplificateur HF ou d'un étage mélangeur actif. Cet intermode se nomme IP3.
- **Intermodulations** résultant d'un mélange de signaux dans d'autres composants non linéaires. L'association des métaux différents avec la présence de leurs oxydes, lesquels forment des couples récepteurs de parasites : les antennes, les coaxiaux (les feeders), les connecteurs, les brides de fixation d'antennes, etc.

En général les IM d'ordres 3 et 5 représentent 95% des problèmes significatifs rencontrés.

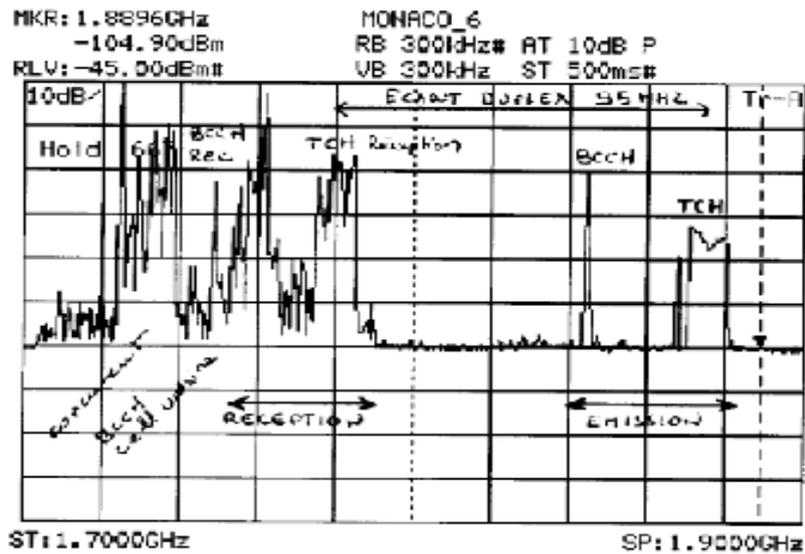


Figure 49 : Visualisation d'un écran analyseur de spectre sans produits d'intermodulation

La cause principale de l'apparition de produits d'intermodulation sur les sites télécoms est due aux changements de fréquences. Le résultat du produit d'IM d'ordre 3, 5, 7... entre dans la bande réception. Le cas le plus probable d'IM se fait avec la fréquence fixe (BCCH).

Lorsqu'on réalise un saut de fréquence, il y a un certain nombre de fréquences utilisées. Un produit d'intermodulation se crée lorsque le nombre de BCCH est assez important.

S'il se produit une IM d'ordre 3, il se peut que celle-ci entre dans la pente réjectrice entre la bande de réception et la bande émission et en conséquence atténuée par celui-ci, mais si l'IM d'ordre 5 entre directement dans la bande de réception, les récepteurs sont alors perturbés.

Sur la figure 42, il n'y a pas d'intermodulations, par contre sur la figure 43, nous pouvons visualiser une nette perturbation de la partie réception.

La différence entre ces 2 graphiques est due à une mauvaise adaptation de la partie aérienne (Mauvaise adaptation d'un connecteur bretelle - feeder, c'est à ce niveau que le mélange se créait). Si le connecteur avait été bien adapté malgré le résultat du produit d'IM, le mélange ne s'effectuerait pas ou peu.

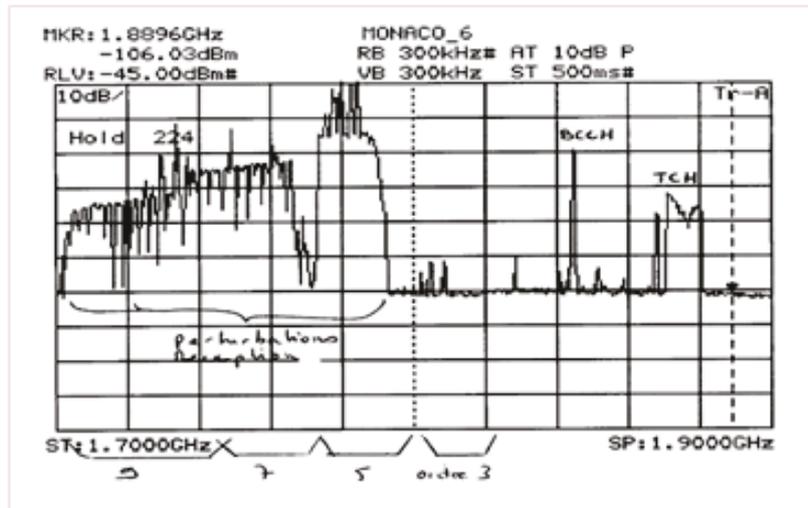


Figure 50: Exemple d'intermodulation

L'amélioration des conditions entre les différents éléments d'un site peut être obtenue en ajoutant des filtres supplémentaires ou en augmentant le découplage entre ces éléments. Les éventuels produits d'intermodulation sont créés au niveau de l'émission.

Au niveau du récepteur, un filtre améliore les caractéristiques radioélectriques en apportant une protection supplémentaire contre :

- ✓ Le brouillage en canal adjacent
- ✓ La désensibilisation,
- ✓ L'intermodulation dans le récepteur,
- ✓ Les réponses parasites.

Le découplage supplémentaire entre antennes sera créé en plaçant les aériens dans un plan vertical ou en les éloignant en distance dans le plan horizontal.

Enfin, dans les calculs de compatibilité sur le site, il y a lieu de prendre en compte tous les émetteurs présents, y compris ceux des autres stations d'émission de l'affectataire dont la réception est perturbée. Ceux-ci pouvant eux-mêmes contribuer pour une partie non négligeable à la dégradation des conditions de réception.

### 5.3.1. PROBLEME D'INTERMODULATION

Dans des communications radio téléphonique et dans le cas de plusieurs antennes réparties sur une même zone, les équipements radio vont recevoir un ensemble d'ondes provenant de différentes antennes. Les interférences sont dus à la réutilisation de fréquences comme vu précédemment.

Des signaux radio peuvent s'interférer et mélanger deux communications, par conséquent, le signal résultant est incompréhensible. Cette interférence peut être provoquée par des émetteurs externes comme internes.

Voici un exemple sur une baie 3G 900MHz. L'interférence provenait d'un canal adjacent. Le dysfonctionnement d'un combiné Dual-Band (appelé duplexeur) avait pour conséquence de perturber la fréquence 900. En coupant l'émission du signal 800MHz la baie 3G 900MHz n'était plus perturbée. Le point commun étant le duplexeur, en effet les deux bandes étant couplées un dysfonctionnement d'un signal peut créer de l'intermodulation.

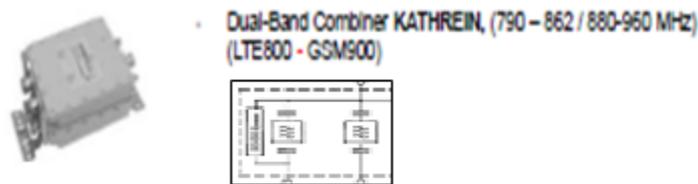


Figure 51 :Combiner(800Mhz- 900Mhz)

Ci-dessous les conséquences pour nos clients,

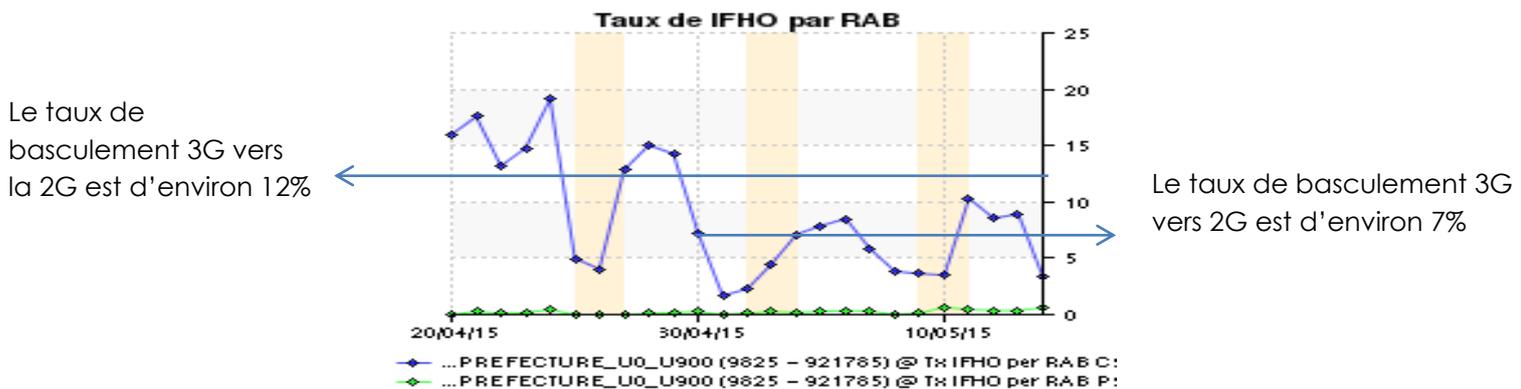


Figure 52 : IFHO

### ➤ IFHO

Cette fonction est pour la couverture. Le but de cette fonction est de sauver la connexion en faisant un handover soit GSM ou UMTS, lorsque la couverture sur la fréquence originale se détériore. Au lieu de couper la connexion, elle devrait continuer de préférence sur une autre fréquence 3G ou 2G.

Cette figure ci-dessus, représente le taux de basculement sur la fréquence 3G lorsque la fréquence 2G est détériorée. A partir du 30/04 on peut voir que la cellule 3G est moins dégradée donc elle bascule de moins en moins vers la 2G.

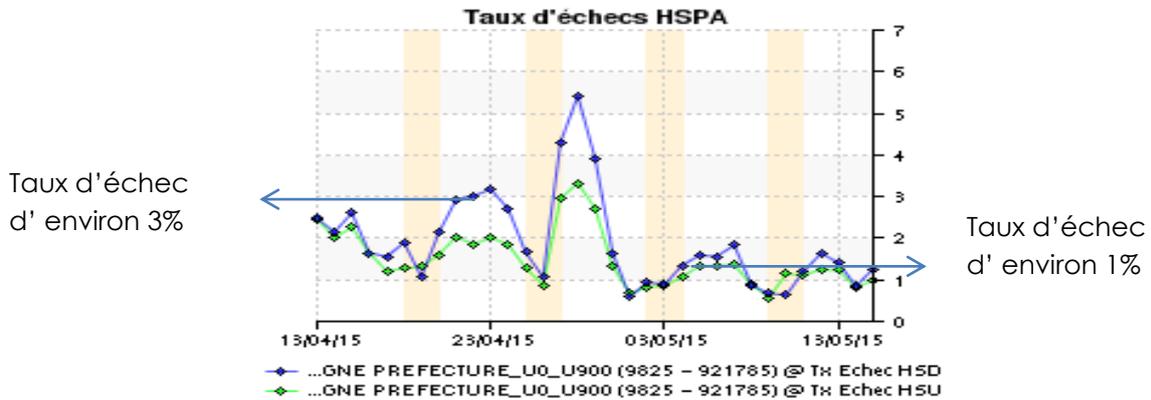


Figure 53 : taux échec HSPA

Avant résolution de l'incident le taux d'échec HSPA était d'environ 3% après résolution il est d'environ 1%. Comme on a pu le voir précédemment cela représente le taux de connexion mobile 3G en voix et data. Le seuil atteint après résolution est d'environ 1% échec HSPA qui est l'objectif de l'opérateur.

