



**Mémoire de Projet de fin d'étude**

**Préparé par**

**MERYEM ROUICHI**

**Pour l'obtention du diplôme**

**Ingénieur d'Etat en**

**SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS**

**Intitulé**

**Etude de la compatibilité en cas de cohabitation entre les stations  
des réseaux utilisant les techniques d'accès radio.**

**Encadré par :**

**Pr. NAJIBA EL AMRANI EL IDRISSE**

**Mr. OUHAMOU Mohamed (ANRT)**

Soutenu le **Samedi 2 Juillet 2011**, devant le jury composé de :

**Pr. NAJIBA EL AMRANI EL IDRISSE ..... Encadrant**

**Pr. A. Mechaqrane..... : Examineur**

**Pr. A. Errahmani ..... : Examineur**

**Pr. Y. Balboul ..... : Examineur**

---

## REMERCIEMENT

---

*Tout d'abord je dois remercier Dieu qui m'a donné la santé et la volonté durant la réalisation de ce projet de fin d'étude.*

*Je voudrais exprimer toute ma profonde reconnaissance à mes parents pour leur soutien moral et leurs encouragements pour achever ce projet.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, Madame NAJIBA EL AMRANI EL IDRISSE. Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques pour les efforts qu'elle a consenti et les précieux conseils qu'elle a prodigué.*

*J'adresse également mes vifs remerciements à mon encadrant M.OUHAMOU Mohamed, Chef de la division de contrôle technique à Rabat de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer mon stage au sein de l'ANRT ainsi que pour son aide et conseils pertinents menant à bien ce travail, tout au long de mon séjour au sein de son équipe.*

*Que Melle. Fatihia Mrabti trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour les remarques constructives ainsi que pour le temps précieux qu'elle a bien voulu me consacrer.*

*Mes sincères remerciements iront aussi à tous les professeurs et assistants à la FST, ainsi qu'à tout le personnel de l'administration pour leurs innombrables efforts en vue de nous guider à la réussite.*

*Enfin, j'espère que ce travail sera à la hauteur de vos attentes et que les jurys seront satisfaits de la réalisation de ce projet.*

---

## **AVANT PROPOS**

---

Ce document s'inscrit dans le cadre de mon projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en télécommunication de la filière **Système Electronique et Télécommunication(SET)** de la **Faculté des Sciences et Technique (FST)**.

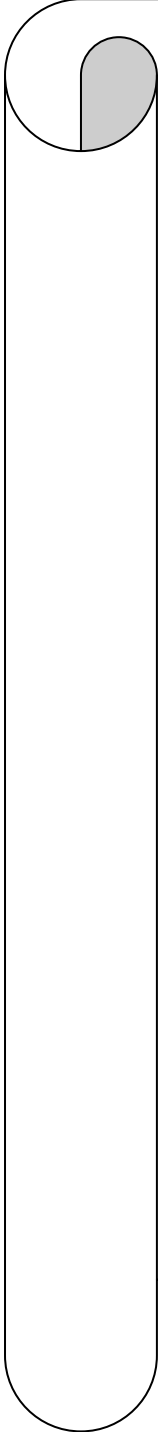
Il décrit mon travail de quatre mois au sein de la division technique et précisément au service contrôle technique de l'Agence **Nationale de Réglementation de Télécommunication (ANRT)**.

Le but de mon projet est de réaliser **une étude de la compatibilité en cas de cohabitation entre les stations des réseaux utilisant les techniques d'accès radio.**

---

# RÉSUMÉ

---



Ce projet de fin d'étude a traité une des problématiques confrontées dans la conception des systèmes de télécommunication cellulaire. Il vise l'évaluation de la compatibilité en cas de cohabitation entre les systèmes radioélectriques utilisant des liaisons hertziennes.

L'étude s'est focalisée sur le traitement des problèmes d'interférence produits dans les cas de cohabitation entre plusieurs opérateurs utilisant la même ou différentes technologies dans des bandes des fréquences adjacentes.

Ces problèmes se produisent entre la bande d'émission et son adjacente la bande de réception pour deux technologies différentes. Lorsqu'il s'agit de la même technologie, le problème est créé entre les deux bandes d'émission adjacentes ou celles de réception.


Pour chaque type de problème, nous avons identifié les causes d'apparition afin de trouver les solutions techniques envisageables pour éliminer ou au moins atténuer la gravité de ces interférences. Ces solutions sont basées sur la notion de **bande de garde** séparant les bandes de fréquences des systèmes interférents ainsi que sur une technique efficace de **l'isolation** consistant à atténuer l'effet des émissions indésirables pour ne pas affecter le récepteur victime.

L'objectif de cette étude est de prévoir les problèmes de dégradation de la qualité de communication dans les réseaux cellulaires afin que les concepteurs les prennent en considération dans la planification et la mise en place des systèmes de communication radio.

---

# ABSTRACT

---



The objective of this study is to anticipate problems of degradation of the quality of communication in cellular networks so that the designers take into account in the planning and implementation of radio communication systems.

This graduation project has treated one of the problematic faced in the conception of cellular telecommunication systems. It targets the evaluation of the compatibility in case of cohabitation of radio systems using wireless links.

The study focused on the treatment of interference problems occurred in case of coexistence between multiple operators using the same or different technologies in adjacent frequency band.

These problems occur between the emission band and its adjacent the reception band of two different technologies. When we mean the same technology, the problem emerges between the two bands of adjacent emission and reception ones.

To each specific problem, we have identified the causes of their appearance so as to find the possible technical solutions to eliminate or at least reduce the risks of the interference. These solutions are based on the notion of **guard band** which separate the frequency bands of interfering systems and on the concept of **isolation** which mitigate the effect of undesirable emissions so as not to affect the victim receiver.

The purpose of this study is to anticipate the degradation problems of the communication quality within the cellular network so that the designers take them seriously in the planning and implementation of radio communication systems.

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Durant les dernières années, la téléphonie mobile a été le secteur le plus dynamique, le plus rentable et le plus innovant de toute l'Industrie des Télécommunications. Le développement des technologies utilisées, les services et applications offertes par le mobile ont contribué à la création d'un environnement propice à la concurrence incitant ainsi les opérateurs à se soucier de la qualité de leurs prestations et des performances de fonctionnement de leurs réseaux et infrastructures.

L'importance du nombre des abonnés servis a poussé les opérateurs à partager les mêmes infrastructures. Ceci conduit à la coexistence de plusieurs systèmes réseaux mobiles dans des bandes de fréquences différentes et utilisant des technologies variées.

Dans les zones où cohabitent plusieurs opérateurs concurrents pour fournir leurs services sans fil, l'installation du site cellulaire sans interférence est souvent un défi pour eux. Pour cette raison, la planification des réseaux cellulaires doit prendre en considération le risque des interférences entre les sites cohabités.

Dans les pays où existent plusieurs technologies (GSM, CDMA, WCDMA...) comme le cas du **Maroc** la possibilité des interférences accrues est inévitable. L'effet de ces interférences est aggravé lorsque la même bande de fréquence est attribuée à plusieurs opérateurs et lorsque le pays ne possède ni loi du zonage ni de localisation.

En effet, l'objectif principal des opérateurs du réseau mobile est de lutter contre la production des interférences dans le cas où ils opèrent sur la même bande de fréquence dans des zones adjacentes. Il peut être remédié à ce problème par le respect des exigences du zonage concernant la distance séparant les sites radioélectriques.

Ce travail conduit dans le cadre de projet de fin d'étude à évaluer, à partir d'une étude approfondie, la compatibilité en cas de cohabitation entre plusieurs systèmes radioélectriques. L'étude porte sur le traitement des différents problèmes créés entre les systèmes radioélectriques en cherchant leurs causes afin de trouver les solutions envisageables qui peuvent atténuer la gravité de ces interférences. Nous nous sommes intéressés également à la définition des considérations et les lignes directrices concernant la bande de garde et l'isolation requise entre les antennes pour contrôler le niveau d'interférence à la limite acceptable et ce lors de la planification des réseaux mobiles.

Le présent rapport s'articule autour de deux parties. La 1ère partie présente l'Etat de l'Art du projet, elle s'intéresse à étudier les généralités qui nous serviront pour réaliser notre travail présenté dans la partie qui suit.

La 1ère partie est composée de trois chapitres:

Dans le premier chapitre, on va exposer un aperçu sur l'Agence Nationale de Réglementation de Télécommunication (ANRT) où le stage a été effectué.

Dans le deuxième chapitre, une idée sur les réseaux cellulaires sera donnée notamment le concept cellulaire, la réutilisation, l'allocation de fréquence ainsi que les méthodes d'accès et l'évolution des réseaux. Une étude des technologies 2G (GSM) et 3G(UMTS) sera faite par la suite.

Le troisième chapitre expose les différents types de brouillages des sites radioélectriques en précisant leurs éventuels causes et cherchant la résolution de chaque type.

La deuxième partie de ce rapport va présenter notre contribution personnelle dans l'élaboration de cette problématique puisqu'elle représente **une étude approfondie qui traite les cas de cohabitation entre les systèmes radioélectriques utilisant des technologies cellulaires.**

A partir de ce traitement, on va préciser les solutions convenables des problèmes provoqués par cette cohabitation. Cette partie comporte quatre chapitres : dans le premier et le deuxième chapitre, nous allons entamer la cohabitation entre deux sites radioélectriques utilisant deux technologies différentes. Le troisième chapitre est consacré à traiter les problèmes de cohabitation entre la même technologie dans des bandes de fréquences adjacentes. Le quatrième chapitre va exposer les problèmes d'interférences externes de la technologie CDMA.

Enfin, on va terminer par une conclusion récapitulant les résultats de nos études suivies des perspectives de notre travail.

---

# SOMMAIRE

---

<b>REMERCIEMENT</b> .....	2
<b>AVANT PROPOS</b> .....	3
<b>RESUME</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	6
<b>INTRODUCTION DE LA PARTIE I</b> .....	14
<b>PARTIE I: ETAT DE L'ART</b> .....	14
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ANRT</b> .....	15
<b>INTRODUCTION</b> .....	15
<b>I. MISSIONS DE L'ANRT</b> .....	15
I.1. Mission juridique.....	15
I.2. Mission économique .....	15
I.3. Mission technique .....	16
<b>II. ORGANISATION DE L'ANRT</b> .....	16
II.1. Conseil d'Administration.....	16
II.2. Comité de Gestion.....	16
II.3. Directeur Général.....	16
<b>III. DIVISION CONTROLE TECHNIQUE</b> .....	16
<b>CONCLUSION</b> .....	17
<b>CHAPITRE II : CONCEPTS GENERAUX DES RESEAUX CELLULAIRES ET LES TECHNOLOGIES GSM&amp;UMTS</b> .....	18
<b>INTRODUCTION</b> .....	18
<b>I. RESEAU CELLULAIRE</b> .....	18
I.1. Concept cellulaire.....	18
I.2. Réutilisation de fréquence.....	19
I.3. Allocation de fréquences .....	20



<b>I.4. Méthodes d'accès aux systèmes cellulaires .....</b>	<b>20</b>
I.4.1. FDMA (Frequency Division Multiple Access) .....	20
I.4.2. TDMA (Time Division Multiple Access) .....	20
I.4.3. CDMA (Code Division Multiple Access) .....	21
I.4.3.1. Etalement du spectre par séquence directe (DSSS) .....	21
I.4.3.2. Etalement du spectre par saut de fréquence (FHSS) .....	22
<b>I.5. Gestion de la Mobilité (Mécanisme du Handover) .....</b>	<b>22</b>
<b>I.6. Evolution du réseau cellulaire.....</b>	<b>23</b>
I.6.1. Première génération 1G .....	23
I.6.2. Deuxième Génération 2G .....	23
I.6.3. GPRS (General Packet Radio Service (2.5G)).....	23
I.6.4. EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution (2,75G)) .....	23
I.6.5. Troisième Génération (3G) .....	24
I.6.6. HSDPA (3.5G) .....	24
I.6.7. Quatrième génération (4G) .....	24
<b>II. RESEAU DE LA 2<sup>EME</sup> GENERATION : GSM.....</b>	<b>24</b>
<b>II.1. Méthodes d'accès en GSM.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2. Architecture du réseau GSM.....</b>	<b>25</b>
II.2.1. Sous système radio BSS (Base Station System).....	25
II.2.1.1. Mobile .....	26
II.2.1.2. Station de base BTS (Base Transceiver Station) .....	26
II.2.1.3. Contrôleur de station de base BSC (Base Station Controller) .....	26
II.2.2. Le sous-système réseau (NSS) .....	26
II.2.2.1. Mobile Switching Center (MSC).....	26
II.2.2.2. Home Location Register (HLR) /Authentication Center (AuC).....	26
II.2.2.3. Visitor Location Register (VLR) .....	26
II.2.2.4. Equipment Identity Register (EIR) .....	26
II.2.2.5. Centre d'exploitation et de maintenance(OMC) .....	27
<b>III. RESEAU DE LA 3<sup>EME</sup> GENERATION: UMTS .....</b>	<b>27</b>
<b>III.1. Evolution du GSM à l'UMTS .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2. Méthode d'accès de l'UMTS .....</b>	<b>27</b>
III.2.1. Mode FDD.....	27
III.2.2. Mode TDD.....	28
<b>III.3. Architecture du réseau UMTS.....</b>	<b>28</b>
III.3.1. Réseau cœur (Core Network) .....	28
III.3.2. Equipement utilisateur (UE) .....	28
III.3.3. Réseau d'accès UTRAN .....	28
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE III : BROUILLAGE DES SYSTEMES RADIOELECTRIQUES.....</b>	<b>30</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>30</b>

<b>I. BROUILLAGE .....</b>	<b>30</b>
<b>I.1. Bruit .....</b>	<b>30</b>
I.1.1. Bruit thermique .....	31
I.1.2. Bruit de grenaille .....	31
I.1.3. Bruit additif de basse fréquence.....	31
<b>I.2. Interférence : .....</b>	<b>31</b>
I.2.1. Interférences inter-symboles.....	31
I.2.2. Interférence canal adjacent.....	32
I.2.3. Interférence Co-canal .....	32
<b>I. SOURCES DE BROUILLAGES .....</b>	<b>33</b>
<b>II.1. Sources de bruit.....</b>	<b>33</b>
<b>II.2. Sources des interférences .....</b>	<b>33</b>
II.2.1. Intermodulation.....	33
II.2.2. Emission.....	33
II.2.2.1. Bruit de l'émetteur : rayonnement hors bande .....	34
II.2.2.2. Rayonnements non essentiels.....	34
1. Rayonnement parasite .....	34
2. Rayonnement harmonique .....	34
3. Intermodulation de l'émetteur .....	34
II.2.3. Réception.....	34
II.2.3.1. Désensibilisation.....	34
II.2.3.2. Réponse parasité du récepteur .....	35
II.2.3.3. Intermodulation du récepteur.....	35
<b>II. RESOLUTION DU PROBLEME D'INTERFERENCE.....</b>	<b>35</b>
<b>III.1. Isolation entre les systèmes radioélectriques.....</b>	<b>35</b>
III.1.1. Eléments d'isolation .....	35
III.1.1.1. Feeder.....	35
III.1.1.2. Filtres passe bande .....	35
III.1.1.3. Antennes relais.....	36
1. Directivité.....	37
2. Tilt .....	38
3. Azimut .....	38
III.1.1.4. Propagation en espace libre .....	38
III.1.2. Calcul d'isolation.....	39
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSION DE LA PARTIE I.....</b>	<b>41</b>
<b>INTRODUCTION DE LA PARTIE II.....</b>	<b>42</b>
<b>PARTIE II : ETUDE DES CAS : COHABITATION ENTRE LES SYSTEMES RADIOELECTRIQUES.....</b>	<b>42</b>

<b>CHAPITRE I : COHABITATION ENTRE LES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES CDMA800 &amp; GSM900.....</b>	<b>43</b>
INTRODUCTION .....	43
<b>I. INTERFERENCES ENTRE L'ÉMISSION DE LA BTS CDMA ET LA RECEPTION DE BTS GSM.....</b>	<b>45</b>
<b>II. EMISSIONS HORS BANDE DE L'ÉMETTEUR CDMA : .....</b>	<b>48</b>
II.1. Effet de l'émission hors bande CDMA sur le récepteur GSM.....	48
II.2. Diminution d'effet des émissions hors bande.....	48
<b>III. INTERMODULATION DANS L'ÉMISSION DE CDMA .....</b>	<b>50</b>
III.1. Effet des produits d'intermodulation du CDMA sur le récepteur GSM.....	50
III.2. Affaiblissement d'effet d'intermodulation .....	50
<b>IV. DESENSIBILISATION DU RECEPTEUR GSM .....</b>	<b>52</b>
IV.1. Effet de l'émission CDMA sur la sensibilité du GSM.....	52
IV.2. Résolution du problème de désensibilisation.....	52
<b>V. INTERMODULATION DU RECEPTEUR GSM .....</b>	<b>54</b>
V.1. Effet des produits d'intermodulation du récepteur GSM.....	54
V.2. Réduction de l'effet des produits d'intermodulation au niveau du récepteur GSM .....	54
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>55</b>
<b>CHAPITRE II : COHABITATION ENTRE LES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES GSM1800 &amp; UMTS.....</b>	<b>57</b>
INTRODUCTION .....	57
<b>I. INTERFERENCE ENTRE L'ÉMISSION DE LA BTS DU GSM1800 ET LA RECEPTION DU NODE-B DE WCDMA .....</b>	<b>58</b>
II.1. Effet de l'émission non essentielle .....	58
II.1.1. Sensibilité de l'UMTS .....	58
II.1.2. Dégradation de la sensibilité. ....	60
II.1.3. Interférence dans le Node-B de l'UMTS .....	61
II.2. Isolation entre la BTS de GSM1800 et le Node-B de l'UMTS .....	61
II.2.1. Puissance du signal non essentiel.....	61
II.2.2. Atténuation apportée par les feeders .....	61
II.2.3. Amplification des antennes .....	61
II.2.4. Facteur de correction de la bande passante.....	62
II.2.5. Niveau d'interférence acceptable.....	63
II.2.6. Calcul de l'isolation requise .....	63

CONCLUSION .....	64
<b>CHAPITRE III : COHABITATION ENTRE DEUX SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES</b>	
<b>GSM900 .....</b>	<b>66</b>
INTRODUCTION .....	66
<b>I. INTERMODULATION DANS LES ÉMISSIONS DES STATIONS DE BASE GSM.....</b>	<b>67</b>
I.1. Effet d'intermodulation sur la réception des stations mobiles : .....	67
I.2. Atténuation d'effet d'intermodulation .....	67
<b>II. INTERFÉRENCE CANAL ADJACENT .....</b>	<b>67</b>
II.1. Impact du problème canal adjacent .....	67
II.2. Atténuation de l'effet d'Interférence Canal adjacent .....	69
CONCLUSION .....	69
<b>CHAPITRE IV : EFFET DES INTERFÉRENCES EXTERNES SUR CDMA.....</b>	<b>70</b>
INTRODUCTION .....	70
<b>I. EFFET DES INTERFÉRENCES EXTERNES SUR LA COUVERTURE DE LA LIAISON MONTANTE .....</b>	<b>70</b>
I.1. Couverture du réseau CDMA .....	70
I.2. Effet des interférences externes.....	71
<b>II. EFFET DES INTERFÉRENCES EXTERNES SUR LA CAPACITÉ DE LA CELLULE DE LA LIAISON INVERSE.....</b>	<b>73</b>
II.1. Capacité de la cellule de la liaison inverse .....	73
II.2. Relation entre la capacité et la charge .....	74
II.3.Effet des interférences externes.....	74
CONCLUSION .....	75
CONCLUSION DE LA PARTIE II.....	76
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>77</b>
<b>GLOSSAIRE.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCE .....</b>	<b>84</b>

## TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Ensemble des cellules.....</i>	19
<i>Figure 2 : Un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).....</i>	19
<i>Figure 3 : Répartition des ressources en FDMA.....</i>	20
<i>Figure 4 : Répartition des ressources en TDMA.....</i>	21
<i>Figure 5 : Répartition des ressources en CDMA .....</i>	21
<i>Figure 6 : Etalement par séquence directe .....</i>	22
<i>Figure 7 : Mobile en conversation sur le time-slot 1.....</i>	25
<i>Figure 8 : Architecture du réseau GSM.....</i>	25
<i>Figure 9: Architecture du réseau UMTS.....</i>	29
<i>Figure 10 : Détection d'un signal au dessus du seuil de bruit.....</i>	30
<i>Figure 11: Interférences inter-symboles ;(<math>I', I'', I'''</math> constituent les répliques du signal <math>I</math>).....</i>	32
<i>Figure 12 : Interférence sur canal adjacent.....</i>	32
<i>Figure 13 : Interférence Co-canal.....</i>	32
<i>Figure 14: Le 3<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> ordre du produit d'intermodulation de deux fréquences <math>F_1</math> et <math>F_2</math>.....</i>	33
<i>Figure 15: Filtre passe bande .....</i>	36
<i>Figure 16: Antenne relais .....</i>	36
<i>Figure 17: Directivité des antennes.....</i>	37
<i>Figure 18: Représentation du Tilt .....</i>	38
<i>Figure 19 : Représentation des azimuts.....</i>	38
<i>Figure 20: Propagation en espace libre .....</i>	39
<i>Figure 21: Isolation disponible entre l'émetteur et le récepteur.....</i>	40
<i>Figure 22: Les bandes fréquentielles du CDMA .....</i>	43
<i>Figure 23: Les bandes fréquentielles du GSM .....</i>	44
<i>Figure 24 : Bande de garde entre la réception du mobile CDMA et l'émission du mobile GSM.....</i>	45
<i>Figure 25 : Chevauchement de la bande de réception du mobile CDMA avec celle d'émission du mobile GSM.....</i>	45
<i>Figure 26 : Conditions requises de coexistence entre CDMA et GSM.....</i>	46
<i>Figure 27 : Position et séparation des antennes .....</i>	47
<i>Figure 28 : Gains typiques du découplage vertical des antennes .....</i>	47
<i>Figure 29 : Filtre passe bande d'une atténuation de 56dB.....</i>	49
<i>Figure 30 : Niveau du signal d'intermodulation.....</i>	50
<i>Figure 31 : Affectation des porteuses du CDMA et GSM dans les bandes 800/900MHz.....</i>	56
<i>Figure 32: Les bandes de fréquences interférentes .....</i>	58
<i>Figure 33 : Gain du traitement ou Processing Gain .....</i>	59
<i>Figure 34: Isolation entre les antennes en vue directe .....</i>	62
<i>Figure 35 : Exemple de la bande passante du signal affecté .....</i>	62
<i>Figure 36: Perturbation de la station de base par l'émission du terminal mobile.....</i>	68
<i>Figure 37 : (A) couverture avec interférences externes (B) couverture sans interférences externes ....</i>	73

# **PARTIE I**

# **ETAT DE L'ART**

## **Introduction de la partie I**

**Cette partie présente l'Etat de l'Art du projet, elle a pour objectif de traiter les concepts généraux qui vont servir dans l'étude de cohabitation entre les technologies.**

**Cette partie comporte trois chapitres :**

- **Présentation de l'ANRT ;**
- **Concepts généraux des réseaux cellulaires et les technologies GSM et UMTS ;**
- **Brouillage des systèmes radioélectriques.**

---

# CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE L'ANRT

---

## Introduction

Ce chapitre permet de donner une prise de vue sur l'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT) où le stage a été effectué.

Depuis sa création en février 1998, l'ANRT œuvre pour l'émergence et le développement du secteur des télécommunications dans notre pays.

Au cœur de l'écosystème d'un secteur crucial pour le développement du Royaume, l'ANRT doit en particulier veiller à préserver les conditions d'une concurrence saine et loyale entre les intervenants du secteur, au service de l'intérêt général. La mission de l'Agence est guidée par la conviction que seule une régulation transparente et efficace peut favoriser l'émergence d'un environnement propice au développement harmonieux du secteur.

L'ANRT est un établissement public institué auprès du Premier Ministre, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière.

## I. Missions de l'ANRT

Pour permettre à l'ANRT de jouer son rôle de régulation de façon optimale, le législateur lui a attribué un champ d'intervention qui recouvre des aspects **juridiques**, **économiques** et **techniques**.

### I.1. Mission juridique

L'ANRT contribue à l'élaboration du cadre juridique qui régit le secteur télécommunications, en participant à la préparation de projets de lois, de décrets et d'arrêtés ministériels.

Elle est aussi chargée de conduire les procédures d'instruction et d'attribution des licences, par la voie d'appels à la concurrence.

C'est également l'ANRT qui réceptionne les déclarations préalables et octroie les autorisations d'exercice des activités de télécommunications.

Enfin, l'Agence élabore et met en œuvre les procédures de certification électronique et de gestion du domaine Internet «.ma».

### I.2. Mission économique

L'ANRT est au cœur de la régulation économique du secteur des télécommunications. En effet, c'est l'Agence qui approuve les offres techniques et tarifaires d'interconnexion soumises par les opérateurs. Elle propose également les tarifs maxima des prestations liées au Service Universel.

Par ailleurs, l'ANRT veille au respect des règles d'une concurrence loyale dans le secteur, et intervient pour résoudre les litiges qui s'y rapportent. La résolution des litiges liés à l'interconnexion entre les opérateurs de télécommunication fait aussi partie de ses attributions.

Enfin, l'Agence effectue une mission de veille pour le compte de l'Etat, auquel elle rend compte du développement du secteur des technologies de l'Information.

### **I.3. Mission technique**

Sur le plan technique, l'ANRT établit les spécifications et les règles administratives d'agrément des installations radioélectriques et des équipements terminaux destinés à être raccordés à un réseau public de télécommunications.

Elle gère également les ressources rares du secteur des télécommunications : le spectre des fréquences radioélectriques et les ressources en numérotation.

Enfin, elle assure le suivi de l'usage du spectre des fréquences pour le compte de l'Etat.

## **II. Organisation de l'ANRT**

Depuis la création de l'ANRT, plusieurs réformes ont été introduites pour améliorer sa gouvernance et préserver une gestion transparente et efficace de l'Agence. L'organisation de l'ANRT s'appuie aujourd'hui sur trois organes principaux :

### **II.1. Conseil d'Administration**

Présidé par le Premier Ministre, le Conseil d'Administration est l'organe suprême de l'ANRT. Il détermine les orientations générales de l'ANRT, établit son programme annuel d'activité, fixe son budget et supervise son exécution.

Le Conseil d'Administration peut décider de la création de tout comité dont il fixe la composition et les modalités de fonctionnement et auquel il peut déléguer une partie de ses pouvoirs.

### **II.2. Comité de Gestion**

Il est chargé de régler, par ses délibérations les questions pour lesquelles il a reçu délégation du Conseil d'Administration et notamment celles relatives au règlement des litiges liés à l'interconnexion.

### **II.3. Directeur Général**

Le Directeur Général assure l'administration de l'Agence. Quatre directions opérationnelles lui sont rattachées : la Direction de la Concurrence et du Suivi des Opérateurs, la Direction Technique, le Secrétariat Général et l'Institut National des Postes et Télécommunications.

## **III. Division contrôle technique**

Mon stage est effectué dans **la direction technique** et précisément au sein du **service contrôle technique** qui est chargé de gérer les équipements de contrôle et créer des procédures bien précises pour diriger les missions de contrôle sur terrain. Il assure également la certification des opérateurs radio.

Ce service a pour attribution la mesure des effets de rayonnement sur la santé et la détermination des conditions de cohabitation de plusieurs technologies sur la même infrastructure.

C'est sur ce dernier point que porte notre cohabitation entre plusieurs technologies.



## **Conclusion**

D'après ce chapitre, on peut constater que l'ANRT occupe une position importante sur le marché de télécommunication puisqu'elle sert à réglementer les communications mobiles. En outre, nous sommes arrivés à apercevoir le rôle du service de contrôle technique, où notre mission qui consiste à étudier la cohabitation entre les systèmes radioélectriques est réalisée. Pour mener cette étude, nous avons consacré le chapitre suivant à exposer des concepts généraux concernant les systèmes concernés par cette cohabitation qui sont les réseaux cellulaires et leurs technologies (GSM, UMTS et CDMA).

---

# **CHAPITRE II : CONCEPTS GÉNÉRAUX DES RÉSEAUX CELLULAIRES ET LES TECHNOLOGIES GSM&UMTS**

---

## **Introduction**

Durant ces vingt dernières années, la téléphonie mobile et précisément la téléphonie cellulaire, est apparue pour répondre aux contraintes imposées par la mobilité de l'abonné dans le réseau, par l'étendue du réseau et enfin par les ondes radios qui lui sont allouées. Elle a connue une transformation rapide et ne cesse d'évoluer sur le plan technique et applicatif.

Ces réseaux mobiles occupent, depuis leur apparition, une place importante en termes de recherche et d'investissement. Les travaux menés par les groupes de recherche ont fourni plusieurs normes dont la plus importante est la norme « Global System for Mobile Communication GSM ».

Avec plus d'un milliard d'abonnés, la norme GSM est désormais la norme cellulaire la plus répandue dans le monde. En parallèle au succès de ce réseau et avec la croissance de la demande des services de transmission de données, de nouvelles technologies qui intègrent à la fois le service voix et le service données sont apparues. Parmi ces nouvelles technologies, on cite la technologie GPRS et la technologie EDGE. Ce sont des évolutions de la norme GSM et sont basées sur son infrastructure.

Avec le 21<sup>ème</sup> siècle la troisième génération de la téléphonie mobile fait son apparition. L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est l'une des trois normes de mobiles de 3<sup>ème</sup> génération (3G) qui s'inscrit dans un contexte mondial d'interopérabilité.