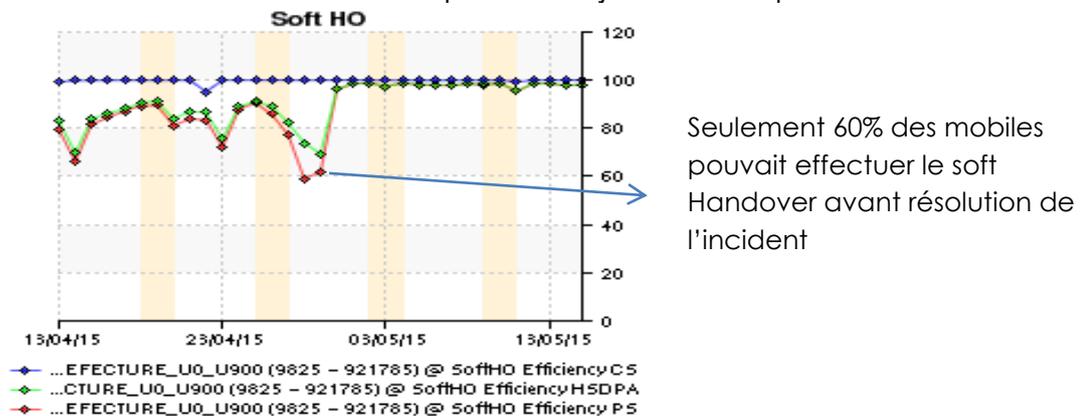


Figure 54 : Soft Handover

➤ **Soft HO**

Cette technique est une forme de transfert mobile assisté. les téléphones cellulaires font en permanence des mesures de puissance d'une liste de sites cellulaires voisins, et de déterminer, si oui, ou non à la demande du mobile, il faut cesser le soft handover avec les secteurs de cellules sur la liste. Si l'un de ces signaux se fane de manière significative, il y aura une probabilité relativement élevée d'avoir la force du signal est approprié à partir de l'une des autres stations de base radio.

Cette figure ci-dessus montre le pourcentage de client n'ayant pu réaliser le soft handover. Avant résolution il était d'environ 70%, cela signifie que le mobile de l'abonné ne pouvait pas basculer sur cette cellule en cas de dégradation. Cet effet peut être plus ou moins transparent pour l'utilisateur si la zone est couverte par plusieurs antennes.

Pour éviter ces types de problèmes, l'opérateur doit bien choisir son motif de réutilisation de fréquences.

Pour diminuer son effet, la norme met aussi à sa disposition d'autres techniques, mais en dépit de celles-ci les problèmes d'interférence persistent encore dans les réseaux cellulaires et on se voit parfois obligé, dans le cas de mauvaise configuration, de procéder à un changement de fréquence sur des cellules particulières à condition, de ne pas affecter d'autres cellules et d'entraîner de nouveau de l'interférence.

## 6. SOLUTIONS PROPOSEES

### 6.1 RAPPEL DU CONTEXTE

Le groupe Vivendi a décidé de mettre en vente la société SFR, celle-ci se préparant à être totalement autonome a été finalement rachetée par le groupe Altice. Elle a décidé de réduire les coûts de certains services et d'internaliser certaines prestations dont la maintenance en île de France.

Le projet de maintenance (PROMA) a été mis en visibilité par la direction car il fallut apprendre rapidement à maîtriser son réseau de bout en bout. Ma participation à ce projet a été sur la partie radio mobile.

Il y a plus de 3 500 sites radios. La totalité doit être rénovée afin d'intégrer la 4G. Leurs architectures se complexifient et cela entraîne naturellement de nouvelles pannes jamais vues auparavant.

### 6.2 METHODOLOGIES ET MOYEN MATERIELS PROPOSE

#### 6.2.1 PARAMÉTRAGE

Dans le cadre de ce projet, un des objectifs de mon travail consistait à réfléchir sur les solutions permettant d'identifier efficacement les sites radio ayant des dysfonctionnements sur la chaîne antenne aïre. Ma première contrainte a été de répertorier les sites en questions. Pour cela, j'ai dû travailler sur tous les tickets incidents, créés par la supervision. Pour cibler ma recherche, j'ai dû trouver un moyen technique me permettant de savoir si le dysfonctionnement de la qualité était dû à un **mauvais paramètre** ou un **mauvais réglage**. Dans le cadre des investigations sur le sujet, j'ai pu identifier le fait que, au niveau de la baie radio, il était possible de mesurer le R.O.S ; la baie radio contient des modules et des composants pouvant mesurer et fournir cet indicateur.

Dans la suite, on va détailler en quoi consiste cette mesure et à travers plusieurs problématiques, montrer son importance.

Ci-dessous le synoptique du module radio avec le composant pouvant réaliser cette mesure.

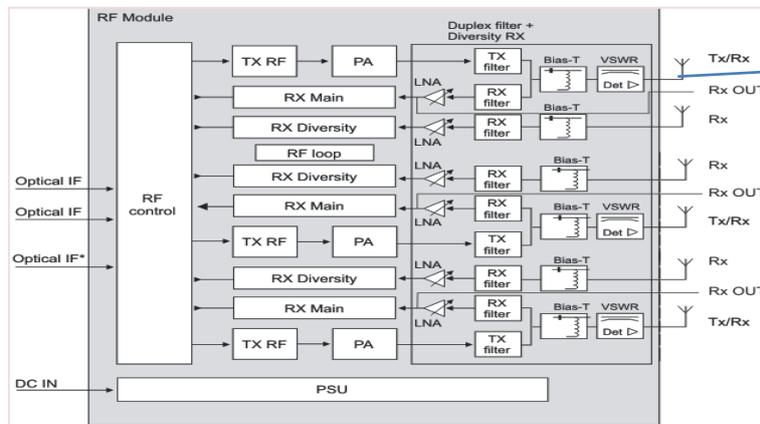


Figure 55 : Synoptique d'un Module Radio Fréquence

La première solution proposée auprès de l'ingénierie est la **modification de ce paramètre permettant le calcul du ROS**. Cela évite au mainteneur de se déplacer sur site. En cas de dysfonctionnement, la baie radio génère une alarme et alerte la supervision.

Ci-dessous la proposition faite à l'ingénierie :

Siounandan William

**QOS RADIO**

CONFIDENTIEL

Description du projet

► Objectif: Amélioration QOS radio

Afin d'améliorer la qualité de notre chaîne antenne aïre . les paramètres VSWR de nos équipements radio seront modifié . Nous évitons un coup financier cette modification sera mise en place lors du déploiement 4G.

Synthèse de l'avancement

► Test NOKIA : les modifications des paramètres VSWR sur Flexi 2G,3G sont réalisables par les Maître d'œuvres lors du déploiement 4G. Les seuils d'alarmes mineurs seront a 1.5 soit 14db au lieu de 1.3.

► Test Alcatel : pré-requis réalisé

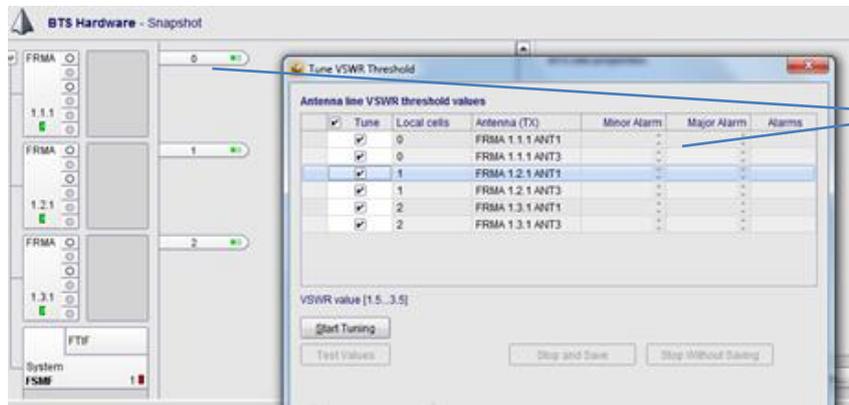
Points durs et actions associées

► Points durs : MO'S modifications VSWR NOKIA et ALCATEL .

Principaux jalons

	planifié	révisé
Prevoisif (MSP)	01/05/2015	31/12/2015
MOS NOKIA, Alcatel	30/01/2015	10/02/2015
Go 2E	01/02/2015	10/02/2015
Go projet	01/05/2015	01/05/2015
Bilan projet	31/12/2015	31/12/2015

Figure 56 : Présentation ingénierie



Les seuils d'alarmes VSWR( ros) sont modifiable sur chaque équipement

Figure 57 : Modification valeurs VSWR

Les **seuils d'alarmes** permettant de déceler ces problèmes de qualités **doivent passer de 1.9 à 1.5**. Comme vu précédemment, la perte du signal transmis est de 10 % lorsque le ROS atteint 1,9. Cela a pour conséquence de chauffer le module radio. Celui-ci se bloque pour éviter de se dégrader.

En modifiant cette valeur à 1,5 l'alarme se déclenche plus vite à environ 3 % de perte de son signal. Cela permettra à la maintenance d'intervenir avant une perte totale du trafic. Malheureusement ces paramètres de mesure sont encore actuellement erronés.

Cette remise à niveau engendre un très grand nombre d'actions réalisées par la maintenance sur le terrain. Après quelque temps, nous sommes tombés sur des cas plus complexes que d'autres nous obligeant à gagner en efficacité et réactivité. Pour répondre à cela, nous avons acheté des appareils de mesure.

Durant les premiers mois, nous avons constaté qu'environ 90 % des pannes sont dues à des problèmes de ROS tels que des connecteurs mal serrés, eau dans les feeders, bretelles coupées etc. Le pourcentage restant étant les brouilleurs et des problèmes d'intermodulation.

### 6.2.2 L'analyseur **SWOT** (**S**trengths - **W**eaknesses - **O**pportunities - **T**hreats)

La complexité des pannes et le délai de résolution étaient souvent remis en question d'où la nécessité d'acheter des appareils de mesure.

Pour cela, j'ai dû effectuer une étude de marché. J'ai réalisé un SWOT, me permettant de déterminer les options stratégiques envisageables pour l'achat d'appareil de mesure.

**L'analyse SWOT** (Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats) ou AFOM (Atouts - Faiblesses - Opportunités - Menaces) est un outil d'analyse stratégique. Il combine l'étude des forces et des faiblesses d'une

organisation, d'un territoire, d'un secteur, etc. avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. Il m'a été imposé certaines spécifications sur l'achat de l'appareil de mesure par le responsable de service.

STRENGTHS / FORCES	WEAKNESSES / FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacité d'innovation</li> <li>✓ Leadership : croissance, part de marché</li> <li>✓ Qualité, taux de satisfaction sur produit</li> <li>✓ Compétitivité : commerciale, technologie ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Moindre capacité financière</li> <li>✓ Faible image de marque, notoriété</li> <li>✓ Portefeuille produits mal équilibré</li> <li>✓ Faible compétitivité commerciale</li> </ul>
OPPORTUNITIES / OPPORTUNITES	THREATS / MENACES
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marché ou segments en croissance</li> <li>✓ Marchés ou segments à potentiel</li> <li>✓ Nouvelle technologie</li> <li>✓ Réglementation favorable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Concurrence directe et élargie</li> <li>✓ Nouveaux entrants</li> <li>✓ Législation peu favorable</li> <li>✓ Marchés en maturité ou en baisse</li> </ul>

**Tableau 7 : Analyse SWOT**

Tout d'abord, au niveau de la Force, l'outil en question devait être précis et avoir une grande autonomie. Ensuite, au niveau de la Faiblesse, le responsable tolérait que l'outil nécessite des formations pour son utilisation. Au niveau de l'opportunité, l'outil devra évoluer sur toutes les technologies. Et enfin, au niveau du danger, l'outil pourrait être nouveau sur le marché (Voir Annexes).

Cette étude a été très formatrice, j'ai dû contacter différents fournisseurs, leur expliquer mes attentes, m'organiser pour les recevoir, rédiger des comptes rendus et réaliser des présentations sur les équipements audités. À la suite de cet exercice, nous avons pu acheter les appareils de mesure et commencer à élaborer des modes opératoires simplifiés afin que tous les techniciens puissent utiliser les appareils très facilement.

### 6.2.3 ANALYSE DU RESEAU

C'est l'appareil qui nous permet de mesurer les paramètres d'un système d'éléments en hautes fréquences. Les paramètres utilisés pour mesurer la ligne coaxiale sont la mesure de réflexion, cette mesure a été expliquée précédemment dans la section Rapport d'onde stationnaire. La mesure

détection de défaut permet de trouver où se situe le défaut sur la ligne coaxiale.