Ce système a pour ambition de rassembler différentes technologies précédemment employées et optimisées. Puisque le nombre des services augmente et demandent de plus en plus de débit, l'UMTS devait évoluer vers d'autres technologies HSDPA et HSUPA.

Afin de répondre aux besoins des nombreux utilisateurs et augmenter les débits, la quatrième génération est développée. Elle présente deux normes : Le LTE (Long Term Evolution) et le WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [1].

Le monde de la téléphonie et des réseaux est aujourd'hui dynamique et n'arrête pas d'innover. La convergence des réseaux fixe et mobile ouvre des nouvelles portes au futur des télécommunications avec l'apparition de l'UMA (Unlicensed Mobile Access) et l'IMS (IP Multimedia Subsystem) [1].

Dans ce chapitre, nous présentons une description des réseaux cellulaires ainsi que les technologies GSM et UMTS.

## **I. Réseau cellulaire**

### **I.1. Concept cellulaire**

Un système de radiotéléphonie utilise une liaison radioélectrique entre le terminal portatif et le réseau téléphonique. La liaison radio entre le téléphone mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de stations de base (BTS) sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles.

Le principe du réseau cellulaire consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules, qui doivent être contiguës sur la surface couverte (voir figure 1), desservies par un relais radioélectrique (la BTS) qui permet d'établir une liaison avec le téléphone mobile dans la zone couverte, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines.

La cellule prend la forme d'un hexagone qui est la forme régulière qui ressemble le plus au cercle et que l'on peut juxtaposer sans laisser de zones vides. Toutefois, la réalité du terrain est bien différente de ce modèle théorique, notamment en zone urbaine où de nombreux obstacles empêchent une propagation linéaire.

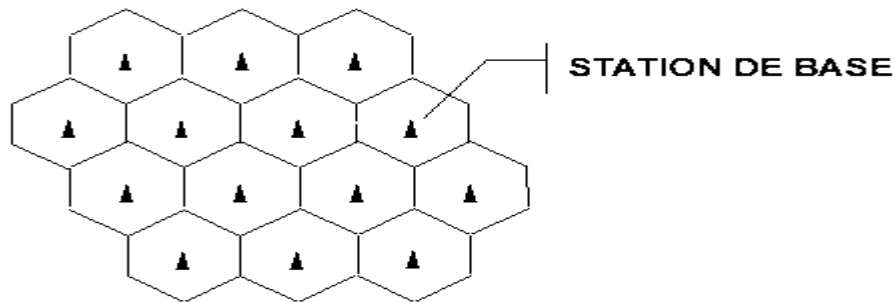


Figure 1 : Ensemble des cellules

## I.2. Réutilisation de fréquence

Les ondes radioélectriques sont aujourd'hui le moyen le plus efficace que l'on ait trouvé pour rendre possible les communications mobiles. Malheureusement, le spectre radioélectrique est une ressource limitée, déjà largement sollicitée par ailleurs. Le concept de motif cellulaire a donc été introduit pour permettre la réutilisation d'une même fréquence dans des endroits différents.

La réutilisation de fréquences permet à un opérateur de couvrir une zone géographique d'étendue illimitée en ayant recours à une bande de fréquences de largeur limitée. En effet cette méthode permet d'accepter de nombreux utilisateurs, mais elle implique de solutionner les phénomènes d'interférences, qui pénalisent fortement la qualité d'un service de transmission de voix et/ou données. Afin d'éviter qu'un niveau d'interférence trop élevé perturbe les communications, chaque bande de fréquences est réutilisée de façon à ce qu'elles soient suffisamment éloignées, Cet éloignement minimum se calcule en fonction du diamètre de chaque cellule.

Suivant cette technique la notion de motif est alors indispensable. On appelle motif ou cluster le plus petit groupe de cellules contenant une et une seule fois l'ensemble des canaux radio et ce motif est répété sur toute la surface à couvrir (Voir Figure 2).

Pour ne pas avoir d'interférences Co-canal (des cellules qui utilisent la même fréquence) il faut les éloigner d'une distance  $D$ , qui s'appelle distance de réutilisation, cette distance dépend de la taille de motif, plus la taille est grand plus  $D$  est grande. On peut déduire une simple équation entre la distance de réutilisation ( $D$ ) et la taille de motif  $D = \sqrt{3K} * R$  [2].

Où  $K$  est la taille de motif et  $R$  est le rayon de la cellule.

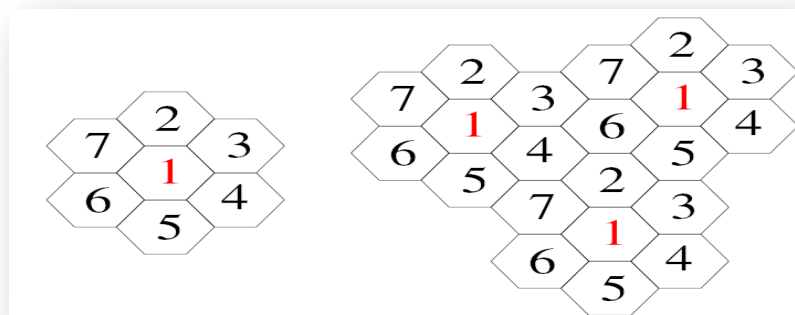


Figure 2 : Un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).

### I.3. Allocation de fréquences

Concevoir un plan de fréquences, c'est répartir les fréquences entre les différentes cellules d'un motif. On répète ensuite ce plan de fréquences à l'infini en le produisant tel quel sur tous les motifs qui vont paver un secteur géographique donné. Choisir un bon plan de fréquence n'est cependant pas une simple tâche. Lorsque des stations de base proches utilisent des fréquences voisines, des interférences apparaissent entre les communications passant par ces BTS. Il convient donc de choisir un plan de fréquences pour minimiser à priori ces interférences.

L'objectif sera donc d'assurer une demande de ressources pour les cellules de la zone de service en minimisant le nombre de fréquences utilisées et en maximisant le niveau de du rapport **signal-à-bruit (SNR)** tout en respectant les contraintes d'interférences.

### I.4. Méthodes d'accès aux systèmes cellulaires

Les communications dans les systèmes radio-mobiles utilisent une bande de fréquence allouée au système, par des organismes de régulation, dont la largeur est limitée. Cette bande de fréquence doit être utilisée de la façon la plus judicieuse possible afin d'écouler le maximum de communications. Elle est partagée en canaux qui sont alloués à la demande aux mobiles pour permettre l'échange d'informations d'un terminal mobile avec le réseau ou avec d'autres mobiles. La définition des canaux de communication dépend de la méthode d'accès multiples retenue. Les trois principales techniques d'accès multiple sont les suivantes:

#### I.4.1. FDMA (Frequency Division Multiple Access)

C'est une technique d'accès multiple à division fréquentielle, elle consiste à diviser la bande passante du support de communication en bandes de fréquences qui s'appellent **canaux radio** avec une largeur fixe. Chaque bande de fréquences est partagée en deux, une moitié est consacrée aux transmissions montantes (mobiles vers station de base) et l'autre moitié aux transmissions descendantes (station de base vers mobiles). Quand un utilisateur désire effectuer un appel, un des canaux est alors exclusivement alloué à cet utilisateur pendant toute la durée de la communication. Un canal de garde se situe entre chacun de ces canaux pour éviter les interférences des canaux adjacents (figure 3). Cette technique s'applique principalement aux signaux analogiques.

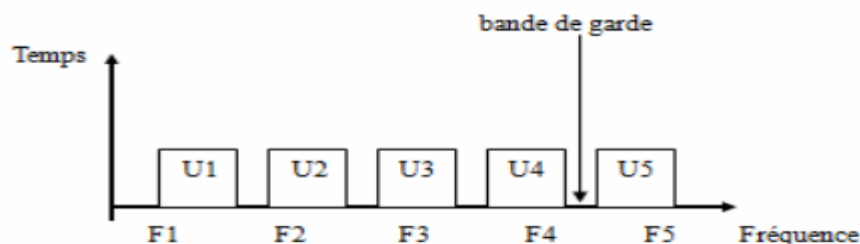


Figure 3 : Répartition des ressources en FDMA

#### I.4.2. TDMA (Time Division Multiple Access)

C'est une méthode d'accès multiples par la répartition dans le temps. Cette méthode consiste à découper le temps en intervalles de longueurs fixes ou « Slots » où l'émetteur stocke les informations avant de les transmettre. Les différents slots sont regroupés sur une trame, le système offrant ainsi plusieurs voies de communication aux différents utilisateurs.

La succession des slots dans les trames forme le canal physique de l'utilisateur. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission.

Cette technique a pour avantage de transmettre des débits d'informations plus importants qu'un système FDMA, mais entraîne une sensibilité plus importante aux interférences (un retard peut dégrader l'intervalle de temps suivant).

Cette méthode s'utilise principalement pour la transmission de signaux numériques.

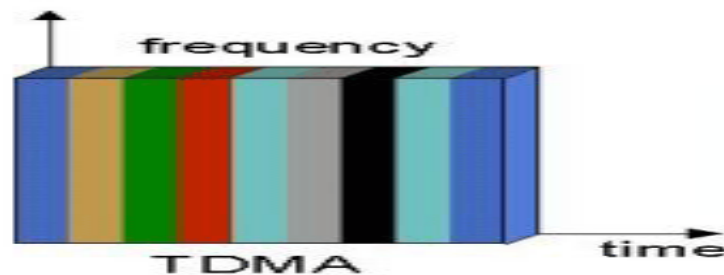


Figure 4 : Répartition des ressources en TDMA

### I.4.3.CDMA (Code Division Multiple Access)

C'est une technique de multiplexage plus récente que le TDMA et le FDMA, permettant aux utilisateurs de partager le même espace fréquentiel et transmettre sur les mêmes intervalles temporels [4], ceci veut dire qu'il y a interférence entre les différents utilisateurs, mais chaque utilisateur est reconnu grâce à un code qui lui est propre. Ce code, qui a un débit plus élevé que la donnée, a la propriété d'étaler le spectre de la donnée transmise. La récupération de l'information se fait en réalisant l'opération inverse, c'est-à-dire en décorrélant avec le code utilisateur identique. L'émission de chaque utilisateur est alors perçue par les autres utilisateurs comme un bruit.

Ce principe est généralement identifié comme une technique d'étalement de spectre.

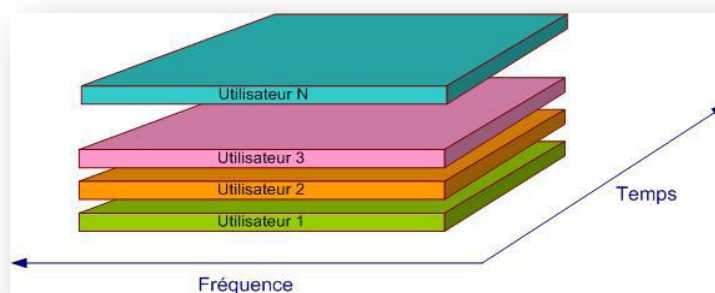


Figure 5 : Répartition des ressources en CDMA

La technique d'étalement de spectre consiste à transmettre un signal d'information avec un spectre beaucoup plus large que nécessaire. Cela peut être accompli en multipliant le signal d'information par une séquence spécifique, dite code d'étalement, qui possède un débit plusieurs fois supérieur au débit du signal original. Il existe plusieurs techniques d'étalement de spectre dont FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) et DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) que nous vous présenterons par la suite.

#### I.4.3.1. Etalement du spectre par séquence directe (DSSS)

Cette technique consiste à multiplier chaque bit d'information par une séquence pseudo-aléatoire binaire, notée PN de longueur fixe dont chaque élément constitue un «chip», de débit très supérieur à celui des données à transmettre.

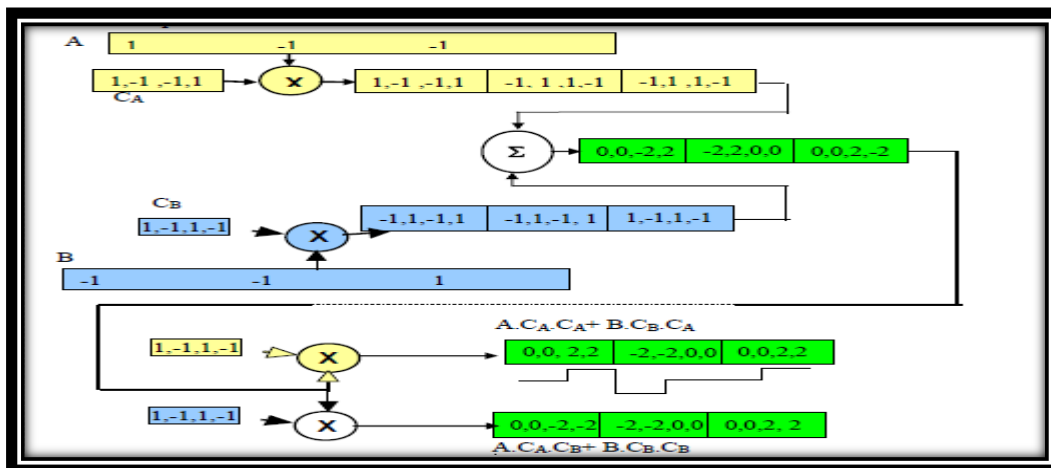
Le message A de l'émetteur A, représentée par une séquence de +1, -1 traduisant la séquence de bits 1 et 0 logiques, est multiplié par un code : une séquence de +1 et -1 (les « chips ») judicieusement choisie et dont les transitions sont m fois plus fréquentes. Idem pour un émetteur du message B : message multiplié par un code B.

Les séquences produits  $A \cdot C_A$  et  $B \cdot C_B$  sont ajoutées et transmises.

A la réception, le destinataire du message A multiplie la séquence reçue par le code  $C_A$ , idem pour le destinataire du message B.

Si les codes sont bien choisis, sur la durée d'un bit, (donc de m chips), la moyenne de  $C_A \cdot C_A$  et de  $C_B \cdot C_B$  est égale à  $m/2$ , tandis que  $C_A \cdot C_B$  a une moyenne nulle : Les codes  $C_A$  et  $C_B$  sont dits « orthogonaux » (Somme des produits des éléments correspondants [=produit scalaire]=0) [5].

**Exemple :**



**Figure 6 : Étalement par séquence directe**

### I.4.3.2. Étalement du spectre par saut de fréquence (FHSS)

L'étalement de spectre avec saut de fréquence FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) est une technique d'étalement de spectre basée sur le saut de fréquence, dans laquelle la bande est divisée en canaux ayant chacun une largeur de bande fixe. Pour transmettre des données, l'émetteur et le récepteur s'accordent sur une séquence de sauts précise qui sera effectuée sur ces sous-canaux.

Dans un système FHSS, la fréquence porteuse passe littéralement d'une fréquence porteuse à une autre suivant une séquence unique connue exclusivement par l'émetteur et le récepteur. Celle-ci est définie de manière optimale de façon à minimiser les probabilités de collision entre plusieurs transmissions simultanées. Si une station ne connaît pas la séquence de saut des canaux, elle ne peut récupérer les données, car elle ne reçoit qu'un bruit de fond [6]. De plus, cette méthode offre une forte résistance aux attaques par interférence radio.

Typiquement 2k fréquences de porteuses formant 2k canaux sont exploités.

En plus du changement de la porteuse, le mobile peut être amené à changer de la cellule en cours de communication et dans le but de maintenir le lien avec une qualité acceptable, ce changement est nommé **mécanisme du Handover**.

## I.5. Gestion de la Mobilité (Mécanisme du Handover)

Le Handover est un phénomène nécessaire à la mise en place du concept cellulaire. Il ne se produit qu'en cours de communication, lorsque le mobile franchit les limites de la cellule.

Le processus consiste à ce qu'un terminal mobile maintienne la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet lorsque le signal de transmission entre un combiné et une station de base s'affaiblit, le système du combiné trouve une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui est capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions. Ce mécanisme permet l'itinérance entre cellules ou opérateurs.

Le Handover est nécessaire dans trois cas:

#### **Rescue Handover**

La station mobile(MS) quitte la zone couverte par une cellule pour une autre.

#### **Confinement Handover**

La MS subirait moins d'interférences si elle changeait de cellule (les interférences sont dues en partie aux autres MS dans la cellule).

#### **Traffic Handover :**

Le nombre de MS est trop important pour la cellule, et des cellules voisines peuvent accueillir de nouvelles MS. [7]

## **I.6. Evolution du réseau cellulaire**

L'évolution des différentes générations de réseaux mobiles numériques (2G, 2.5G, 2.75G, 3G et 3.5G) a pour effet d'accroître, de façon exponentielle, le nombre d'applications et de services potentiels associés. Dans cette section, nous présenterons succinctement les différentes générations de réseaux mobiles.

### **I.6.1. Première génération 1G**

Dans les années 70/80, les premiers terminaux sans fil, les radiotéléphones analogiques, font leur apparition dans les voitures ou transporter dans des valises. Ils sont énormes, grands consommateurs d'énergie avec une couverture limitée. [8].

Les standards caractérisant cette génération sont **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), **TACS** (Total Access Communication System) et **ETACS** (Extended Total Access Communication System).

### **I.6.2. Deuxième Génération 2G**

La seconde génération sera donc numérique et utilise les deux méthodes d'accès TDMA et CDMA. Outre une meilleure qualité d'écoute, elle s'accompagne de la réduction de la taille des combinés et assure une certaine confidentialité [8].

Cette génération utilise comme standard GSM qui fonctionne sur les fréquences 900 et 1800 MHz. L'avènement des premiers réseaux de seconde génération et de terminaux portables, plus petits et légers, révolutionne l'accès à la téléphonie mobile et la vie quotidienne. Cette nouvelle manière de téléphoner devient peu à peu accessible à tous.

### **I.6.3. GPRS (General Packet Radio Service (2.5G))**

Le GPRS (General Paquet Radio Service) peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération. En termes de services offerts et de débits, Le GPRS s'inspire des usages devenus courants d'Internet.

### **I.6.4. EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution (2,75G))**

Une autre évolution de la norme GSM qui est intermédiaire entre le GPRS et l'UMTS, ses débits pourraient, en théorie, atteindre 250 kbps. Certains voient en ce standard un concurrent de l'UMTS, d'autres un complément.

### **I.6.5. Troisième Génération (3G)**

Cette technologie permet de faire transiter davantage de données et va permettre l'apparition de contenus multimédias sur les téléphones mobiles tel la visiophonie. On parlera alors plutôt de terminaux multimédias. Ainsi, en plus de ces évolutions technologiques, la troisième génération doit répondre à la notion de qualité, de variété, de capacité et de couverture.

L'UMTS représente la première norme des réseaux de la troisième génération.

Le réseau 3G utilise la technique d'accès CDMA. Quelque standard d'interface de réseau 3G sont WCDMA, cdma2000, TDCDMA.

### **I.6.6. HSDPA (3.5G)**

La technologie HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé « 3.5G » permettant d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mbits/s. La technologie HSDPA utilise la bande de fréquence 5 GHz et utilise le codage W-CDMA.

### **I.6.7. Quatrième génération (4G)**

Le réseau (4G) vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre les différentes technologies existantes. Les débits supposés sont entre 20 et 100 Mb/s à longue portée et en situation de mobilité et 1 Gb/s à courte portée vers des stations fixes [9].

Les technologies supposées comme candidates potentielles pour une validation 4G sont:

- Long Term Evolution (LTE) poussée par les Européens, avec Ericsson en tête suivi de Nokia et Siemens...
- WiMAX version 802.16m soutenu par Intel.

## **II. Réseau de la 2<sup>ème</sup> génération : GSM**

La révolution actuelle dans le domaine des télécommunications entraîne un essor considérable des réseaux mobiles.

L'acronyme GSM correspond à **G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunications. D'ailleurs, le réseau radiomobile GSM représente le premier système standardisé qui utilise une technique de transmission numérique pour le canal radio: Ce point représente une caractéristique particulière du réseau, parce que tous les systèmes radio cellulaires précédents utilisaient des techniques de transmission analogiques. Une autre caractéristique essentielle du système est le roaming (itinérance), c'est à dire la possibilité offerte à l'utilisateur mobile d'accéder aux services GSM même dans le cas où il se trouve à l'extérieur de la zone de couverture de son réseau de souscription, en tant qu'utilisateur visiteur.

La bande dédiée par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) au système GSM est de **890-915** Mhz pour le lien montant (Uplink) et de **935-960** pour le lien descendant (Downlink). Ce réseau permet bien évidemment d'effectuer des appels téléphoniques mais aussi la transmission de données jusqu'à 9600 bit/s, l'accès à un réseau à commutation de paquets, le transfert de messages courts, et tous les services supplémentaires offerts sur les réseaux modernes (renvoi d'appels, signal d'appel, groupe fermé d'usagers...).

### **II.1. Méthodes d'accès en GSM**

Pour éviter la collision entre les signaux radio issus des différents abonnés, plusieurs techniques d'accès sont possibles. Le GSM utilise la méthode d'accès FDMA : une combinaison des 2 techniques FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) et TDMA (*Time Division Multiple Access*) pour limiter les inconvénients et profiter des avantages de chaque mode. En effet, la bande spectrale est multiplexée en fréquence (FDMA) pour obtenir plusieurs canaux et chacun de ces canaux est multiplexé selon une technique temporelle (TDMA) d'ordre 8.



Lors de l'établissement d'une communication, une fréquence est allouée à l'utilisateur selon le FDMA, de même qu'un slot selon le TDMA. On peut donc avoir 8 communications simultanées sur un même canal.

Chaque porteuse est divisée en 8 time-slots. La durée d'un slot a été fixée pour le GSM à 7500 périodes du signal de référence fourni par un quartz à 13 MHz qui rythme tous les mobiles GSM :

**Tslot =  $7500/13 \text{ MHz} = 0,5769 \text{ ms}$  soit environ  $577 \mu\text{s}$**

Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8 qui constituent une trame TDMA. La durée de la trame est donc :  $\text{TTDMA} = 8 \text{ Tslot} = 4,6152 \text{ ms}$ .

Un mobile GSM en communication n'utilisera qu'un time-slot, ce qui permet de faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence de porteuse. Le signal radio émis dans un time-slot est souvent appelé **Burst**.

Les slots sont numérotés par un indice TN qui varie de 0 à 7. Un « canal physique » est donc constitué par la répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière [10].

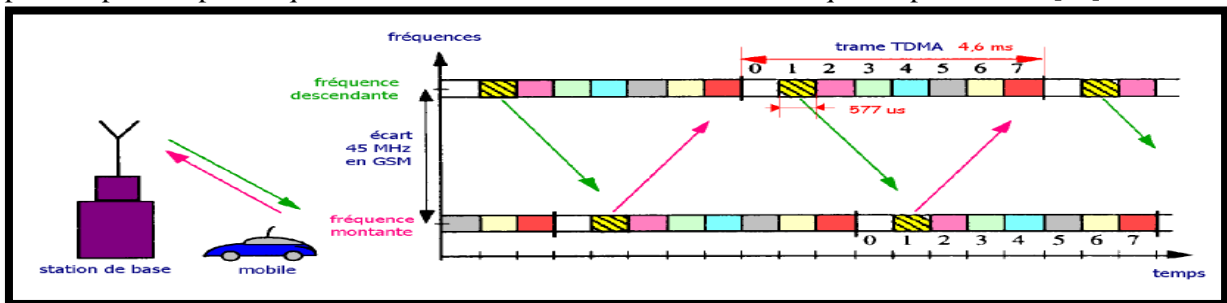


Figure 7 : Mobile en conversation sur le time-slot 1.

## II.2. Architecture du réseau GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes:

1. Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.
2. Le sous-système réseau ou d'acheminement.
3. Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

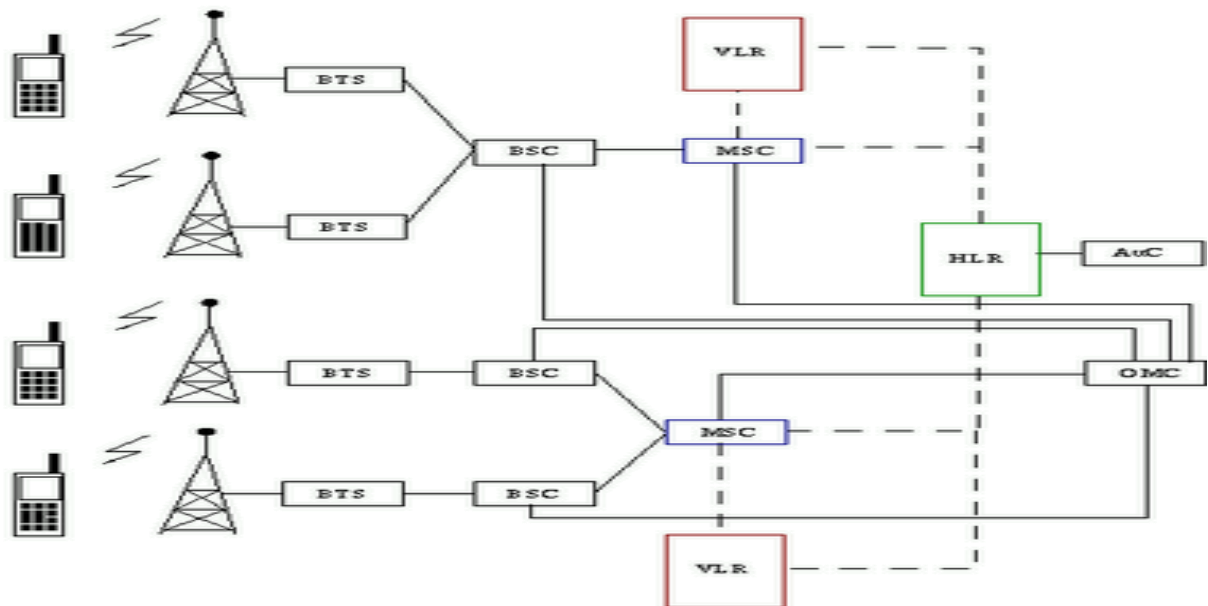


Figure 8 : Architecture du réseau GSM.

### II.2.1. Sous système radio BSS (Base Station System)

Le sous système radio gère la transmission radio. Il comprend les parties suivantes :

### **II.2.1.1. Mobile**

Le téléphone et la carte SIM (Subscriber Identity Module) sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

### **II.2.1.2. Station de base BTS (Base Tranceiver Station)**

Les BTS sont des points d'accès au réseau GSM des abonnés. Elles prennent en charge l'accès radio des mobiles dans la zone de couverture ce qui englobe les opérations de modulation, démodulation, codage correcteur d'erreur et estimation du canal. Elles diffusent les informations générales concernant la cellule et qui sont utiles aux mobiles et remontent les mesures sur la qualité de transmission dans la cellule au BSC.

### **II.2.1.3. Contrôleur de station de base BSC (Base Station Controller)**

Le BSC (Base Station Controller) est l'organe intelligent du BSS. Il gère les ressources radio des BTS qui lui sont attachées. Il réalise pour cela les procédures nécessaires à l'établissement ou au rétablissement des appels et à la libération des ressources à la fin de chaque appel, ainsi que les fonctions propres aux communications (contrôle de puissance, décision d'exécution et gestion du handover).

## **II.2.2. Le sous-système réseau (NSS)**

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes: chiffrement, authentification ou roaming.

Le NSS est constitué de:

### **II.2.2.1. Mobile Switching Center (MSC)**

C'est la partie centrale du NSS. Il prend en charge l'établissement des communications de et vers les abonnés GSM. En plus de la commutation, il gère la mobilité et les fréquences et enregistre la localisation des abonnés visiteurs (VLR).

### **II.2.2.2. Home Location Register (HLR) /Authentication Center (AuC)**

Le HLR est la base de données nominale, unique dans le réseau et utilisée pour stocker les informations des abonnés du réseau : nom, numéro, droits d'accès, données de sécurité,... et la localisation courante de l'abonné.

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Le centre d'authentification (AuC) remplit cette fonction de protection des communications.

### **II.2.2.3. Visitor Location Register (VLR)**

Ce sont les bases de données qui gèrent la mobilité des usagers : vérification des caractéristiques d'un abonné, transfert d'informations de localisation... Elle contient toutes les données des abonnés mobiles présents dans une zone géographique.

### **II.2.2.4. Equipment Identity Register (EIR)**

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré. Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau.

### II.2.2.5. Centre d'exploitation et de maintenance(OMC)

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion: la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau. Il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, ... Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

## III. Réseau de la 3<sup>ème</sup> génération: UMTS

Les systèmes mobiles de la seconde génération ont été conçus pour offrir des services de transmission de la voix et des données à faibles débits. Par contre, les systèmes de communications mobiles de troisième génération doivent offrir une large gamme de services pour les utilisateurs: communication vocale de haute qualité, transmission de données à débits variables.

L'UMTS (**Universal Mobile télécommunication System**) est la norme de troisième génération pour la transmission vocale, texte, vidéo ou multimédia numérisée. C'est une **évolution** décisive par rapport au **GSM**, mais au contraire du GSM ce sera une norme internationale unifiée, basée sur une combinaison de services fixes et radio / mobiles.

Le déficit principal pour ce système est de faire face aux demandes des utilisateurs qui sont croissantes et complexes. En utilisant les avantages du mode d'accès multiple CDMA, **le système universel de télécommunication mobile UMTS** garantira l'accès à des services allant de la simple téléphonie vocale jusqu'au multimédia à grande vitesse et de haute qualité, indépendamment de la localisation, du réseau ou du terminal utilisé [11].

L'UMTS est compatible avec tous les réseaux du monde et ne remplace pas le réseau GSM existant puisque la coexistence entre ces deux réseaux est possible.