Le dernier paramètre qui sont utilisés pour détecter les défauts en fréquence est la mesure d'interférence, celle-ci a été expliqué précédemment dans les sections brouillage et Intermodulation.

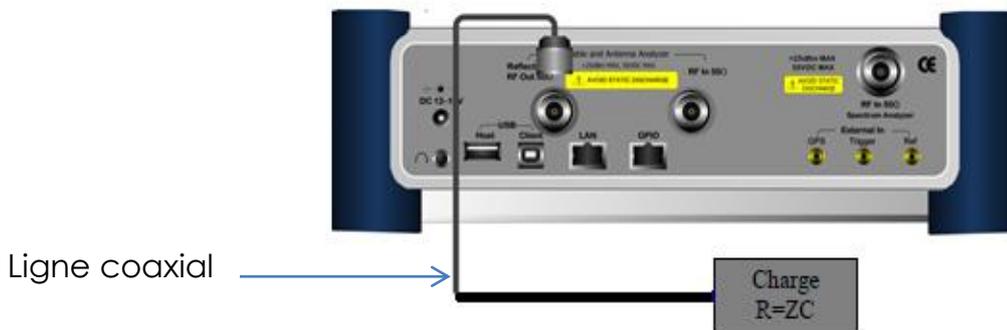


Figure 58 : Analyseur de réseau R.O.S

### La mesure d'une ligne coaxiale

Les Caractéristiques que nous pouvons mesurer sont le R.O.S, les pertes, la longueur et les défauts éventuels. Cette mesure doit se faire depuis le module radio vers l'antenne. La charge ci-dessus simule l'impédance d'une antenne radio.

Les mesures de R.O.S (VSWR ou Return Loss) et la détection de défaut.

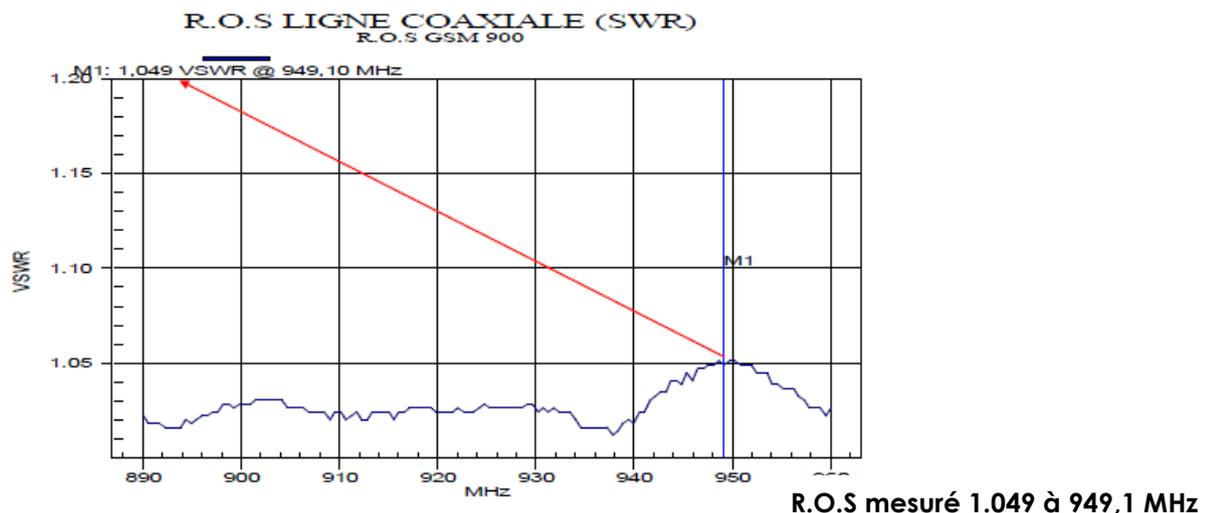


Figure 59 : Relevé du R.O.S en VSWR

Lors d'une mesure, les paramètres sur lesquelles il faut être vigilant sont : la valeur maximale à laquelle se trouve le R.O.S et sa fréquence. Le seuil limite toléré par les opérateurs est 1.5 en VSWR et 14db en Return Loss.

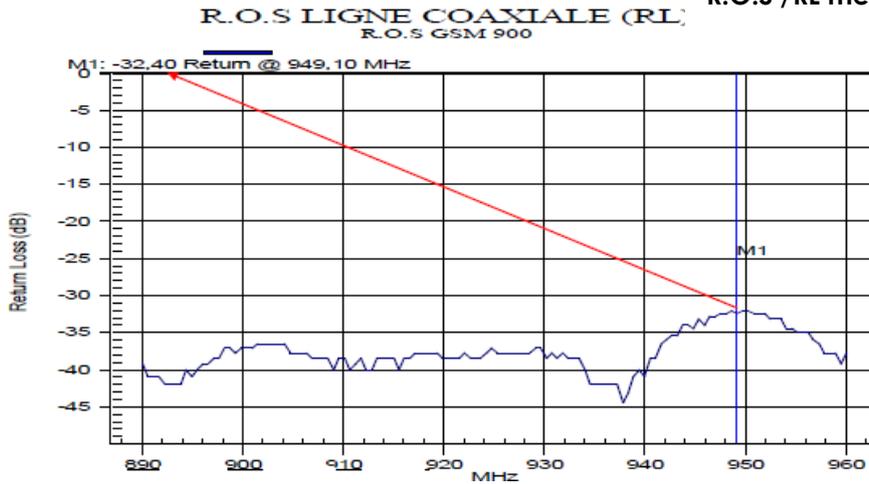


Figure 60 : Relevé du R.O.S en Return Loss

La figure ci-dessus, est exprimée en dB (décibel). Comme nous l'avons vu précédemment, la mesure de ROS peut être exprimée soit en **VSWR** (Voltage Stand Wave Ratio) ou en **Return Loss**. En Return Loss, nous mesurons les pertes de la ligne coaxiale.

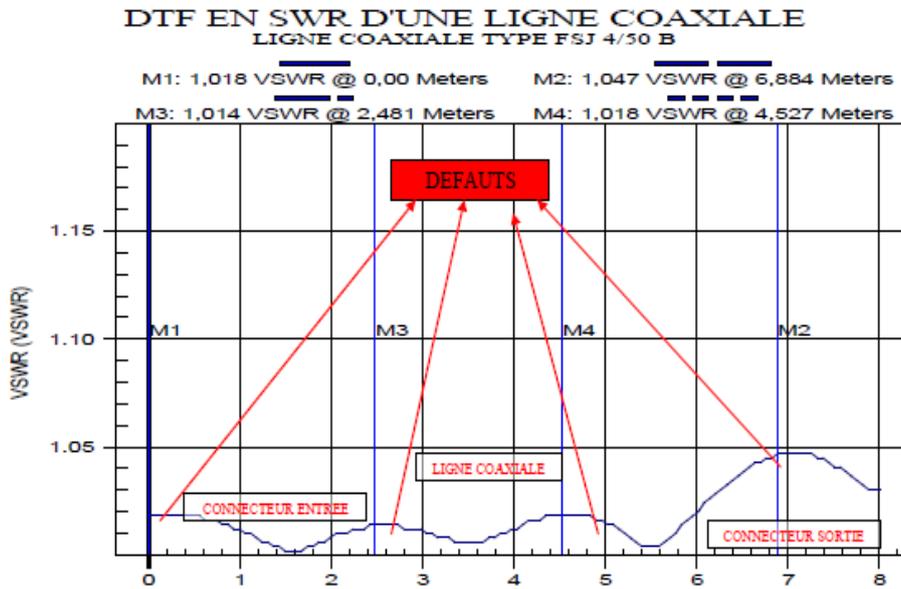


Figure 61: Relevé de Distance To Fault en VSWR

La figure ci-dessus, nous montre à quelle distance nous rencontrons des défauts ou des contraintes sur la ligne coaxiale. Cette mesure est très utile pour le service de maintenance car c'est à partir de celle-ci que nous pouvons établir notre marge de manœuvre.

Par exemple, si le défaut est proche d'une antenne, l'opérateur peut être amené à faire appel à un nacelliste ou à un autre prestataire.

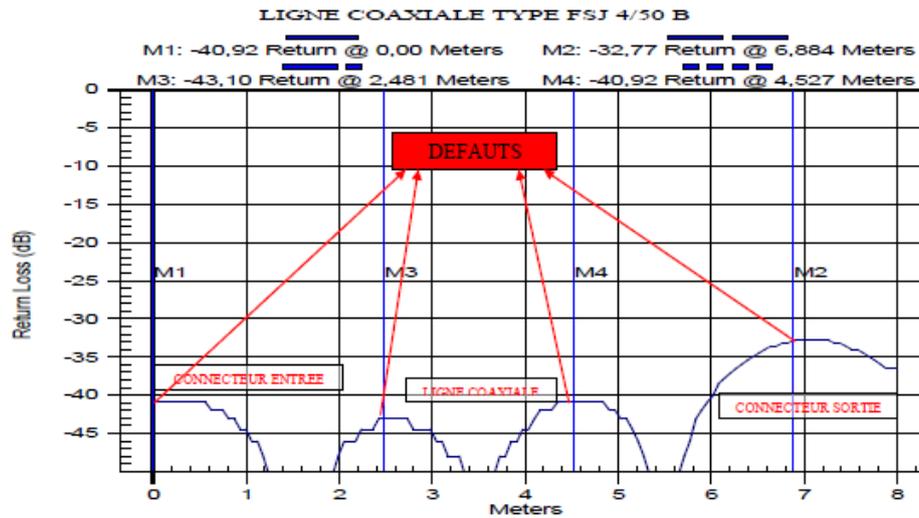


Figure 62 : Relevé de Distance To Fault en Return Loss

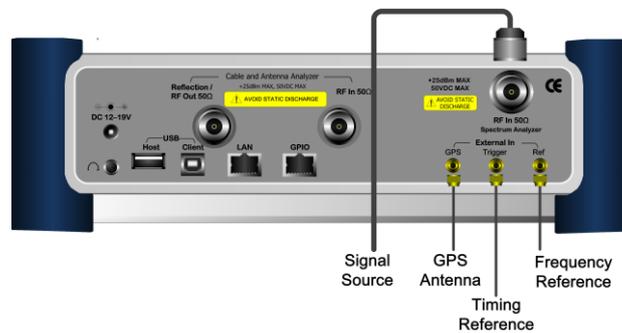


Figure 63 : Analyseur de réseau spectrale

### La mesure d' interférence

La principale caractéristique à mesurer est la puissance du signal générant une interférence ainsi que sa fréquence. L'appareil de mesure nous permet de localiser a quelle fréquence émet l'interférence.

## Spectrum Analyzer

20

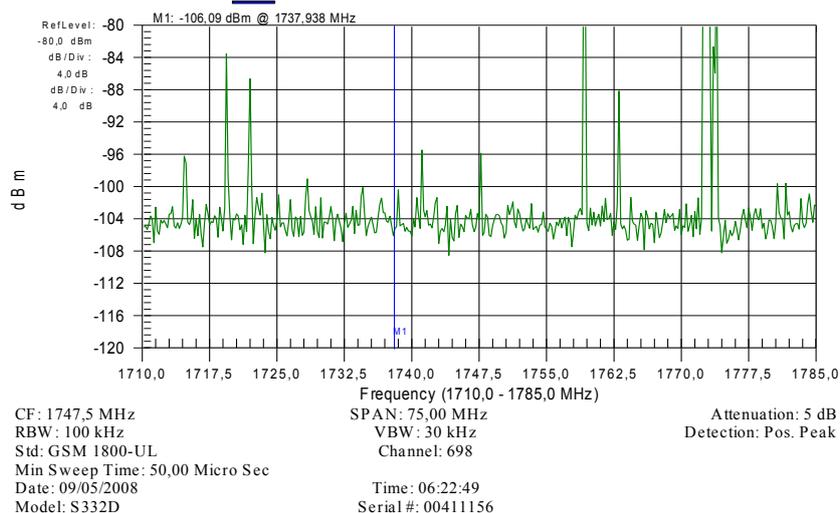


Figure 64 : Analyse spectrale sans impact

La figure ci-dessus est une capture d'écran d'une analyse spectrale sur la bande 1800 GSM. Pour cette analyse, j'ai pris la bande Uplink car plus de 95% des interférences sont générées dans le sens montant du mobile vers l'antenne.

## Spectrum Analyzer

30

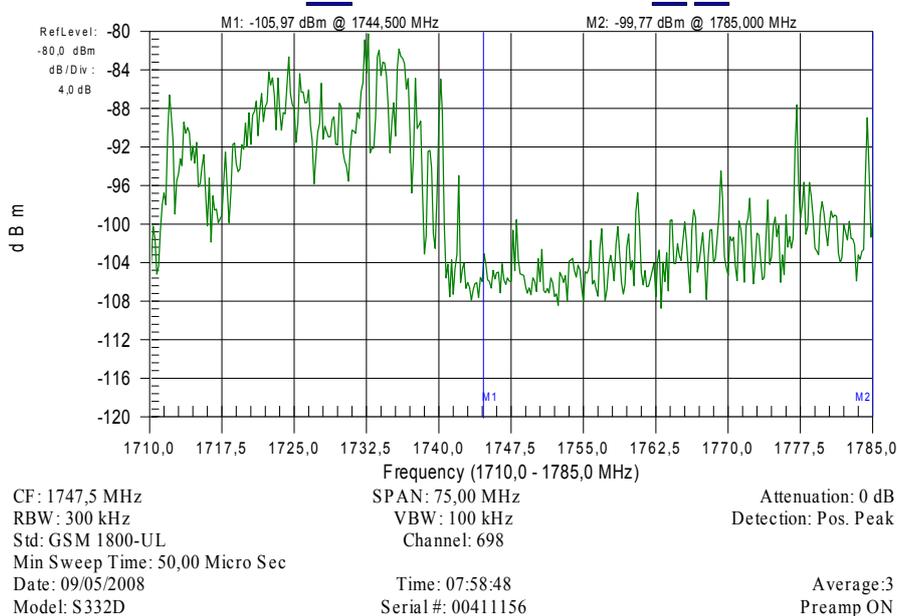


Figure 65 : Analyse spectrale avec impact

Sur la figure ci-dessus présente une interférence, et comme nous l'avons vu précédemment, cela perturbe le réseau des clients utilisant cette cellule.

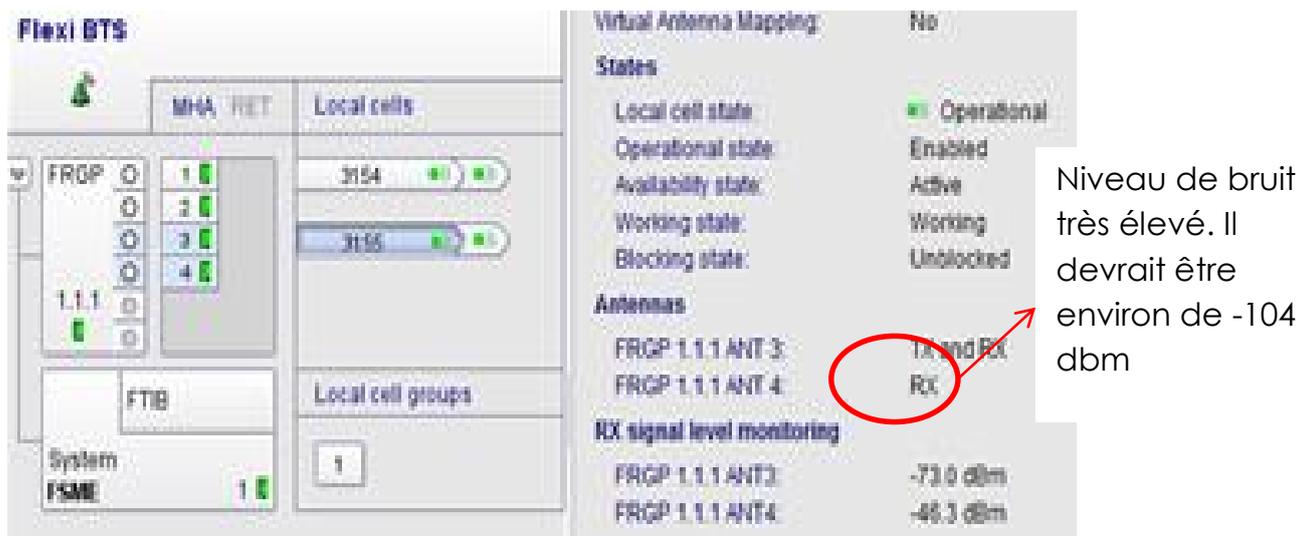


Figure 66 : Brouilleur Uplink en 3G

Sur cette figure, on remarque que la présence d'un brouilleur engendre des niveaux de RX signal Level monitoring très élevés.

Cela prouve l'influence négative que peut avoir un brouilleur sur le réseau.

#### 6.2.4 MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE

Les modes opératoires simplifiés sont utilisés par SFR, pour répondre à des sollicitations techniques venant des techniciens et des supports radio et fixe. Il doit être simple à appliquer et doit être résumé en quelques slides PowerPoint. Il détaille de manière précise la façon dont un intervenant doit opérer sur une intervention curative ou préventive.

Lorsque l'achat des appareils de mesure a été validé, il a fallu rédiger des modes opératoires simplifiés. Ils sont utilisés par les techniciens afin de pouvoir effectuer des mesures telles que :

- **Mesure de R.O.S**
- **Mesure spectrale**
- **Mesure DTF (distance du défaut)**
- **Mesure de perte de câble**

En annexes, vous trouverez un exemple de ces modes opératoires.

### 6.3 ÉVALUATION DE LA MISSION

La mission de base qui m'a été attribuée a beaucoup évolué au fur et à mesure du temps. Tout d'abord, le déploiement de la LTE (4G) a permis de modifier énormément de configurations et d'architecture de sites radio

En effet, les équipements actuels diminuent en taille, et par conséquent, l'utilisation de câble coaxial est moins importante. Suite à ces nouvelles configurations de sites, il y a des avantages tels que la diminution de la ligne coaxiale, moins de pertes de puissance entre le module radio et l'antenne ainsi que la baisse d'interventions et du taux de panne.

Les inconvénients de ces nouvelles configurations sont, dans un premier temps, la difficulté d'intervenir près d'une antenne car beaucoup d'antennes ont besoin d'un accès via une nacelle ,cela est très onéreux pour l'opérateur. Dans un second temps, l'accumulation de nouveaux équipements rend compliqué les résolutions de pannes. Et enfin, pour certains cas, les équipements 2G, 3G et 4G sont couplés entre eux et cela, en cas de panne, peut engendrer un impact important pour les clients.

Les réunions auxquelles j'ai pu participer ont permis au service maintenance d'élaborer des solutions palliatives, en élaborant un catalogue de maintenance.

J'ai pu ainsi représenter ce service auprès de l'ingénierie de conception en apportant mon expertise terrain.

Cette mission m'a permis d'être en contact direct avec les fournisseurs, de concevoir une étude de marché, de former plus de 40 collaborateurs SFR. Toute cette expérience m'a été très bénéfique car j'ai pu travailler dans les mêmes conditions qu'un ingénieur en télécommunications. J'ai pu être à l'origine d'une remise en conformité de beaucoup de sites radio.

La vérification de la chaîne antenne aire est devenue systématique. J'ai véhiculé l'importance de celle-ci dans beaucoup de service. Prouvant que cela a un réel impact sur le client.

Suite à ce projet, il y a encore beaucoup d'efforts à fournir sur la qualité de service, notamment le réseau 4G qui est en cours de déploiement. Ce réseau est une priorité pour Numéricâble-SFR qui souhaite être numéro sur le très haut débit mobile et fixe. Dans cette continuité d'améliorer la couverture du réseau, le projet 3G 900Mhz a vu le jour. Ce projet a pour objet d'améliorer la couverture 3G à l'intérieur des bâtiments. Il m'a été confié récemment la responsabilité de superviser l'allumage sur île de France. Ce projet rentre dans la continuité de mon projet initial.

## 7. SOLUTIONS PALLIATIVES

### 7.1. MISE EN PLACE D'UN CATALOGUE DE MAINTENANCE

J'ai été sollicité par l'ingénierie de conception radio DIAM et le service logistique pour aider à la mise en place d'un catalogue de maintenance. Ce catalogue référence les antennes et les accessoires antennaires destinées aux interventions de la maintenance.

Le catalogue de maintenance permet de répondre à tous types de problèmes rencontrés, ci-dessous quelques exemples (le document est confidentiel).

Trois fournisseurs (Amphenol, Kathrein et Delta OHM) ont été sélectionnés pour couvrir la totalité de nos besoins. Les commandes entre ces 3 fournisseurs devaient être réparties selon la stratégie suivante pour bénéficier des meilleurs prix.

	Premier choix	Deuxième choix
<b>Multiplexeurs</b>	<i>Amphenol</i>	<i>Kathrein</i>
<b>Coupleurs</b>	<i>Kathrein</i>	<i>Delta Ohm</i>
<b>Duplexeur 900 GSM</b>	<i>Kathrein</i>	
<b>Bias Tee/DC Stop</b>	<i>Amphenol</i>	<i>Kathrein</i>
<b>RET externKathrein</b>	<i>Kathrein</i>	
<b>Charges</b>	<i>Amphenol</i>	<i>Delta Ohm</i>
<b>Atténuateurs</b>	<i>Amphenol</i>	<i>Delta Ohm</i>
<b>Câbles AISG</b>	<i>Amphenol Kathrein</i>	<i>Amphenol Kathrein</i>
<b>Bretelles SF</b>	<i>Amphenol</i>	<i>Delta Ohm</i>
<b>Connecteurs/Adaptateurs</b>	<i>Delta Ohm</i>	
<b>Antennes macro</b>	<i>Kathrein</i>	<i>Amphenol</i>
<b>Antennes micro</b>	<i>Kathrein</i>	

Tableau 8 : Fournisseurs matériels

L'idée générale était d'avoir une solution générique permettant le rétablissement palliatif d'un site radio et se mettre d'accord avec les fournisseurs d'un délai de livraison de 24h à 5 jours maximum sur la base d'un système de commande ouverte.

Les sites radios sont maintenant très complexes, SFR utilise plusieurs bandes fréquence sur les bandes 2 G, 3G et 4G. Ce qui peut donner une architecture de ce type :

Figure 67 : architecture antenne

## 7.2. FORMATION TECHNICIENS

Pour le bon déroulement de mon étude et toujours dans l'optique d'améliorer efficacement et rapidement la qualité des sites mobiles, il m'a été proposé de former 50 techniciens et d'autres équipes interne SFR. Ce fut là encore un nouvel exercice car je n'ai aucune expérience en tant que formateur.

Afin d'exploiter au mieux les équipements de mesure. Il m'a fallu m'adapter aux besoins des techniciens. La formation comporte une partie théorique ainsi que des travaux pratiques, adaptés aux technologies et aux équipements utilisés. Les méthodologies de mesure sont également traitées. Elles permettent d'identifier et de corriger rapidement les caractéristiques des systèmes mesurés.

Quel que soit le niveau de connaissance des stagiaires, la formation reprend les bases théoriques importantes des réseaux de télécommunication et de radiocommunications et s'adapte aux besoins pratiques quotidiens.

Elles sont particulièrement adaptées pour les techniciens télécommunications, Les équipes de recette radio et les ingénieurs travaillant sur la performance et la qualité radio.