### III.1. Evolution du GSM à l'UMTS

L'UMTS permet des améliorations substantielles par rapport au GSM, notamment :

- Elle rend possible un accès plus rapide à Internet depuis les téléphones portables, par un accroissement significatif des débits des réseaux de téléphonie mobile.
- Elle améliore la qualité des communications en tendant vers une qualité d'audition proche de celle de la téléphonie fixe.
- Elle permet de concevoir une norme compatible à l'échelle mondiale.
- Elle répond au problème croissant de saturation des réseaux GSM, notamment en grandes villes.

### III.2. Méthode d'accès de l'UMTS

La norme UMTS présente deux techniques de multiplexage sur l'interface radio : le TDD (Time Division Duplex) et le FDD (Frequency Division Duplex). D'une manière générale, le mode FDD est bien adapté à tous les types de cellules, y compris les grandes cellules, mais n'est pas très souple pour gérer des trafics asymétriques. Quant au mode TDD, il permet d'adapter le rapport de transmission montante/descendante en fonction de l'asymétrie du trafic, mais exige une synchronisation des stations de base et n'est pas bien adapté aux grandes cellules à cause du temps de garde trop important.

#### III.2.1. Mode FDD

Comme son nom l'indique, le mode FDD (Frequency Division Duplex) utilise un duplex en fréquences, dans lequel la voie montante et la voie descendante sont séparées en fréquences. Mobile et station de base communiquent en continu et simultanément dans les deux directions. La communication entre la station de base et le mobile s'établit par une technique d'étalement de spectre, qui est à la base du CDMA, W-CDMA (Wideband CDMA). Il s'agit d'une technique d'accès multiple par répartition de code utilisant une modulation par séquence directe. Le débit chip est constant : 3,84 Mchip/s.

### **III.2.2. Mode TDD**

Le mode TDD est fondé sur une méthode d'accès hybride entre le TDMA et le FDMA. La séparation entre le sens montant et le sens descendant se fait dans le temps. Certains slots de la trame — la même que celle définie dans le mode FDD — sont dédiés à la voie montante, et d'autres à la voie descendante.

Ce mode est caractérisé par la possibilité d'une allocation dissymétrique de fréquence et il est bien adapté aux cellules de petite dimension.

### **III.3. Architecture du réseau UMTS**

Le réseau UMTS repose sur une architecture flexible et modulaire. Ce réseau est composé de trois « domaines » : le domaine de l'équipement de l'utilisateur UE (User Equipment), celui du réseau d'accès radio « universel » UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) et celui du réseau cœur CN (Core Network). Chaque domaine réalise une fonction bien précise dans le réseau, tandis que des points d'échange, dénotés par Uu et Iu, servent d'interfaces permettant les échanges entre les différentes parties du réseau.

#### **III.3.1. Réseau cœur (Core Network)**

Il assure la connexion entre les différents réseaux d'accès et entre le réseau UMTS et les autres réseaux comme le réseau GSM. Il fournit le support des services de télécommunications UMTS et gère les informations de localisation des utilisateurs mobiles ainsi qu'il contrôle les services et les caractéristiques du réseau. Le réseau cœur est composé de deux domaines : le domaine à commutation de circuits **CS (Circuit Switched domain)** et le domaine à commutation de paquets **PS (Packet Switched domain)**.

##### **■ Domaine circuit**

Le domaine circuit permet de gérer les services temps réels correspondant aux conversations téléphoniques, à la vidéo-téléphonie et aux applications multimédia.

##### **■ Domaine paquet**

Permet de gérer les applications non temps réel. Il s'agit principalement de la navigation sur Internet, de la gestion des jeux en réseau de l'accès et de l'utilisation des emails. Ces applications sont tolérantes au délai.

##### **■ Eléments en commun**

Il s'agit du HLR (Home Location Register). C'est une base de données qui enregistre le profil de l'utilisateur.

#### **III.3.2. Equipement utilisateur (UE)**

L'UE contient deux parties:

L'équipement Mobile ME (Mobile Equipment) : C'est le terminal radio utilisé pour les communications à travers l'interface Uu. L'USIM (UMTS Subscriber Identity Module) : Il fournit l'identité de l'abonné, établit les algorithmes d'authentification...

#### **III.3.3. Réseau d'accès UTRAN**

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

##### **■ RNC (Radio Network Controller)**

Il contrôle les ressources radio de l'UTRAN, gère le protocole RRC (**RadioResource Control**) définissant les procédures et les messages entre le mobile et l'UTRAN.

Il est en liaison avec le réseau cœur pour les transmissions en mode paquet à travers l'interface **Iu-PS** et en mode circuit à travers l'interface **Iu-CS**. Le RNC directement relié à un Node B par l'interface **Iub**.

Le RNC permet au mobile de communiquer avec l'UTRAN via l'interface **Uu** et pour la communication entre deux RNC, ils utilisent l'interface **Iur**.

## ■ NodeB

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager.

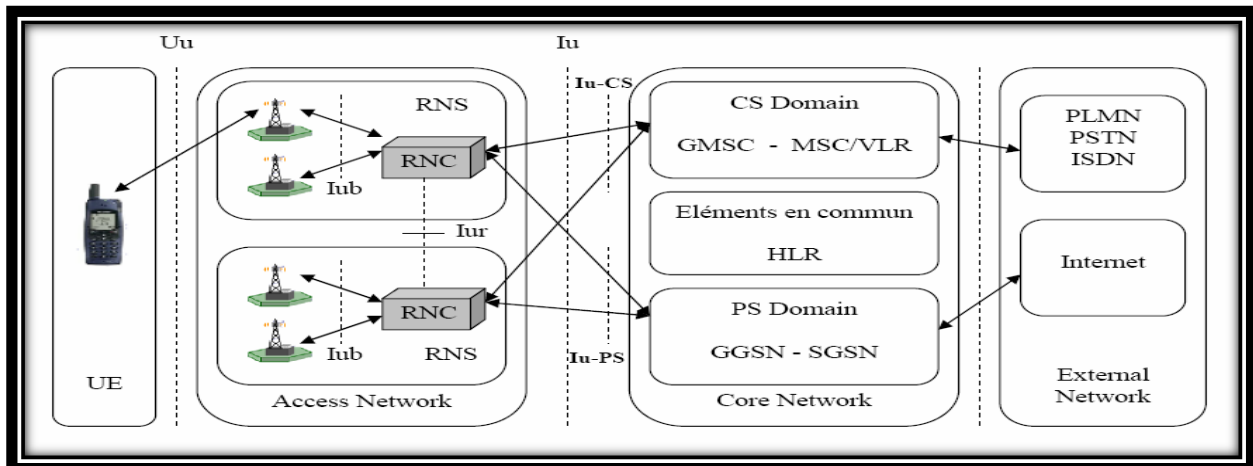


Figure 9: Architecture du réseau UMTS

## Conclusion

L'ingénierie radioélectrique d'un réseau est sans doute l'une des fonctions les plus importantes et les plus sensibles rencontrées lors du déploiement d'un système cellulaire.

Pour optimiser l'utilisation des ressources radio allouées au service mobile et permettre une densité maximale d'utilisateurs par unité de surface, il doit réutiliser les mêmes fréquences sur des sites distants. Les systèmes cellulaires étaient initialement conçus en affectant, à chaque couple émetteur/ récepteur, un canal de transmission **physique**. Afin d'augmenter, en pratique, la capacité des réseaux et d'optimiser l'utilisation des ressources fréquentielles, différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition (**TDMA, FDMA et CDMA**).

L'avantage essentiel que présentent les systèmes de communications radio-mobile par rapport aux réseaux fixes est la mobilité. Cette gestion est assurée par le mécanisme « transfert intercellulaire » ou Handover qui est chargé d'assurer la continuité du service de connexion entre le mobile et la station de base alors que l'utilisateur se déplace et maintenir la communication même lorsque le mobile change la BTS avec laquelle le terminal est relié. Cette ingénierie cellulaire a passé par plusieurs générations (1G à 4G) pour satisfaire les besoins des utilisateurs en terme de débit et performance.

La norme GSM ne cesse d'évoluer de manière à répondre aux besoins des consommateurs. Pour cette raison que la technologie UMTS est apparue, elle a un débit binaire plus élevé (jusqu'à 2 Mbps) afin de permettre la vidéoconférence et Internet à haut débit avec une station mobile.

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les concepts de base des réseaux cellulaires ainsi que les technologies GSM, CDMA et l'UMTS. Les systèmes radioélectriques utilisant ces technologies peuvent être affectés par des signaux perturbateurs provoquant par le système même ou par d'autres systèmes voisins.

Pour cette raison, le brouillage des systèmes radioélectriques sera le thème à traiter dans le chapitre suivant ainsi que les solutions convenables pour l'éviter.

---

# CHAPITRE III : BROUILLAGE DES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES

---

## Introduction

Ce chapitre a pour but de traiter certains concepts relatifs aux brouillages dans les systèmes du réseau cellulaire. Nous nous intéressons également aux concepts associés au rayonnement de l'émetteur et à la réaction du récepteur. Ce chapitre couvrira aussi les lignes directrices pour l'isolation requise entre l'émetteur et le récepteur ainsi que les méthodes de sa réalisation.

### I. Brouillage

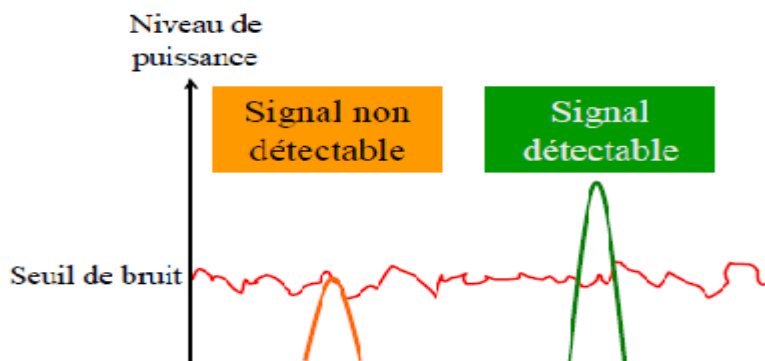
En plus des détériorations subies par le signal et dues aux phénomènes de propagation (path loss, shadowing, fading,...) s'ajoute **le brouillage**. C'est un signal parasite de puissance non négligeable, pouvant dégrader un signal utile ayant la même fréquence de fonctionnement. Son effet se traduit par la dégradation du rapport signal à bruit ou en introduisant des distorsions.

On distingue deux types de brouillage:

- **Bruit**
- **Interférence**

#### I.1. Bruit

Les signaux utiles sont souvent mêlées à du **bruit**. Le bruit est défini comme un signal parasite aléatoire, le plus souvent d'origine thermique. Tout signal de fréquence  $F$  dont l'amplitude est inférieure ou égale à celle du bruit, (on dit sous le **seuil de bruit**), à la fréquence  $F$  ne pourra être différencié du bruit par un dispositif électronique de réception. Le bruit définit donc la limite basse en amplitude permettant la détection d'un signal [13].



**Figure 10 : Détection d'un signal au dessus du seuil de bruit**

Comme les sites radioélectriques sont constitués des composants électroniques, ces derniers présentent des défauts qui dégradent le signal en lui ajoutant du **bruit**. Ce bruit est divisé en plusieurs types parmi lesquels :

- **Bruit thermique**

- Bruit de grenaille
- Bruit additif de basse fréquence

### **I.1.1. Bruit thermique**

C'est le résultat de l'agitation des électrons des conducteurs (résistances) sous l'action de la température. Il croît avec la température. La densité de puissance de ce bruit est constante avec la fréquence : ce bruit est dit "blanc".

### **I.1.2. Bruit de grenaille**

Ce type de bruit apparaît dans les dispositifs à semi-conducteurs pour lesquels le courant électrique résulte du transport individuel des porteurs de charge (électrons et trous) sous l'action d'un champ électrique.

### **I.1.3. Bruit additif de basse fréquence**

Ce bruit apparaît à basses fréquences dans des semi-conducteurs. Son origine semble être les fluctuations des taux de recombinaison en surface des paires (électrons trous) dues à la présence de défauts.

## **I.2. Interférence :**

Les interférences sont certainement l'un des problèmes les plus importants à prendre en compte dans la conception, la mise en place et l'exploitation des systèmes de communication radio. Du fait de la croissance très rapide des systèmes de communication, il devient actuellement quasiment impossible de mettre en place un système qui n'est pas concerné par ces interférences. Dans les systèmes à réutilisation des fréquences, comme les réseaux cellulaires par exemple, les interférences sont présentes de façon permanente et souvent importante (c'est le cas des environnements à forte densité de trafic).

Dans un système radio-mobile, les liens radio sont affectés par deux types d'interférences : celles qui sont dues à la réutilisation d'une même fréquence (**interférence Co-canal**) et celles qui sont dues à l'utilisation de fréquences adjacentes (**interférence canal adjacent**).

On trouve également un autre type d'interférences qui dépend de l'environnement c'est **l'interférence inter-symbole**

### **I.2.1. Interférences inter-symboles**

Dans un système numérique, particulièrement lorsqu'il fonctionne à un débit binaire élevé, la dispersion des retards (delay spread) fait que chaque symbole (ou unité d'information) chevauche le précédent et les subséquents, d'où le phénomène d'interférence inter-symboles (Intersymbole Interference, ISI) comme le montre la figure 11.

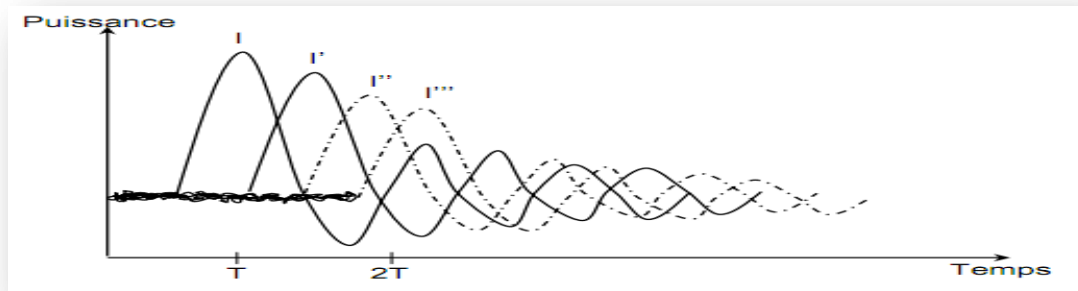


Figure 11: *Interférences inter-symboles ;( I', I'', I''' constituent les répliques du signal I).*

### I.2.2. Interférence canal adjacent

L'origine principale de l'interférence sur canal adjacent (Adjacent Channel Interférence) est l'utilisation des canaux très proches les uns des autres dans le spectre de fréquences.

L'interférence sur canal adjacent se produit de façon importante lorsque les canaux fréquentiels voisins dans le spectre des fréquences sont utilisés sur les mêmes sites ou sur des sites peu distants entre eux. Le phénomène d'interférence sur canal adjacent est représenté dans la figure 12.