Les points critiques et les techniques spécifiques nécessaires aux différents métiers sont abordés. Tous cela en fonction des besoins des stagiaires. Voici un exemple des travaux pratiques réalisés :

- Savoir diagnostiquer un défaut à l'aide de l'analyseur de réseaux (Techniques de balayage en fréquence : mesure de TOS, détection de défauts sur les câbles, pertes des câbles coaxiaux)
- Connaître les différents types de matériels et typologies sur les sites mobiles
- Connaître les différentes bandes de fréquence en téléphonie mobile

## 8. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 8.1. ASPECTS TECHNIQUES

En plus de mettre en pratique la théorie, la partie technique m'a permis de compléter mes connaissances théoriques. J'ai aussi pu découvrir le métier d'ingénieur, qui joue un rôle clé pour un opérateur de télécommunications. Ce métier permet d'entrevoir les fonctionnalités et services qui ne seront installés que dans quelques mois sur le réseau opérationnel.

J'ajoute que ce stage m'a donné une vision du travail d'ingénieur dans son ensemble. J'ai eu la possibilité de côtoyer des ingénieurs constructeurs lors des tests de validation.

D'un point de vue technique, ce stage de fin d'études au sein de SFR a contribué à élargir mes connaissances en télécoms et plus particulièrement en téléphonie mobile.

Voici la liste des connaissances techniques acquises durant ce stage :

- Test de ma capacité à appréhender une norme de plusieurs centaines de pages et à y effectuer un travail de synthèse
- Acquisition de connaissances précises concernant de multiples points de la norme 3GPP
- GSM/UMTS: familiarisation avec l'ensemble des protocoles des plans utilisateur et de signalisation (messages, mécanismes mis en jeu,...), rôle des équipements et caractéristiques des interfaces existant entre les différents nœuds du réseau UMTS, gestion de la localisation, aspects authentification.
- Travail quotidien effectué sur une plateforme de tests réputée comme site très sensible dont l'accès, extrêmement contrôlé, n'est autorisé qu'à un nombre de personnes restreints. Manipulation sur du matériel de pointe : RNC, BTS, BSC ...
- Possibilité d'effectuer des comparaisons entre des analyseurs réseaux possédant des rôles identiques mais fournis par différents constructeurs. Appréhension de philosophies fournisseurs différentes selon les choix technologiques effectués par ces derniers en les confrontant à des contraintes diverses.

## 8.2. ASPECTS ORGANISATIONNELS

Des responsabilités m'ont été confiées et il a fallu mettre en œuvre rigueur, précision et méthodologie dans le but de parvenir aux résultats attendus en un temps acceptable.

- Réaliser des rapports en respectant les modèles existants dans un souci d'homogénéité des documents déjà existants.
- 
- Rechercher des informations au sein de différentes entités de la plateforme (Support Technique, Support Radio, Maintenance ...).
- 
- Prises de contact avec diverses personnes dans le but d'obtenir les connaissances nécessaires pour la réalisation des tests (terminaux, ressources radio, support constructeur, support maquette...)

## 8.3. ASPECT HUMAINS

Sur le plan humain, ce stage fut également très formateur. Il m'a incité à développer un esprit d'initiative, élément essentiel pour un ingénieur. Il faut en effet faire preuve d'initiative et adopter de bonnes démarches si on veut arriver à un résultat. J'ai pu également constater que le succès d'un travail, quel qu'il soit, repose énormément sur la communication.

Sociabilité et communication sont les piliers d'une bonne intégration dans l'entreprise. Ce fut une expérience très enrichissante sur le plan relationnel car j'ai été amené à être en contact avec beaucoup de personnes afin d'obtenir des informations me permettant de venir à bout dans mon projet.

J'ai acquis une bonne aisance de communication grâce aux profils hiérarchiques et caractères très variés des personnes avec lesquelles j'ai travaillé. S'adapter, défendre les intérêts du service pour lequel je travaillais, et savoir se faire écouter était impératif pour pouvoir mener à bien ma mission.

## 9. CONCLUSION

Pour conclure, je dresserai un bilan tant au point de vue technique qu'humain. Mon projet m'a donc permis de découvrir et d'approfondir mes connaissances concernant l'architecture d'un réseau 3G, 2G. Mais il m'a aussi permis de découvrir l'architecture de réseau 4G.

De plus, avec le recul, je me rends compte de l'évolution qu'il y a eu entre le début du projet et la fin. En effet, sur l'aspect protocolaire et l'importance de certains canaux radiophonique. J'avais au départ un peu de mal à tout comprendre. Mais c'est au fur et à mesure de mes tâches et de mes tests que j'ai pu évoluer techniquement.

La partie pratique tenait une place très importante, ce qui permet d'apprendre plus facilement. J'ai pu découvrir certaines activités liées à l'ingénierie notamment trouver des solutions techniques, réaliser des appels d'offres, des formations et des modes opératoires. Les tests terrain suite aux problèmes rencontrés m'ont également été bénéfiques.

Durant ce projet, j'ai eu l'opportunité d'être parfaitement autonome, me plaçant ainsi dans les conditions réelles de travail d'un Ingénieur et ce fût pour moi l'occasion d'acquérir une expérience professionnelle qui va me permettre d'aborder avec plus de confiance mon futur métier.

Ce projet m'a permis d'acquérir une démarche pragmatique pour traiter les problèmes ; montrer et quantifier, tout en donnant un concept scientifique au projet.

Après chaque résultat, je me suis donc interrogé sur la justesse et la cohérence de celui-ci avec les précédents, j'ai pu organiser mon travail à ma manière. J'ai tenté également d'interférer le moins possible dans les processus de maintenance car il ne fallait pas ralentir les interventions.

J'ai donc organisé mes actions entre les interventions maintenance et j'ai parfois travaillé avec les ingénieurs de validation et de conception. Cela a d'ailleurs été une source d'échanges très positive.

Les gains ne pourront se mesurer que lorsque le nombre d'analyseurs de réseau sera suffisant pour le service de maintenance et lorsque les travaux pour le swap 4G seront terminés.

**La suite à donner à ce projet** est une phase d'action et de pérennisation car ;

- il faut mettre en pratique ces modes opératoires et les inscrire dans la durée. Certaines règles passent avant tout par un apprentissage.
- Il faut sensibiliser les acteurs sur l'importance à identifier et contrôler les paramètres techniques qui peuvent avoir une influence notable sur la qualité attendue de la chaîne de transmission radio.

Les paramètres identifiés et analysés dans le cadre de ce projet (R.O.S, ...etc.) **peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur d'autres KPI**, surtout au niveau de la couche radio. Cet aspect est d'une priorité absolue est à prendre en considération dans les technologies émergentes (4G, LTE). Dans la continuité, à mon sens, un travail intéressant pourrait être entamé et qui consiste à établir la corrélation entre les paramètres cités dans le rapport de ce mémoire et les autres paramètres KPI utilisé comme indicateur de QoS de la chaîne de bout en bout. On donne ici, à titre indicatif, quelque exemple des KPI (pour le réseau 4G et LTE) qu'il pourrait être intéressant d'analyser en corrélation avec les paramètres cités plus haut dans rapport :

- **Accessibilité**
  - **Taux d'établissement du RRC**
  - **Taux d'établissement S1 Signaling**
  - **Taux d'établissement E-RAB**
- **Maintien de service**
  - **Taux de coupure E-RAB**
- **Trafic/Débit**
  - **Débit DL**
  - **Débit UL**
  - **Trafic**
- **Mobilité**
  - **Taux de succès HO intra Fréquence**
  - **Taux de succès HO inter Fréquence**
- **Disponibilité**
  - **Taux de disponibilité des cellules**
- **Utilisation des ressources**

Dernier aspect, car je pense qu'il est réellement important de maîtriser à la fois la liaison descendante (Downlink) et la liaison montante (Uplink). Le client attache beaucoup d'importance à la qualité de service du réseau.

Je retire également beaucoup d'enseignements de cette expérience. Toute nouvelle expérience est enrichissante. J'ai apprécié les échanges techniques sur les fonctionnalités testées. D'un point de vue plus personnel, j'ai pu m'apercevoir de mes capacités de travail en cumulant plusieurs activités.

# GLOSSAIRE

## A

**AM** Accès Mobile

**AMT** Accès Mobile et Terminaux

**ANFR** Agence Nationale des Fréquences

**ARCEP** Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes.

**AUC** Authentification Centre. Centre d'authentification des abonnés d'un réseau GSM.

## B

**BCCH** Broadcast Control Channel

**BSC** Base Station Controller

**BSIC** Base Station Identity Code

**BTS** Base Transceiver System

**BSSAP** BSS Application Part

**BSSGP BSS** GPRS Protocol

**BSSMAP** BSS Management Application Part

## C

**CORE** Coeur de réseau

**CID** Cell Identity

**CPICH** Common Pilot Channel

**CS** Circuit Switch

## D

**DCS** Digital Cellular System

**DGRE** Direction Générale des Réseaux

**DIAM** Direction de l'Ingénierie de l'Accès Mobile

**DO** Direction des Opérations

**DSI** Direction des Systèmes d'Information

**DT** Direction Technique

**DL** Down Link

## **E**

**EFR** Enhanced Full Speech Rate

**EIR** Equipment Identity Register

Ec/I0 Rapport RSCP sur RSSI

## **F**

**FEC** Forward Error Correction.

**FR** Full Rate.

**FTP** File Transfer Protocol.

## **G**

**GGSN** Gateway GPRS Support Node.

**GMM** GPRS Mobility Management.

**GMSC** Gateway MSC.

**GPRS** General Packet Radio Service.

## **H**

**HLR** Home Location Register.

**HPLMN** Home PLMN..

**HR** Half Rate

**HO** Hand-Over

**HSPA** High Speed Packet Access

## I

**IMEI** International Mobile Equipment Identity. .

**IMSI** International Mobile Subscriber Identity.

**IP** Internet Protocol.

**ISDN** Integrated Services Digital Number

**INC** Internet Network Controller

## K

**KPI** Key Performance Indicator

## L

**LAC** Location Area Code.

**LAI** Location Area Identification.

**LAN** Location Area Network.

**LLC** Logical Link Control

## M

**MAC** Medium Access Control.

**MAP** Mobile Application Part.

**MCC** Mobile Country Code.

**MIC** Modulation par Impulsion et Codage. .

**MM** Mobility Management.

**MNC** Mobile Network Code.

**MS** Mobile Station.

**MSC** Mobile-services Switching Centre.

**MSISDN** Mobile Station ISDN Number.

**O**

**OMC** Operation and Maintenance Centre.

**OS** Operating System.

**OA&M** Operations, Administration and Maintenance

**P**

**PCU** Packet Control Unit (GPRS).

**PDP** Packet Data Protocol.

**PDU** Protocol Data Unit

**PLMN** Public Land Mobile Network.

**PTM-G** Point-To-Multipoint Group (GPRS).

**PTM-M** Point-To-Multipoint Multicast (GPRS).

**P-TMSI** Packet Temporary Mobile Subscriber Identity (GPRS)

**PTP** Point-To-Point (GPRS).

**PS** Packet Switch

**PDG** Packet Data Gateway

**PDP** Packet Data Protocol

**R**

**RA** Routing Area.

**RF** Radio Frequency.

**RLC** Radio Link Control (GPRS).

**RNIS** Réseau Numérique à Intégration de Service.

**RR** Radio Resource management.

**RAB** Radio Access Bearer

**RAN** Radio Network Access

**RNC** Radio Network Controller

**RSCP** Receive Pilot Channel Power

**RSSI** Received Signal Strength Indication

**RXLEV**ReceiveLevel

## S

**SAPI** Service Access Point Identifier.

**SDU** Service Data Unit.

**SFR** Société Française de Radiotéléphone.

**SGSN** Serving GPRS Support Node.

**SIM** SubscriberIdentity Mobile

**SM** Session Management (GPRS).

**SMS** Short Message Service.

**SMS-GMSC**Short Message Service-Gateway MSC.

**SMS-IWMSC**Short Message Service-Interworking MSC.

**SNDCP** SubnetworkDependent Convergence Protocol (GPRS).

**SS7** Signalisation sémaphore n°7

## T

**TCH**Traffic Channel

**TOS** Taux d'Onde Stationnaire

**TRX** Transmission Reception unit

**U**

**UL** Up Link

**UMTS** Universal Mobile Telecommunications System

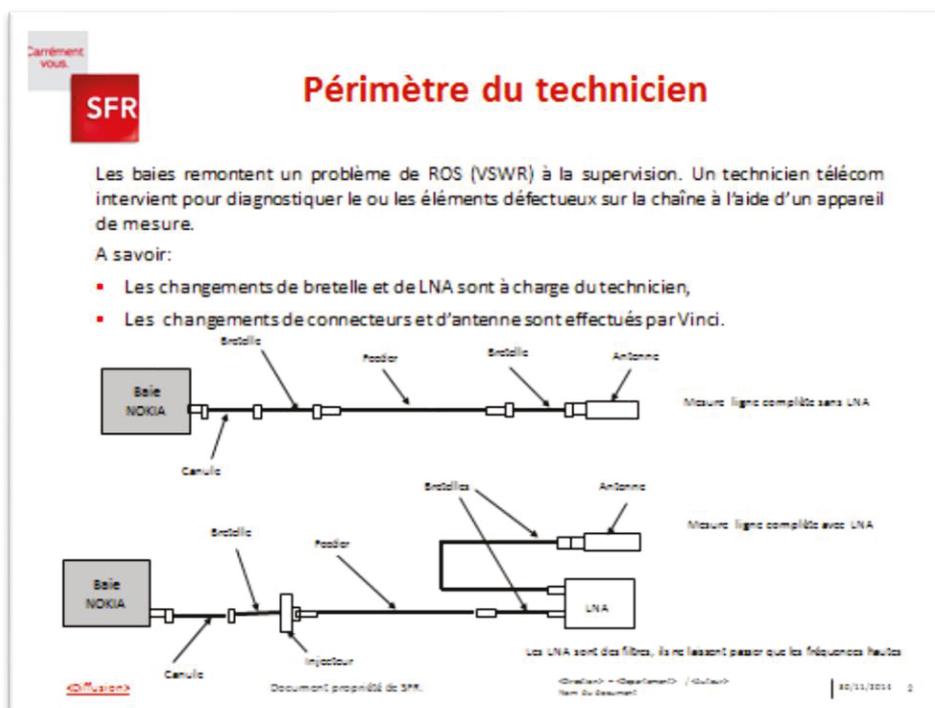
**V**

**VLR** Visitor Location Register

**VLAN** Virtual Local Area Network

# ANNEXES

## Analyseur SWOT



## Mesure RF

-90% des interventions télécoms sur les chaînes aériennes sont des mesures RF.

-10% sont des mesures spectrales (recherche de brouilleur)



-Mesures RF:

**ROS** (mesure la performance d'impédance de la ligne de transmission à travers la gamme de fréquences 2G,3G,LTE)

**DTF** (localise des défauts sur la ligne de transmission)

cette mesure est souvent utiliser pour le mainteneur télécom.

**CABLE LOSS** (mesure la perte de signal par le biais d'un câble ou d'un autre dispositifs sur une plage de fréquence définie)



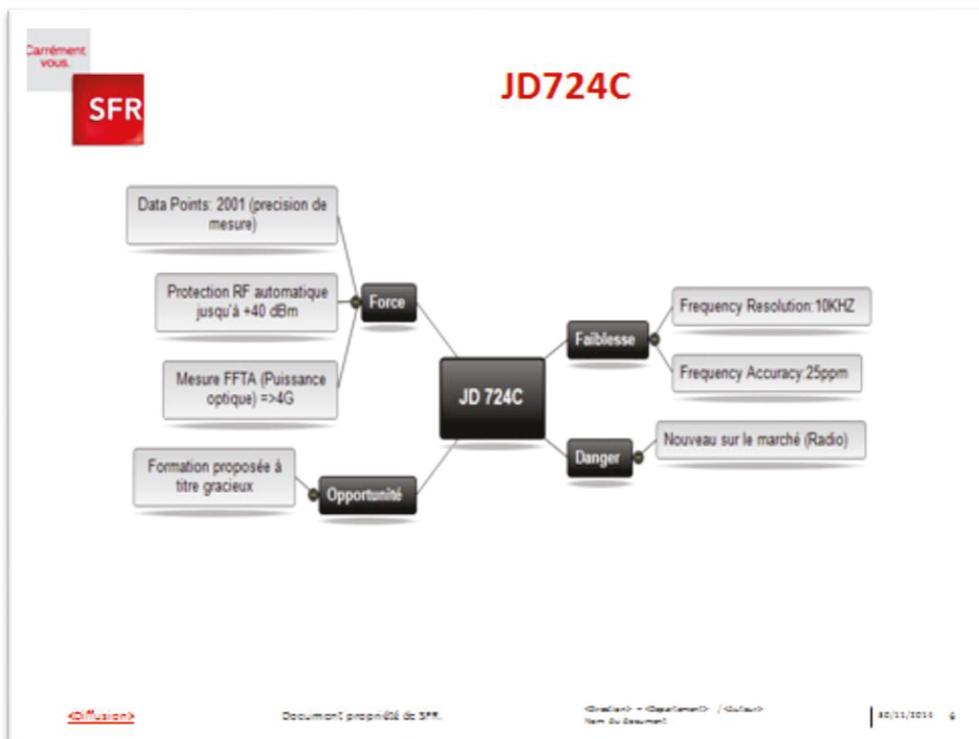
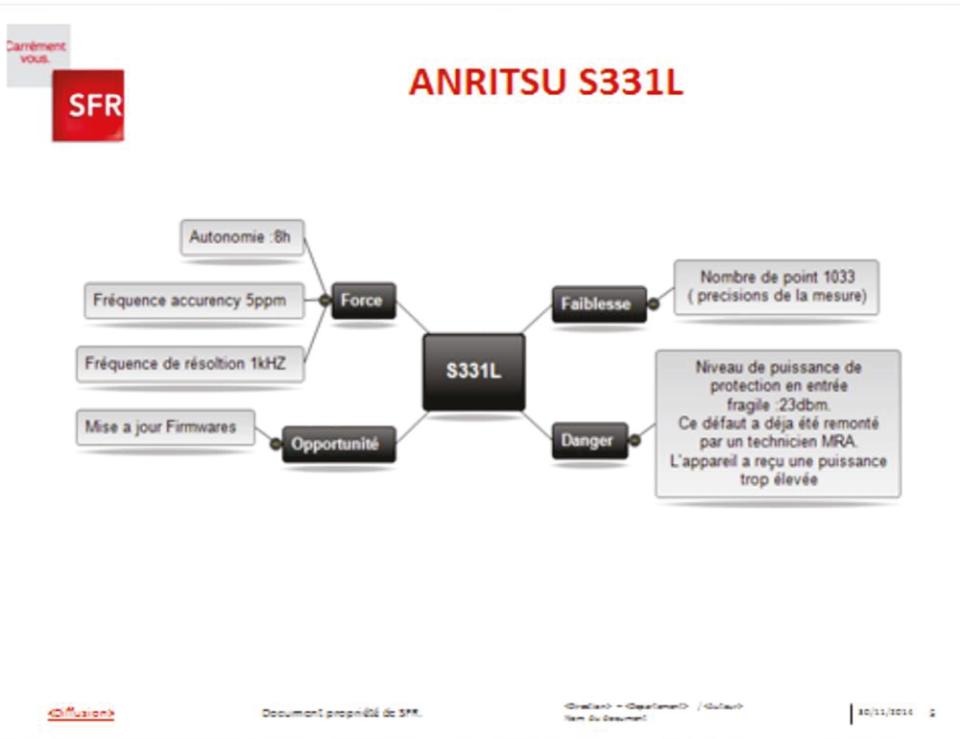
## Appareil de mesure

Différents constructeurs ont été consultés pour nous fournir un appareil qui réponde au mieux à nos besoins :

- Agilent,
- JDSU,
- Anritsu.

Les produits retenus sont :

- JD745 (JDSU) Signal Analyzer + OTA + Mesures RF (recherche de brouilleur)
- CellMaster MT8212E (Anritsu) Signal Analyzer + OTA + Mesures RF(recherche de brouilleur)
- JD724 (JDSU) (Mesures RF)
- S331L (Anritsu) (Mesures RF)



-Après plusieurs comparaisons entre le JD724 (JDSU) et le S331L (Anritsu), je privilégie le JD723.  
Il est très simple d'utilisation, convient parfaitement à nos besoins terrains 2G,3G,LTE

-De plus, l'option photomètre via le port USB effectue une mesure d'atténuation optique.  
Cette mesure est extrêmement utile pour valider les liens optiques notamment dans le cadre du LTE sur des architectures de type RRH



Paramètres	S331L	JD723/724C
Frequency Range	2 MHz to 4 GHz	3 MHz to 3.7 GHz (7150) / 4 GHz (7140)
Frequency Resolution	100 Hz	100 Hz
Frequency Accuracy	±1ppm	±1ppm
Rate Points	100, 200, 512, 1024	100, 200, 512, 1024, 2048
Measurement Speed	80 - 0.1 s/msec/data point 200 - 0.175 msec/data point	80 - 0.1 s/msec/data point 200 - 0.18 msec/data point
Real display	No	Yes
Measurement (span) zones	No	3
Interference immunity	On-Channel: <17 dBm/500 Hz Frequency: <13 dBm	On-Channel: <17 dBm/500 Hz Frequency: 0 dBm
Maximum Input	<13 dBm	<40 dBm
Maximum Distance	1000 m	1000 m
Storage	10000 Files (70000 Screens, User Settings)	4,000 Traces, 1,400 Screens, 150 User Settings, 100,000 bit/s
LED	3.2" daylight viewable Color LED (resistive touch screen)	3.2" Transflective Touch screen (viewable under direct sun light)
Keypads	No	Yes
Interface	2 x USB Type-A 1 x USB Mini-B	2 x USB Type-A 2 x USB Mini-B 1 x 10/100 Base-T LAN 2 x RS-485
Remote operation	No	Yes
Battery Operation Time	> 8 hrs. (with 2 batteries non-replaceable)	7.5 hrs. (with field-replaceable LiMnO <sub>2</sub> battery)
Shock & Vibration	MIL-STD-883C Class 2	MIL-STD-883C Class 2
Warranty	3 year	3 years

©Creaco - ©Anritsu / ©JDSU  
Form 24 Document

10/11/2014

## Exemple Mode opératoire simplifié

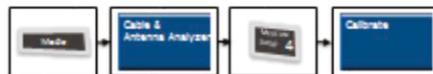
### JDSU-Mesure VSWR/ROS

Les valeurs mesurées doivent être entre 1.1 et 1.4 en VSWR et entre 25db et 15.6 en ROS  
Pour paramétrer l'appareil il faut suivre les instructions suivantes:

- 1) Paramétrer la fréquence
- 2) Calibrer l'appareil

Parameter	Value
Frequency	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freq/Dist</li> <li>• /[Start Frequency] - [5] - [MHz]</li> <li>• /[Stop Frequency] - [4000] - [MHz]</li> </ul>
Calibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measure Setup - [Calibrate] - [following instruction]</li> </ul>

#### Calibration



- Aller dans le menu Cable and Antenna Analysis
- Connecter votre câble avec les bonnes transitions pour effectuer votre mesure
- Choisissez le menu VSWR ou Return Loss



### Reflection (VSWR)



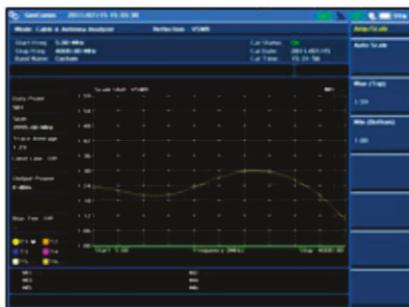
### Reflection (Return Loss)



- Aller sur la touche Amp/Scale afin d'ajuster automatiquement vos valeurs
- Ensuite sur la touche Peak Search pour afficher les Marqueurs



### Auto Scale

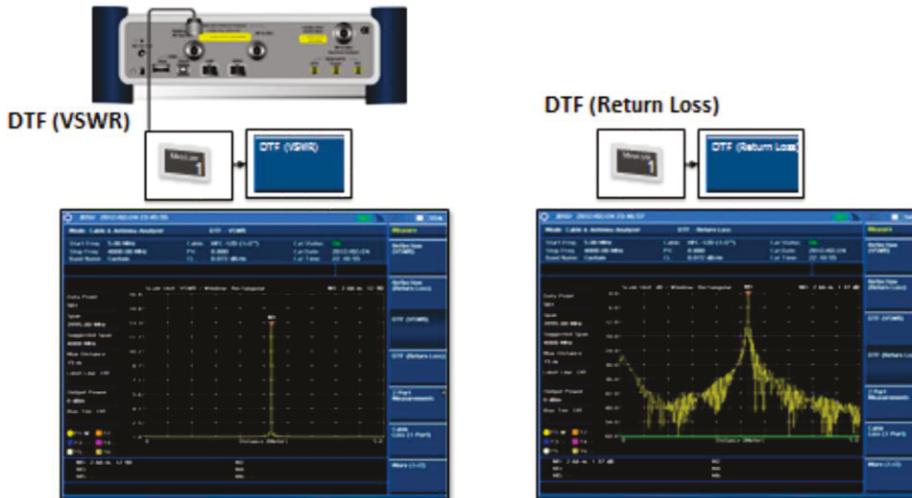


### Peak Search



## JDSU-Mesure DTF(distance-to fault)

- Cette mesure sert a localiser le défaut sur la chaine aérienne



## JDSU-Mesure DTF – Cable Loss

Pour effectuer cette mesure il faut calibrer l'appareil . Sur un cable FH la bande de fréquence sera de 100mhz a 1GHZ. Le type de cable LDF4-50A.