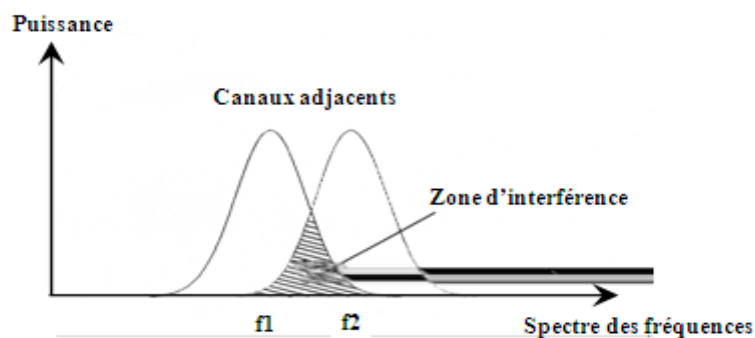


Figure 12 : *Interférence sur canal adjacent.*

### I.2.3. Interférence Co-canal

Ce sont des interférence induites par des signaux émis sur la même porteuse. Ce phénomène se produit quand un point de la zone de couverture reçoit plusieurs signaux provenant de différentes BTS et émis sur la même fréquence. Celui-ci est dû à la réutilisation des fréquences allouées par un opérateur dans des cellules voisines [13]. La figure 13 illustre ce mécanisme d'interférence.

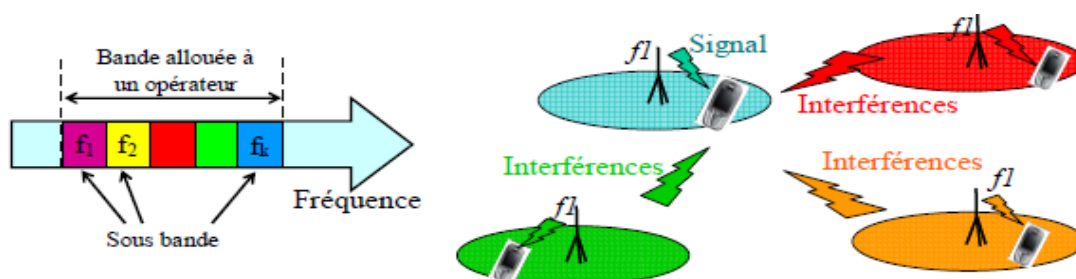


Figure 13 : *Interférence Co-canal*



# I. Sources de brouillages

Les brouillages sur les sites sont multiples et ont des sources diverses du fait du nombre important d'émetteurs fonctionnant dans diverses bandes, de leur concentration ainsi que de la qualité des installations (en particulier les antennes d'émission ou de réception et les équipements de réception) et de l'environnement. Les cohabitants doivent tenir compte de l'ensemble de ces paramètres pour disposer continuellement d'installations respectant les règles de l'art et permettre ainsi un fonctionnement normal.

Ces sources de brouillages peuvent être classées en deux catégories : sources du bruit et sources des interférences.

## II.1. Sources de bruit

On trouve deux types de sources : internes et externes. Les sources externes regroupent les conditions atmosphériques (les orages, le soleil) et le bruit d'origine artificielle provoqué par les activités humaines (moteurs électriques, éclairage, lignes électriques ...). Parmi les sources de bruits internes, on peut citer les perturbations provoquées par des commutations dans les circuits logiques, les comparateurs, les interrupteurs électriques...

## II.2. Sources des interférences

Notre étude sera focalisée sur ces sources. Les interférences sont provoquées fondamentalement par les imperfections de l'émetteur et du récepteur. Parmi ces imperfections, on trouve que **l'intermodulation** est commune entre l'émetteur et le récepteur.

### II.2.1. Intermodulation

De nombreux signaux indésirables sont produits par **la non-linéarité** des composants. Les signaux d'intermodulation font partie de ceux-là. Ils sont négligeables lorsque le composant fonctionne en linéaire mais deviennent très vite gênants lorsque l'on est proche de la saturation.

Ce phénomène d'intermodulation provoque la création de nouvelles fréquences qui apparaissent lorsqu'un signal d'entrée constituée d'une combinaison linéaire de termes sinusoïdaux de fréquences différentes  $f_i, f_j, \dots$  passe à travers **un dispositif non linéaire**. Le signal de sortie est alors composé, en plus des composantes harmoniques initiales, de termes d'intermodulation dont les fréquences sont égales à des combinaisons linéaires des fréquences initiales

$$F = m \cdot f_i \pm n \cdot f_j,$$

Ces termes constituent les **produits d'intermodulation d'ordre (n+m)**.

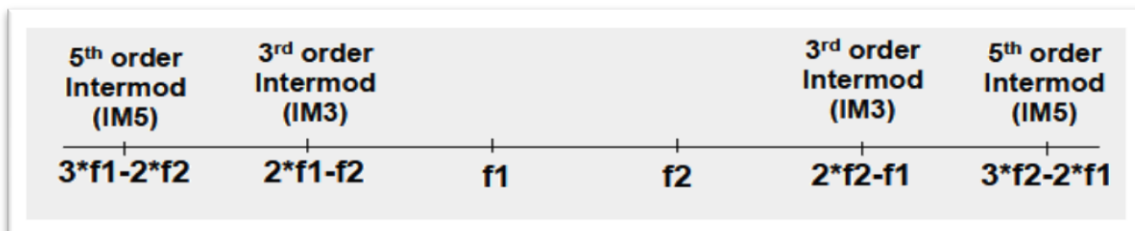


Figure 14: Le 3<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> ordre du produit d'intermodulation de deux fréquences  $F_1$  et  $F_2$ .

### II.2.2. Emission

En ce qui concerne l'émetteur, les principales causes des interférences sont **les rayonnements non essentiels**, le niveau de **bruit radioélectrique large bande de l'émetteur et l'intermodulation**.

### II.2.2.1. Bruit de l'émetteur : rayonnement hors bande

Ce bruit est dû aux émetteurs générant des rayonnements non désirés composés notamment de rayonnements hors de sa bande de fréquence attribué qui sont des émissions en dehors de la largeur de bande nécessaire mais en son voisinage immédiat.

Ce rayonnement peut tomber dans la bande passante d'un récepteur voisin et provoquer **des interférences Co-canal**.

### II.2.2.2. Rayonnements non essentiels

Ils se réfèrent généralement à toutes les émissions indésirables par un émetteur. Ce rayonnement est constitué des signaux radioélectriques qui apparaissent aux bornes de sortie du matériel d'émission, à des fréquences autres que la fréquence de porteuse spécifiée.

Ces rayonnements comprennent **les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites et l'intermodulation**.

#### 1. Rayonnement parasite

Rayonnement non essentiel produit accidentellement sur des fréquences indépendantes des fréquences porteuses ou caractéristiques d'une émission. Ce rayonnement est provoqué par des transitions des niveaux d'énergie dans les émetteurs.

#### 2. Rayonnement harmonique

Une des causes des interférences sont les harmoniques qui sont dues, en cas d'excitation par une sinusoïdale pure de fréquence  $f_0$ , à la création de composantes aux fréquences harmoniques  $k \times f_0$ , où  $k$  est un entier. Le spectre en sortie du dispositif non linéaire est enrichi en nouvelles composantes spectrales.

Si le signal d'entrée est sinusoïdal, le signal de sortie ne sera plus sinusoïdal, mais déformé.

Par exemple, on envoie à un haut-parleur un signal à 100 Hz, et il restitue non seulement celle-ci mais aussi une harmonique à 200 Hz et 300 Hz et encore d'autres fréquences plus élevées.

#### 3. Intermodulation de l'émetteur

Dans les zones où se côtoient de nombreuses antennes émettrices ou comportant un grand nombre de stations mobiles en opération, la possibilité de générer des phénomènes d'intermodulation est considérable.

Les signaux d'intermodulation sont indésirables et sont produits lorsqu'un signal issu de l'antenne d'un émetteur peut s'introduire dans l'antenne d'un autre émetteur voisin et ce même si ceux-ci n'utilisent ni la même bande de fréquence ni le même mode de transmission. Comme les émetteurs possèdent des étages de sorties ayant un fonctionnement non linéaires, ces derniers peuvent mélanger les deux signaux et produire un nouveau signal avec une nouvelle fréquence qui va perturber d'autres services.

## II.2.3. Réception

Les problèmes les plus critiques à résoudre se trouvent au niveau du récepteur. Ces problèmes sont la **désensibilisation, la réponse parasite, l'intermodulation**

### II.2.3.1. Désensibilisation

La **désensibilisation** est un phénomène, qui se produit au niveau du récepteur, dû à la présence d'un fort signal parasite, en l'occurrence le signal de l'émetteur voisin. Ceci entraîne la saturation du

récepteur et conduit à une dégradation de sa sensibilité définie comme étant le signal le plus bas que le récepteur interprète.

### II.2.3.2. Réponse parasite du récepteur

C'est une réponse radio produite par une émission indésirable dont la fréquence fondamentale, (différente de celle à laquelle le récepteur est accordé), est mélangée avec la fréquence fondamentale de l'oscillateur local du récepteur. Un nouveau signal est produit à la sortie du récepteur, différent de celui désiré. Il constitue **la réponse parasite du récepteur**.

### II.2.3.3. Intermodulation du récepteur

L'**intermodulation du récepteur** se produit lorsque deux ou plusieurs signaux présentés dans la même gamme de fréquence et mélangés dans l'amplificateur se situant à l'entrée du récepteur. Le non linéarité de cet amplificateur entraîne une production d'un signal, avec une fréquence qui se trouve dans la bande de fréquence de récepteur, interfèrent ainsi le signal désiré.

## II. Résolution du problème d'interférence

Comme mentionné ci-dessus, la cohabitation entre plusieurs technologies sur la même infrastructure peut engendrer les problèmes d'interférences. Pour les éliminer ou au moins les atténuer diverses solutions techniques sont envisageables.

Une solution pour ce genre de problème consiste à réaliser **une isolation** entre l'émetteur et le récepteur afin de rendre le niveau d'interférence dans les limites acceptables pour la planification et le déploiement du réseau mobile.

### III.1. Isolation entre les systèmes radioélectriques

L'isolation est défini par **l'atténuation des signaux interférant** entre deux systèmes radioélectriques **l'émetteur agresseur** et **le récepteur victime**. Ces deux systèmes peuvent être des stations de base ou des stations mobiles.

Cette isolation comprend les éléments : **feeders, antennes, filtres passe bande et propagation en espace libre**. Leurs combinaisons permettent un affaiblissement du signal perturbateur afin d'éviter l'impact des systèmes voisins de cet émetteur.

#### III.1.1. Eléments d'isolation

##### III.1.1.1. Feeder

Les feeders sont des câbles coaxiaux blindés qui assurent le transit des signaux ( $T_x$  &  $R_x$ ) entre les antennes et la BTS.

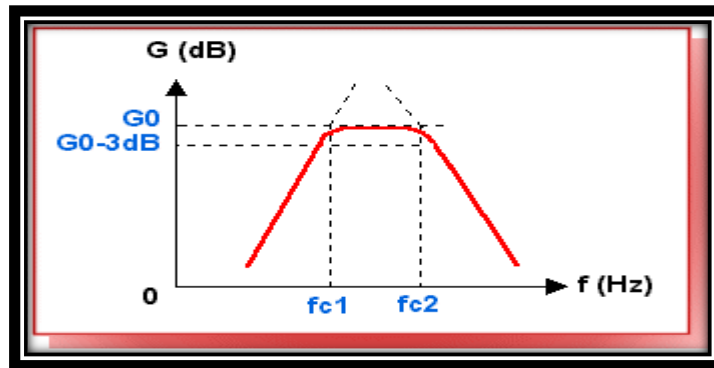
Ce feeder présente une caractéristique de perte des signaux qui le parcourent. Il est défini que pour un câble de 100 mètres, la valeur d'atténuation est entre 2 et 3dB [2].

##### III.1.1.2. Filtres passe bande

Les filtres passe-bande sont caractérisés par des zones de transmission et des bandes de blocage bien définies. Ils sont utilisés lorsqu'une isolation spectrale est nécessaire.

Un filtre passe-bande ne laisse passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre.

L'implémentation d'un filtre passe-bande peut se faire numériquement ou avec des composantes électroniques. Cette transformation a pour fonction d'atténuer les fréquences à l'extérieur de la bande passante, l'intervalle de fréquences compris entre les fréquences de coupure. Ainsi, c'est uniquement les fréquences comprises dans cet intervalle qui sont conservées intactes ou avec une faible atténuation.



**Figure 15: Filtre passe bande**

Ce filtre peut être placé à la partie d'émission ou à la partie de réception pour atténuer les signaux indésirables.

### III.1.1.3. Antennes relais



**Figure 16: Antenne relais**

Une antenne-relais (ou station de base) de téléphonie mobile est un émetteur-récepteur de signaux électrique de communication mobile qui convertit des signaux électriques en ondes électromagnétiques (et réciproquement).

L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : en assurant l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Une antenne est un dispositif réciproque :

- En émission, l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique.
- En réception, l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant.

Les antennes sont les composantes les plus visibles du réseau. On les voit un peu partout, souvent sur de hauts pylônes, sur des toits d'immeubles, contre des murs, à l'intérieur des bâtiments. Il arrive assez souvent qu'elles soient invisibles puisque camouflées, pour des raisons esthétiques, par exemple à proximité de bâtiment classés « monuments historiques ». Ces antennes permettent de réaliser la liaison entre la MS (téléphone mobile) et la BTS.

La caractéristique la plus importante d'une antenne, appelée aussi aérien, est **la bande de fréquences supportée** ; c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir.

Les autres caractéristiques de l'antenne sont : le gain, la directivité, le tilt et l'azimut.

#### 1. Gain - Puissance

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Le gain est l'amplification que l'antenne effectue du signal d'entrée. Ce gain s'exprime en dB ou dBi et est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles.

Dans un système de communication radio la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) ( ou EIRP en anglais), est définie dans la direction de l'antenne où la puissance émise est maximale : c'est la Puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ dans cette direction.

Pour une antenne connectée directement à l'émetteur :

$$\text{PIRE [dBm]} = \text{Puissance électrique appliquée à l'antenne [dBm]} + \text{Gain de l'antenne [dBi]}$$

Pour une installation incluant le câble de liaison [14]:

$$\text{PIRE [dBm]} = \text{Puissance de transmission [dBm]} - \text{Pertes dans les câbles et connecteurs [dB]} + \text{Gain de l'antenne [dBi]}$$

## 1. Directivité

La directivité d'une antenne est sa capacité à concentrer son faisceau d'ondes émises dans une direction plus ou moins précise, selon son installation. Une antenne peut aussi être omnidirectionnelle, c'est-à-dire émettre avec la même intensité dans toutes les directions. Lors de l'utilisation pour la couverture de macro cellules, elles ressemblent à des panneaux de couleur beige ou blanche d'environ 2 m de haut, 20 cm de large et 10 cm d'épaisseur, alors que pour les micro cellules, ce sont de petits panneaux d'une vingtaine de centimètres de haut, 10 cm de large et quelques centimètres d'épaisseur. Ces antennes-panneaux sont directionnelles, car elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées. Ceci permet de limiter le champ de propagation d'une fréquence pour pouvoir ainsi la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillage. Les relais sont souvent composés de trois antennes-panneaux orientées à environ 120° l'une de l'autre.