**Cable connection**



**DTF – Cable Loss**



## JDSU-Mesure Cable Loss

- Ne rien ajouter a l'extrémité du câble mesuré
- Pour connaître la qualité du câble il faut faire un calcul:  
 $0,05/\text{mètres} \times \text{la longueur} \times 2 \Rightarrow$  cette valeur doit être comparé au marqueur a 500mhz

### Cable Loss



Carrément  
vous.



## Analyse de spectre et d'interférence

Siounandan William

Orange

© Tous droits réservés. Ce document est l'œuvre de Siounandan William. Il ne peut être réutilisé sans autorisation écrite de l'auteur.

© Orange - Département Orange / Orange

11/03/2013

## Analyse de spectre

Le but de l'analyse de spectre est de mesurer l'amplitude d'un signal en fonction de la fréquence. Pour cela, l'appareil balaye le spectre de fréquence que nous voulons analyser, il calcule ainsi un certain nombre de points mesures et l'affiche sous forme de courbe de mesure.

Ce que nous devons Paramètres à configurer:

- > La bande de Fréquences  
Définir les fréquences de début et fin des mesures (ou fréquence centrale et largeur du span)(largeur de bande)
- > Le niveau de référence (Ref Level)  
Définir la référence de manière à avoir la visibilité de l'ensemble du spectre.
- > Le niveau de compensation (Offset ref level)  
Définir son niveau afin de compenser si besoin les gain d'éléments actifs externes tel que(LNA ,TMA...)
- > Le niveau d'Atténuation  
Définir le niveau d'atténuation en fonction du niveau de champs mesuré  
Utilisation du préampli (vérifier s'il ne rentre pas en oscillation)  
Ajuster le RBW et VBW pour ressortir au mieux les phénomènes recherchés.

## Configuration de l'analyseur

1. Se connecter sur la chaîne de réception d'une BTS ou d'une Node B et configurer la Bande de fréquence du span en fonction des besoins de la bande à mesurer (bande uplink)
2. Ajuster les paramètres de l'analyseur pour assurer sa protection:  
**Appli sur off et atténuation EN AUTO**
3. Adapter l'offset pour compenser le GAIN de l'ampli externe à l'analyseur.  
**Offset Ref level: = gain du LNA ou module RF en UMTS**
4. Ajuster la configuration de l'ampli interne et la valeur d'atténuation, afin d'obtenir la meilleure sensibilité de mesure.
5. Ajuster les paramètres d'affichages afin d'utiliser pleinement l'écran.  
**Ref Level, échelle**
6. Configurer l'analyseur et mettre en évidence un brouilleur permanent. Zoommer sur la fréquence du BCCH ou porteuse de la cellule capturer
7. Enregistrer la courbe  
**Rédiger un rapport par mail des mesures**

**Carrement vous.**

## SFR Analyse d'Interférence

Détection, Identification et Localisation

**Détection.** Détecter des interférences de faible niveau, ainsi qu'intermittentes.

**Identification.** Caractériser la nature de l'interférence:

- Sources externes (telles que d'autres stations)
- Sources internes (telle que l'inter-modulation).

**Localisation.** Trouver la position de la source d'interférence.

**Document propriété de SFR.** | 21/03/2012 6

**Carrement vous.**

## SFR Analyse de Spectre et d'Interférence

Détection d'Interférence - Effet du RBW et VBW

**Pour mieux détecter les interférences :**

- **Augmenter la sensibilité:** en réduisant l'atténuation d'entrée et en allumant le préampli
- **Augmenter la sensibilité:** en réduisant le filtre de résolution (RBW).
- **Lisser le trace:** en réduisant le filtre video (VBW).

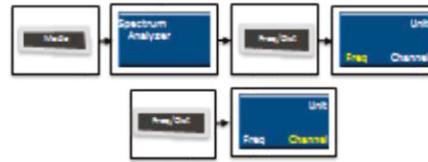
**SPECTRUM ANALYSIS** | 21/03/2012 7

# SFR Analyse de Spectre

Entrée par fréquence ou par Canal

## Définition

- Fréquence**
- "Center Frequency" et "Span"
  - "Start Frequency" et "Stop Frequency"
  - "Frequency Step" pour curseur et molette.
- Canal**
- "Channel Standard" puis "Channel Number"
  - "Span"
  - "Channel Step"



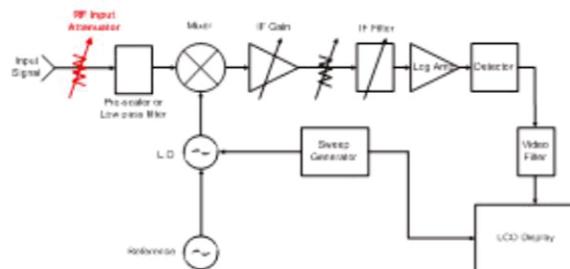
# SFR Analyse de Spectre

Atténuateur d'entrée

Ajuste le niveau du signal entrant afin de trouver le bon compromis entre sensibilité maximum et prévention de la compression de gain et de la distortion

Le gain FI compense exactement l'atténuation RF d'entrée: si l'atténuation RF augmente de 10dB, le gain FI augmente lui aussi de 10dB pour compenser la perte

En conséquence, le niveau du signal reste constant, mais le niveau de bruit de fond bouge.

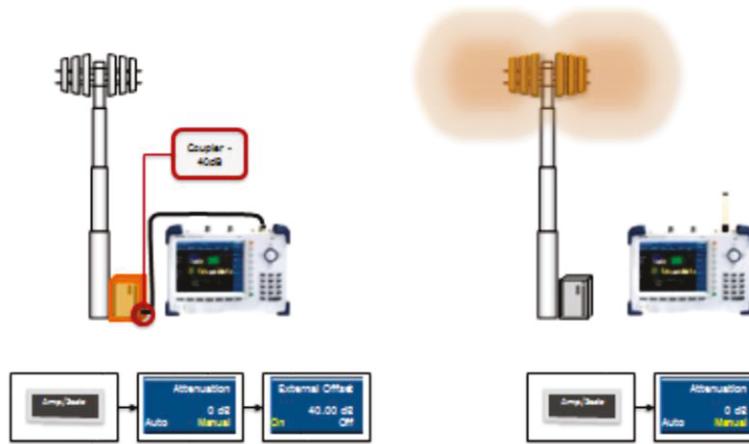


Carrement  
vous.

SFR

## Analyse de Spectre

Atténuateur d'entrée



fusion

Document propriété de SFR.

©SFR - ©Orange - ©GDF Suez  
Tous droits réservés

31/03/2012 10

Carrement  
vous.

SFR

## Analyse de Spectre

Filtre de Résolution et Vidéo

Définition
<ul style="list-style-type: none"><li>- RBW (filtre de résolution), diminue le niveau de bruit de fond, augmente la résolution (points) et influence le temps de balayage (sweep time).</li><li>- VBW (filtre vidéo), lisse la trace.</li></ul>



fusion

Document propriété de SFR.

©SFR - ©Orange - ©GDF Suez  
Tous droits réservés

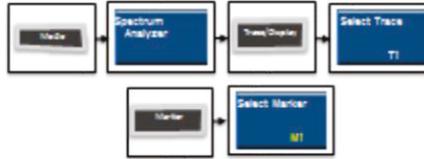
31/03/2012 11

# Analyse de Spectre

## Traces et Marqueurs

### Définition

- Jusque six traces, en écriture (Clear Write), Max Hold, et Min Hold.
- Jusque six marqueurs, en Normal, Delta et Delta Pair.



Mesures de spectre et d'interférence

# MESURES CANAL UPLINK (RX)

Carrément vous.

**SFR** Analyse d'Interférence – Configuration  
GSM 900 – Bande RX 902.4-915 MHz (G\_900\_RX)

TRACE: MIN Hold

PREAMP: ON

REF: -50 dBm

ATTEN: 0 dB

RBW: 10KHz

VIEW: Auto

A noter: niveau de bruit 16 dB plus haut (préampli dans BT8)

STOP: 916

START: 902.4

SPECTRUM ANALYSIS

Document propriété de SFR.

21/03/2013 19

Carrément vous.

**SFR** Analyse d'Interférence – Spectromètre  
GSM 900 – Bande RX 902.4-915 MHz

Mode -> Interference Analyzer -> Spectrogram

Spectrogram

Détection de perturbations intermittentes

Appuyer sur HOLD puis MEASURE SETUP pour naviguer dans le temps

SPECTROGRAM

Document propriété de SFR.

21/03/2013 20

Carrement vous.

**SFR**

## Analyse d'Interférence – Configuration

GSM 1800 – Bande RX1 1710-1713 MHz (G\_1800\_RX1)

TRACE: MIN Hold

PREAMP: ON

REF: -50 dBm

ATTEN: 0 dB

RBW: 10KHz

VIEW: Auto

STOP: 1713

START: 1710

SPECTRUM ANALYSIS

Document propriété de SFR.

31/03/2012 21

Carrement vous.

**SFR**

## Analyse d'Interférence – Configuration

GSM 1800 – Bande RX2 1737-1758.2 MHz (G\_1800\_RX2)

TRACE: MIN Hold

PREAMP: ON

REF: -50 dBm

ATTEN: 0 dB

RBW: 10KHz

VIEW: Auto

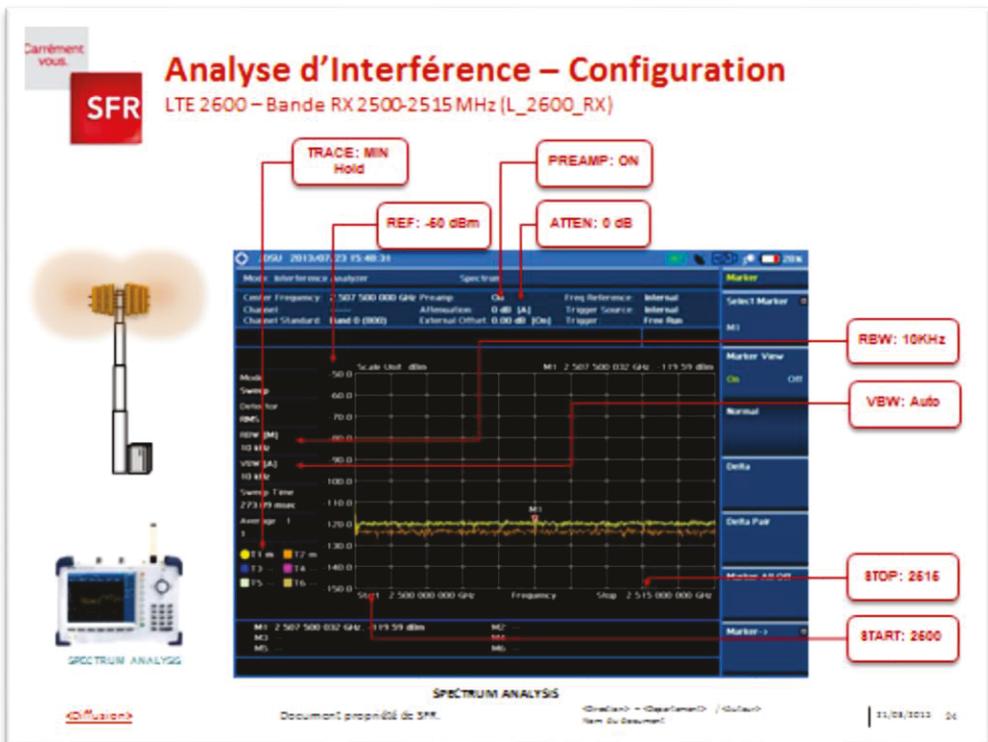
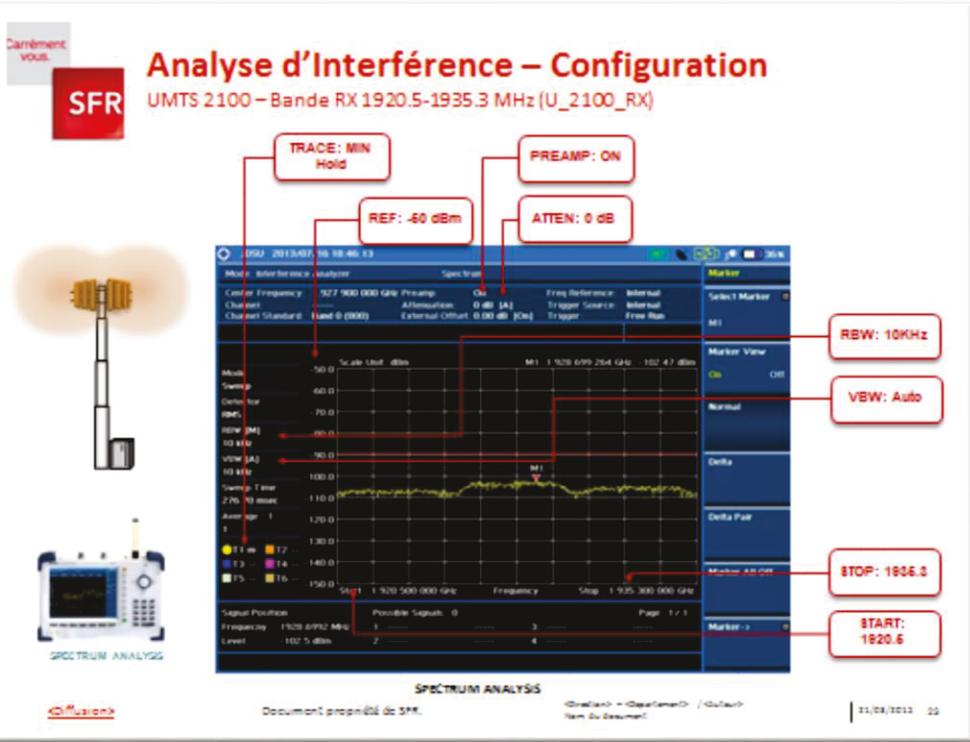
STOP: 1758.2

START: 1737

SPECTRUM ANALYSIS

Document propriété de SFR.

31/03/2012 22



# Annexe Utilisation de spectre fréquentiel

- Bande GSM (E-GSM + P-GSM) : de 880 à 960MHz
  - Bande P-GSM = 890 - 960 MHz
  - Bande DCS = 1710 - 1880 MHz
  - Bande UMTS = 1900 - 2170MHz
- Longueur de spectre du canal: 200 KHz  
Longueur de spectre du canal: 6MHz

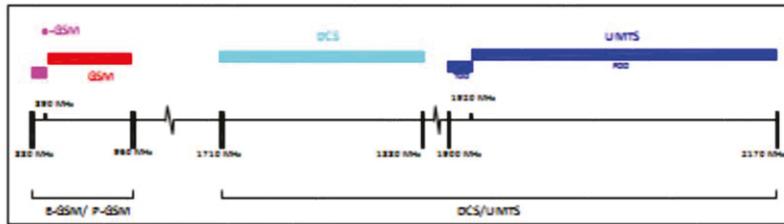


Figure 1 : Illustration de la bande passante

# Annexe Canaux-fréquences 900/1800

■ Bouygues Telecom, ■ Orange France, ■ SFR, ■ Free Mobile

Sur les zones très denses<sup>2</sup> :



Sur l'ensemble du territoire métropolitain sauf dans les zones très denses :



Sur les zones très denses :



Sur l'ensemble du territoire métropolitain sauf dans les zones très denses :



# Annexe Canaux-fréquences UMTS/LTE

## UMTS



## LTE



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Actionnariat 2014 .....	6
Figure 2 : couverture 4G et DC-HSPA .....	8
Figure 3 : Direction Réseaux, Systèmes d'Information et Opérateurs (DRSIO) .....	9
Figure 4 : Mission DRSIO .....	10
Figure 5 : Organigramme MRA .....	10
Figure 6 : Exemples configuration site radio .....	11
Figure 7 : visualisation des signaux uplink et downlink .....	12
Figure 8 : photos d'un site radio .....	13
Figure 9 : Schéma de l'architecture du réseau GSM .....	14
Figure 10 : Longueur de portée $\Leftrightarrow$ longueur d'onde en fonction de la fréquence .....	14
Figure 11: Architecture protocolaire GSM .....	15
Figure 12 : Schéma trames BSSMAP .....	17
Figure 13: Handover intercellulaire (au sein d'un autre secteur de la même BTS) .....	17
Figure 14: Schéma de l'architecture du réseau GPRS .....	19
Figure 15 : Architecture protocolaire GPRS .....	20
Figure 16 :Schéma de l'architecture du réseau UMTS (UTRAN) .....	23
Figure 17 : Architecture protocolaire mode paquet .....	23
Figure 18: Architecture protocolaire DATA UMTS .....	24
Figure 20 : Canaux UMTS .....	25
Figure 21: Schéma de l'architecture du réseau LTE (E-UTRAN) .....	29
Figure 22 : Architecture protocolaire LTE (E-UTRAN) .....	29
Figure 23 : Connexion RRC .....	30
Figure 24 : Ressources blocks OFDMA .....	31
Figure 25: Ressources blocks SC-FDMA .....	31
Figure 26: Rappel du contrat Mozart vers le contrat PROMA .....	32
Figure 27 : Alarme supervision .....	35
Figure 28 : Nombre d'interventions résolues.....	36
Figure 29 : Répartition zone de maintenance sur IDF.....	37
Figure 32 : Macro planning.....	40
Figure 33 : Site radio sur une terrasse .....	42
Figure 34 : Photos connecteur endommagé .....	48
Figure 35: Trafic 2G paris métro Chatelet .....	49
Figure 36: Trafic data de la cellule Les Halles.....	50
Figure 37 : Taux de communication prise par Handovers .....	50
Figure 38 : Taux de coupures de communications des Halles.....	51
Figure 39 : Trafic 2G HR+FR de Cité .....	52
Figure 40 : Taux de communications prise par Handovers.....	52
Figure 41 : Taux de coupures site métro cité.....	53
Figure 42 : Interférence sur une bande 3G.....	54
Figure 43 : Schéma liaison câble coaxial.....	54
Figure 44: Brouilleur.....	55
Figure 45 : Received power level .....	56
Figure 46 : Echec RRC.....	56
Figure 47 : taux échec HSPA .....	57
Figure 48 : Harmonique .....	58
Figure 49 : Visualisation d'un écran analyseur de spectre sans produits d'intermodulation .....	59
Figure 50: Exemple d'intermodulation.....	60
Figure 51 :Combiner(800Mhz- 900Mhz) .....	61
Figure 52 : IFHO .....	61
Figure 53 : taux échec HSPA .....	62
Figure 54 : Soft Handover.....	62
Figure 55 : Synoptique d'un Module Radio Fréquence .....	64

Figure 56 : Présentation ingénierie .....	64
Figure 57 : Modification valeurs VSWR.....	65
Figure 58 : Analyseur de réseau R.O.S .....	67
Figure 59 : Relevé du R.O.S en VSWR .....	67
Figure 60 : Relevé du R.O.S en Return Loss .....	68
Figure 61: Relevé de Distance To Fault en VSWR .....	68
Figure 62 : Relevé de Distance To Fault en Return Loss.....	69
Figure 63 : Analyseur de réseau spectrale.....	69
Figure 64 : Analyse spectrale sans impact.....	70
Figure 65 : Analyse spectrale avec impact.....	70
Figure 66 : Brouilleur Uplink en 3G.....	71
Figure 67 : architecture antenne.....	73

## REFERENCE

### Bibliographie

- **Architecture des réseaux de mobiles**, André Pérez
- **LTE for UMTS**, second edition, Harri Holma and Antti Toskala
- **Réseaux GSM-DCS**, 3<sup>ème</sup> Edition, LAGRANGE Xavier, GODLEWSKI Philippe, TABBANE Sami, 07-2000, Edition Hermès
- **UMTS : les origines, l'architecture, la norme**, Pierre LESCUYER, 6-2002, Edition 01-Informatique
- **UMTS (Réseaux & Télécommunications (2<sup>o</sup> Ed.))**, SANCHEZ Javier, THIOUNE Mamadou, 02-2004, Edition Hermès
- **Radio Network Planning and Optimisation for UMTS (2nd Ed.)**, LAIHO Jaana, 12-2005
- **Radio resource management strategies in UMTS**, PEREZ ROMERO Jordi, SALLEN Oriol, AGUSTI Ramon, DIAZ-GUERRA Miguel-Angel, 06-2005
- **QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems**, David Soldani, 2006, Edition WILEY.

### Webographie

- <http://www.efort.com/>
- <http://www.arcep.fr/>
- <http://www.etsi.org/>
- <http://www.3gpp.org>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Canaux GSM.....	18
Tableau 2 : Canaux GPRS.....	21
Tableau 3 : Service voix opérateurs .....	34
Tableau 4 : Service données opérateurs.....	34
Tableau 5 : Rapport entre R.O.S et coefficient de réflexion.....	45
Tableau 6 : Conversion du R.O.S en Return Loss des pourcentages de puissance ...	47
Transmises et réfléchies et du module du coefficient de réflexion .....	47
Tableau 7 : Analyse SWOT .....	66
Tableau 8 : Fournisseurs matériels .....	73

## 4<sup>ème</sup> de couverture

### Amélioration de la qualité de service radio sur la partie chaine antenne aire

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Clichy 2015

---

## Résumé

SFR a pour objectif d'améliorer la qualité de son réseau. Ma mission a été d'améliorer la qualité de service voix et data sur l'île de France. Pour mener à bien celle-ci, il a fallu d'abord connaître les différentes topologies possibles des sites radio 2G/3G et prendre en compte le déploiement de la 4G. Ensuite, il a fallu réaliser une étude de marché avec différents fournisseurs de matériels et d'appareils de mesure, mettre en place des solutions palliatives afin d'assurer un rétablissement de la perte de couverture radio. Et enfin concevoir des modes opératoires qui seront utilisés par la maintenance.

**Mots clés :** qualité de service, performance du réseau, détection de défaut, radio

---

## Summary

SFR aims to improve the quality of its network. The mission assigned to me was to improve the voice quality of service and data on area France. To achieve this mission had to take into account the historical context of SFR, which has a 2G and 3G network from several years ago, knowing the different possible topologies of radio sites and take into account the deployment of 4G. Conduct market research with different suppliers of materials and measuring device. Implement workarounds to ensure recovery of lost radio coverage. Finally perform procedures for maintenance.

**Key Words:** quality of service, network performance, fault detection, radio