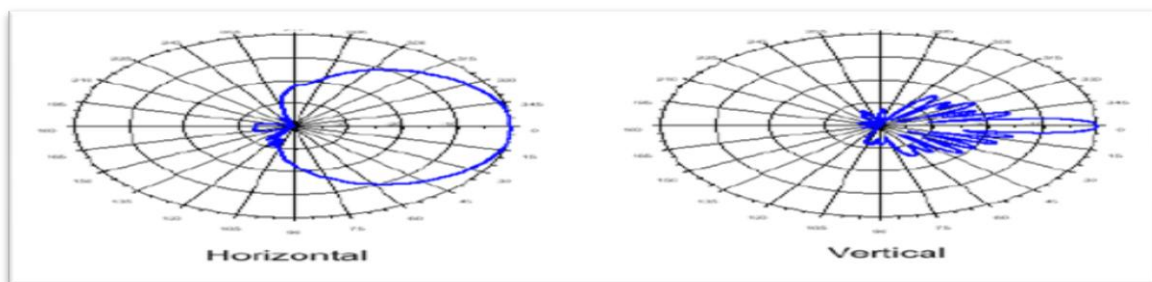


Figure 17: *Directivité des antennes*

On peut constater à partir d'un plan horizontal que l'antenne-panneau émet à forte puissance vers l'avant et avec une puissance faible derrière elle. On remarque à partir du plan vertical, que l'antenne émet avec une puissance faible au dessus et au dessous, mais avec une puissance beaucoup plus importante devant elle.

## 2. Tilt

Le tilt est utilisé pour diriger le faisceau de l'antenne vers le haut (tilt positif) ou, plus souvent, vers le bas (Tilt négatif).

Tout comme l'azimut, le tilt (ou down-tilt) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical.



*Antenne directionnelle avec tilt positif*



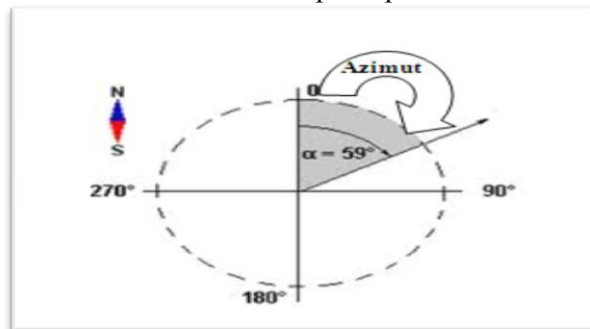
*Antenne directionnelle avec tilt négatif*

**Figure 18: Représentation du Tilt**

## 3. Azimut

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante est dirigée dans l'azimut établi.

L'angle d'azimut correspond à l'orientation du lobe principal de l'antenne dans le plan horizontal.

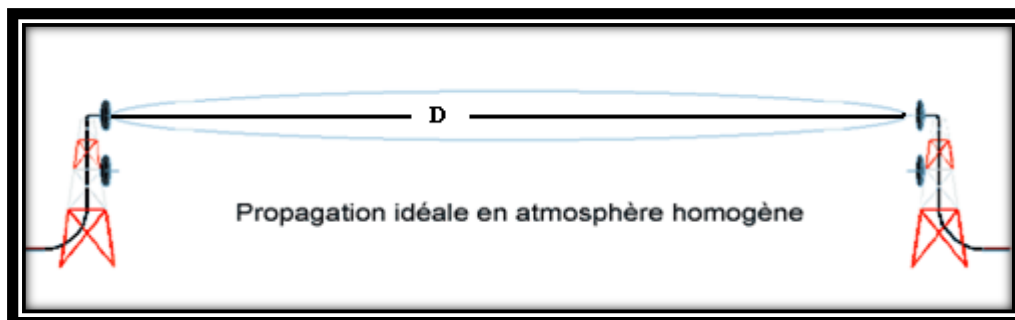


**Figure 19 : Représentation des azimuts**

Les opérateurs utilisent une station de base avec trois antennes sectorielles et chaque antenne directionnelle est responsable d'une zone à couvrir : c'est ce qu'on appelle **la sectorisation**. Cette méthode permet d'augmenter la valeur des abonnés connectés à cet opérateur [15].

### I.1.1.4. Propagation en espace libre

Une transmission est considérée en espace libre lorsqu'il y a une visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. C'est une zone précise, appelée le premier **ellipsoïde de Fresnel**, autour de la ligne directe entre l'émetteur et le récepteur qui est dégagée (sans obstacle). Ainsi tout obstacle se trouvant à l'extérieur de cet ellipsoïde n'aura pratiquement aucune influence sur l'onde directe reçue par l'antenne de réception. Par contre, si des obstacles sont présents à l'intérieur de cet espace, ils provoqueront une atténuation supplémentaire par rapport à la propagation en espace libre.



**Figure 20: Propagation en espace libre**

La majorité de la puissance d'un signal radio sera perdue dans l'air libre. La déperdition en espace libre (FSL en anglais) mesure la perte de puissance dans l'espace libre sans aucun obstacle. L'importance des pertes dans l'espace libre dépend de la fréquence et répond à cette formule simplifiée [16] :

$$FSL = 32,4 + 20 \log_{10} F + 20 \log_{10} D$$

Avec F: la fréquence exprimée en Mhz

D : la distance entre l'émetteur et le récepteur, exprimée en Km.

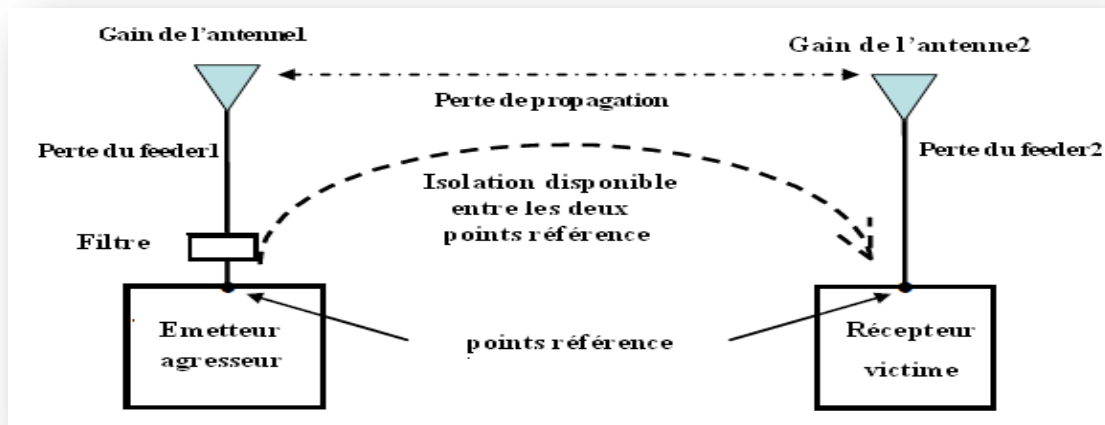
### III.1.2. Calcul d'isolation

Comme indiqué, l'isolation consiste à diminuer la gravité des interférences produites entre l'émetteur attaquant et le récepteur victime. Elle prend en considération l'atténuation apportée par les feeders des deux systèmes, le filtre placé au niveau de l'émetteur, la propagation dans l'espace libre en plus des gains des antennes.

Cette isolation disponible est calculée à partir de la formule suivante [16]:

$$\text{Isolation disponible} = \text{perte du feeder1} - \text{gain de l'antenne1} + \text{perte de propagation} + \text{perte du feeder2} - \text{gain de l'antenne2}$$

L'isolation disponible peut être schématisée selon la figure suivante :



**Figure 21 : Isolation disponible entre l'émetteur et le récepteur**

Lorsque les feeders reliant les antennes aux stations de base, l'atténuation apportée par ces feeders peut être négligée et par conséquent la valeur de l'isolation devient :

$$\text{Isolation} = \text{perte de propagation} - \text{gain de l'antenne1 et 2}$$

Pour les pertes de propagation, ils peuvent être estimés aux pertes de l'espace libre lorsque la distance parcourue dépasse 10 mètres.

Comme les filtres jouent un rôle important dans l'atténuation de l'effet des interférences, leurs choix dépendent de la bande passante, l'atténuation désirée et le coût [13].

## Conclusion

Ce chapitre a traité les différents types de brouillage qui peuvent être produits entre les sites radioélectriques, leurs sources d'apparition ainsi que les solutions adéquates pour les éliminer.

Ces brouillages sont répartis en deux catégories : les bruits et les interférences. Mon étude sera focalisée sur les interférences existantes entre les sites radioélectriques et notamment les interférences Co-canal et les interférences canal adjacents. Cependant les interférences inter-symboles qui sont dues aux réflexions que subit le signal dans l'environnement, n'ont pas été traitées par cette étude du moment où celle-ci s'est intéressée à explorer les interférences créées par les sites et non pas celles dues à l'environnement.

Ces problèmes sont les résultats de plusieurs défauts se situant au niveau de l'émetteur ou du récepteur et il est primordial de réaliser une isolation capable de les atténuer d'une manière efficace.



## **Conclusion de la partie I**

**Dans cette partie, nous sommes arrivés à comprendre la position que l'ANRT occupe dans le marché de télécommunication ainsi que le fonctionnement des systèmes cellulaires et les problèmes d'interférences qu'ils confrontent. Cette partie participe à la réalisation de la deuxième partie qui représente une étude détaillée des cas de cohabitation entre les systèmes cellulaires.**

# **PARTIE II**

## **ETUDE DES CAS : Cohabitation entre les systèmes radioélectriques**

### **Introduction de la partie II**

Cette partie va présenter une étude approfondie des cas de cohabitation entre les systèmes radioélectriques utilisant la même ou des différentes technologies. Cette étude s'intéresse à trouver les différents problèmes provoqués par cette cohabitation afin de chercher les techniques efficaces qui éliminent leurs effets.

Cette partie contient quatre chapitres :

- ✓ Cohabitation entre deux systèmes radioélectriques CDMA800 et GSM900.
- ✓ Cohabitation entre deux systèmes radioélectriques GSM1800 et UMTS.
- ✓ Cohabitation entre deux systèmes radioélectriques GSM900.
- ✓ Effet des interférences externes sur la technologie CDMA.

---

# CHAPITRE I : COHABITATION ENTRE LES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES CDMA800 & GSM900

---

## Introduction

Dans un grand nombre de pays et au Maroc également, les deux technologies de la 2<sup>ème</sup> génération utilisées sont la CDMA 800MHz et le GSM 900MHz. Ce chapitre a pour objectif d'analyser la cohabitation entre ces deux technologies puisqu'elle représente une préoccupation majeure en raison des interférences qui dégradent la qualité de communication de chacune de ces technologies.

Avant de déterminer ces interférences et les résoudre, nous donneront un aperçu sur les bandes de fréquences du CDMA800 et GSM900 au Maroc.

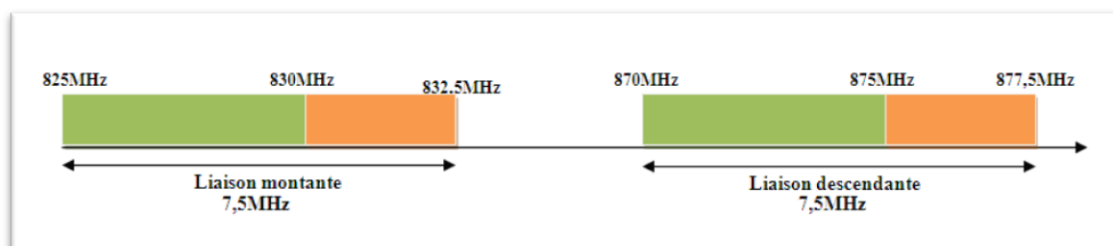
### ❖ CDMA800

Au Maroc, la CDMA800 une technologie utilisée que par l'opérateur **INWI** est caractérisée par deux bandes fréquences de largeur 7,5MHz et espacées entre eux par une bande de **37,5MHz**:

- 825 – 932,5 MHz voies Montantes (Uplink), (Direction MS vers BS)
- 870 – 877,5 MHz voies descendantes (Downlink), (Direction BS vers MS)

Ces deux bandes sont disponibles à **RABAT** et **CASABLANCA** mais à l'extérieur, les deux bandes utilisées sont :

- 825 – 830 MHz (uplink) et 870 – 875 MHz (dowlink).



**Figure 22 : Les bandes fréquentielles du CDMA**

Cette technologie est caractérisée par canal de largeur **1,23 MHz**. Elle offre **six canaux** pour les villes Rabat et Casablanca et **quatre canaux** ailleurs.

### ❖ GSM900

Avant 2010, les bandes de fréquences utilisées avaient une largeur de 25 MHz et étaient réparties comme suit :

- **890 – 914,8MHz** voie Montante (Uplink), (Direction **MS** vers **BS**)
- **935 – 959,8MHz** voie descendante (Downlink), (Direction **BS** vers **MS**).

Ces bandes étaient partagées entre les deux opérateurs **MAROC TELECOM** et **MEDITEL** de la manière suivante :

- Les bandes **890-904,4 MHz** (liaison montante) et **935-949,4MHz** (liaison descendante) sont attribuées à **MAROC TELECOM**

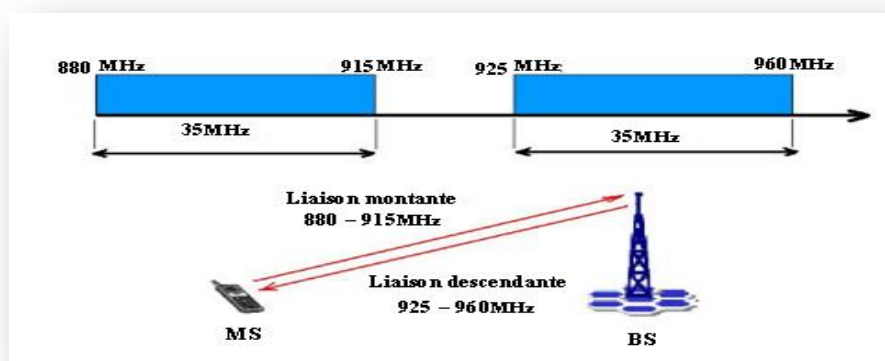
- Les bandes **905-914MHz** (liaison montante) et **950-959,8 MHz** (liaison descendante) sont attribuée à **MEDITEL**.

L'arrivée à partir de **Mars 2010** du nouvel opérateur '**INWI**' sur le marché de télécommunication a obligé l'**ANRT** l'agence de régulation à étendre la largeur du spectre de **25MHz** à **35MHz** puisque le spectre disponible était épuisé. Ceci a introduit une nouvelle notion de GSM qui est **EGSM (EXTENDED GSM)**.

Cette extension a accordé à **INWI** l'utilisation de la bande de fréquence de [880 890] MHz pour la liaison montante et [925-935] MHz pour la liaison descendante.

La nouvelle bande de fréquence sur laquelle opère le GSM devient alors :

- **880 – 915MHz** voie Montante (Uplink), (Direction MS vers BS).
- **925 – 960MHz** voie descendante (Downland), (Direction BS vers MS).



**Figure 23 : Les bandes fréquentielles du GSM**

En outre, ces deux bandes ont été séparées par **10 MHz**. Sur une bande, on émet des signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui coïncide avec le centre de la bande.

Les deux bandes de **35MHz** sont divisées en 175 paires de canaux duplex avec un espacement de 200 KHz (bande passante) entre les fréquences porteuses. Ce nouveau nombre de canaux est obtenu par le système **EGSM** qui a ajouté 50 canaux aux 124 canaux déjà existants en GSM.

Cela revient pour la voie montante, à la différence  $915-880 = 35$  MHz ou 35000 KHz; et donc à chaque saut de 200 KHz on change de porteuse le long de la bande 35 MHz.

Le même nombre de porteuses pour la voie descendante.

#### ❖ **Interférence entre CDMA800 et GSM900**

Les interférences qui peuvent être provoqués par la cohabitation entre ces deux technologies sont divisées en deux catégories :

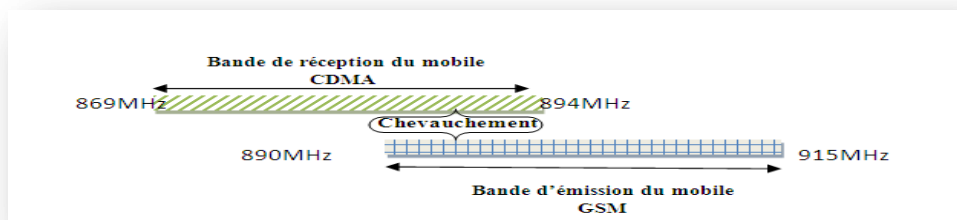
- **Interférences entre les stations mobiles :**

Ce problème ne se pose pas au niveau du Maroc puisque la bande de fréquence de l'émission des terminaux **GSM (880-914,8 MHz)** et la bande de fréquence de réception des terminaux **CDMA (870-877,5 MHz)** sont séparées par une bande de garde **2.5MHz** qui largement suffisante pour éviter les chevauchement entre les signaux des terminaux mobiles utilisant ces deux technologies (voir figure ci-dessous). C'est pour cette raison que ce genre d'interférence ne serait pas étudié.



**Figure 24 : Bande de garde entre la réception du mobile CDMA et l'émission du mobile GSM**

Pour certains pays notamment ceux de l'ASIE, le cas des interférences causées par les émissions des terminaux GSM pourraient avoir un impact sur la réception des terminaux CDMA en raison de chevauchement entre ces deux technologies (voir figure 25 ci-dessous).



**Figure 25 : Chevauchement de la bande de réception du mobile CDMA avec celle d'émission du mobile GSM.**

En plus, ce problème n'est pas contrôlable car les mobiles sont caractérisés par un mouvement aléatoire, ce qui rend impossible d'analyser son effet et trouver la solution convenable.

En conséquence il ne serait pertinent de traiter que le problème des **interférences entre les stations de base**

## **I. Interférences entre l'émission de la BTS CDMA et la réception de BTS GSM**

Ce problème est intéressant à étudier, en raison de l'existence de deux ou plusieurs stations de base situées à proximité et utilisant des technologies différentes. Ceci se traduit par un inconvénient majeur sur les mobiles connectés à ces stations de base puisqu'il dégrade la qualité de communication. Pour éviter ces interférences d'une manière générale, il faut que le niveau des signaux perturbateurs soit inférieur au niveau acceptable par le récepteur GSM pour ne pas provoquer son blocage.

L'objectif de notre étude est de déterminer les interférences entre CDMA800 et GSM900 et les atténuer sans que cela occasionne un supplément de coût pour faire fonctionner en harmonie ces deux technologies.

Les problèmes majeurs provoqués par la cohabitation entre les sites CDMA et GSM sont répartis en quatre catégories où chacune va être traitée soigneusement par la suite :

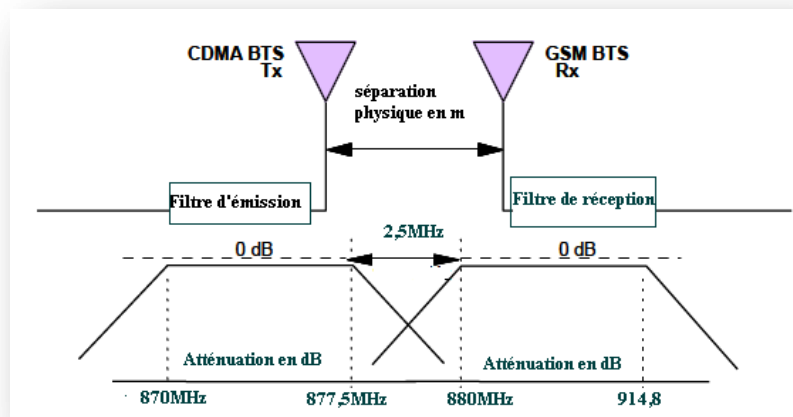
- Emissions hors bande de l'émetteur CDMA
- Intermodulation de l'émetteur CDMA.
- Désensibilisation du récepteur GSM.
- Intermodulation dans le récepteur GSM.

Chaque interférence peut être atténuée en combinant ces trois solutions :

- Ajouter un filtre en émission
- Ajouter un filtre en réception
- Bande de garde entre les bandes de fréquences du CDMA et GSM
- Séparation physique des antennes des BTS

Concernant la bande de garde, elle est définie à **1,32MHz** mais pour le cas du Maroc cette bande est déjà réalisée puisque la limite supérieure de la bande du CDMA est 877,5MHz et la bande du GSM commence à 880MHz. En effet, les deux bandes sont séparées par 2,5MHz qui est supérieure à la limite définie.

Ces solutions déjà citées peuvent être regroupées dans le schéma suivant :

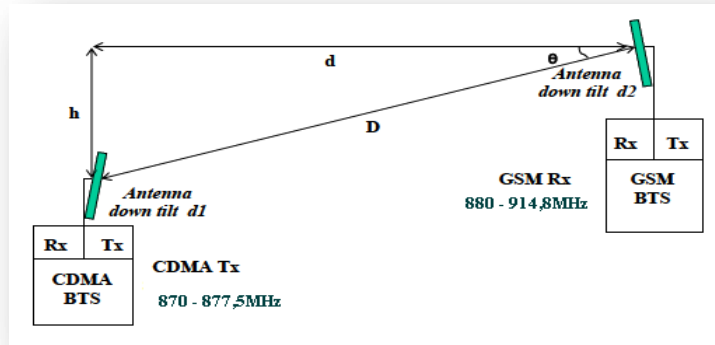


**Figure 26 : Conditions requises de coexistence entre CDMA et GSM**

Comme les antennes jouent un rôle important dans la réalisation de l'isolation et ils introduisent une amplification des signaux, il est nécessaire de préciser l'effet produit sur cette isolation en cas de leurs découplages.

Cet effet est visualisé à partir des gains qui dépendent de type des antennes, les tilts et la distance de séparation entre elles.

On peut schématiser cet effet à partir de la figure suivante :



**Figure 27 : Position et séparation des antennes**

D'après cette figure, on peut définir les équations suivantes :

- ✚  $D = \sqrt{d^2 + h^2}$  : cette équation détermine la distance qui sépare les deux antennes.
- ✚ Angle  $\theta$  constitue l'angle de séparation calculée à partir de cette relation:  $\theta = \text{Arctan}\left(\frac{h}{d}\right)$ .

En considérant les séparations des antennes et leurs tilts, les valeurs des gains sont définis à partir le tableau déterminé ci-dessous.

Pour le gain de l'antenne d'émission, l'angle à prendre en considération est définie à  $\theta_1 = (\theta + d_1)$ . Pour celle de réception, l'angle est  $\theta_2 = (\theta - d_2)$  avec  $d_1$  et  $d_2$  représentant les tilts des antennes 1 et 2 respectivement [16].

Angle in Degrees	Gain in dBi
0.0	17.0
2.5	13.5
5.0	11.0
7.5	3.5
10	-3.5
12.5	-5.0
15.0 and above	-7.5

**Figure 28 : Gains typiques du découplage vertical des antennes**

D'après ce tableau, plus l'angle  $\theta_1$  ou  $\theta_2$  (constitué de l'angle de séparation entre les antennes  $\theta$  et le tilt  $d_1$  ou  $d_2$ ) augmente, le gain diminue.

On peut remarquer que si la séparation verticale (h) et la séparation horizontale augmente, l'angle de séparation croît. En plus de cette croissance, si la valeur du tilt s'élève, le gain qui contribue à la réalisation de l'isolation diminue et par conséquent la valeur de l'isolation est devenue moins importante que dans le cas où les antennes ne sont pas découplées verticalement. Pour le traitement

qu'on va utiliser, on va considérer que le cas des antennes placées sur le même plan horizontal et non inclinées par rapport au plan vertical et par conséquent, on va utiliser la valeur du gain de 17dBi.

Concernant, l'atténuation apportée par les feeders, elle est précisée à 1dB puisque ils sont caractérisés par une hauteur de 30mètres et comme elle est déterminée pour un feeder de 100mètres introduit une perte de 3dB. Cette valeur d'atténuation va être utilisée pour tous les problèmes traités ci-dessous.

## II. Emissions hors bande de l'émetteur CDMA :

### II.1. Effet de l'émission hors bande CDMA sur le récepteur GSM

Les émissions hors bande sont des signaux issus de l'émetteur CDMA sur une ou des fréquences situées en dehors de sa largeur de la bande de fréquence mais en son voisinage. Puisque la bande du GSM est très adjacente à celle du CDMA, ces émissions peuvent coïncider avec celle de la bande de fréquence

Ces rayonnements provoquent des perturbations de la réception des signaux de GSM puisque ce dernier va recevoir des signaux sur la même fréquence mais ils viennent de deux émetteurs de différentes technologies. Ceci permet de créer des interférences Co-canal entre les deux technologies.

Ces interférences sont difficiles à atténuées au niveau du récepteur victime GSM et notamment si l'émission du CDMA dépasse 880MHz. C'est pour cette raison qu'il faut qu'elles s'atténuent en partant de l'élément perturbateur jusqu'à l'élément victime.

### II.2. Diminution d'effet des émissions hors bande

Puisque ce problème menace le bon fonctionnement du réseau GSM, il est nécessaire de trouver la solution convenable qui peut au moins atténuer sa gravité.

Puisque la bande de garde est déjà réalisée, la solution restant est de chercher l'atténuation des signaux hors bande à partir d'une technique efficace qui est mise en œuvre et qui consiste à réaliser une **isolation** entre les BTS CDMA et GSM. Cette procédure sert à réduire la puissance des signaux hors bande pour atteindre le récepteur GSM avec une puissance très faible. Elle est effectuée par les feeders, les antennes, la propagation dans l'espace et le filtre. Ce dernier est placé au niveau de l'émetteur pour introduire une atténuation de ces signaux avant d'être rayonnés en espace et devant avoir une bande passante coïncidant avec la bande de fréquence de l'émetteur CDMA qui est [870-877,5].

On peut déterminer cette isolation par l'équation suivante :

$$\text{Isolation disponible} = \text{perte du feeder1} - \text{gain de l'antenne1} + \text{perte du trajet} + \text{perte du feeder2} - \text{gain de l'antenne2} + \text{atténuation du filtre de l'émetteur}$$

Avant de déterminer cette isolation, on calcule la puissance du signal hors bande à partir de la puissance émise par CDMA de 43dBm ( $10 \cdot \log_{10}(20 \cdot 10^3)$ ) et la limite spécifiée pour ces émissions.

Cette limite est définie pour CDMA à -70dBc/30KHz et représente le rapport entre la puissance émise et cette limite, donc :

$$\begin{aligned} \text{Puissance du signal hors bande} &= \text{puissance émise du CDMA} + \text{limite des émissions hors bande} \\ &= 43 + (-70) = -27\text{dBm} \end{aligned}$$



Cette puissance va subir une atténuation de 1dB apportée par les feeders des BTS du CDMA et GSM puis une amplification par les gains des antennes qu'on les a estimés à 17dBi. Ce gain peut être diminué si on réalise un découplage vertical entre les antennes comme déjà expliqué. L'isolation comporte aussi les pertes du trajet qui engendrent une atténuation importante.

Cependant, il existe un facteur nommé **facteur de correction de la bande passante** qui permet d'enlever une quantité des signaux indésirables interférant les signaux de la bande passante du récepteur GSM. Ce facteur est calculé à partir de la bande passante du signal perturbateur et celle du signal victime selon la formule suivante [16] :

$$BWCF(\text{Band Width Correction Factor}) = 10 * \log_{10} \frac{B_i}{B_v}$$

Avec **B<sub>i</sub>** : bande passante du signal perturbateur qui est défini à 30KHz

**B<sub>v</sub>** : bande passante du signal victime qui est 200KHz.

Le calcul de ce facteur donne :

$$BWCF = 10 * \log_{10} \frac{30}{200} = -8dB$$

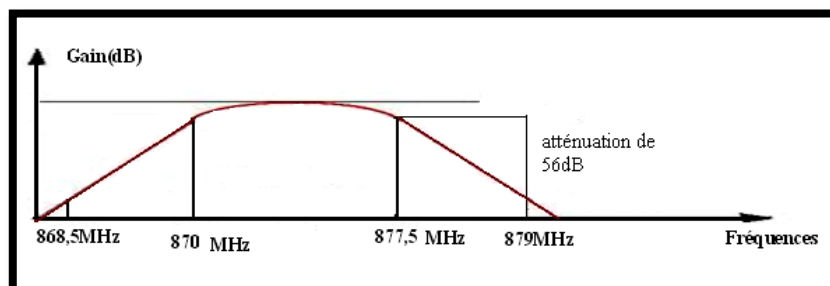
Ce facteur contribue aussi à l'atténuation du signal interférant après qu'il atteigne le récepteur GSM.

Tous ces éléments visent à atténuer le signal indésirable pour qu'il ne dépasse pas le niveau d'interférence acceptable par le récepteur GSM et qui est défini à -113dBm.

Puisque toutes de ces éléments sont définies, il nous reste qu'à calculer les pertes du trajet qui correspondent à l'isolation requise due à la séparation physiques entre les antennes CDMA et GSM à partir de l'équation suivante :

$$\text{Isolation requise (dB)} = \text{puissance du signal hors bande (-27dBm)} - \text{perte du feeder1 (1dB)} + \text{gain de l'antenne1 (17dBi)} - \text{perte du feeder2 (1dB)} + \text{gain de l'antenne2 (17dBi)} - \text{atténuation du filtre de l'émission-BWCF (-8dB)} - \text{niveau d'interférence acceptable (-113dBm)}.$$

L'isolation requise qui est capable d'arriver à la limite acceptable des interférences par la BTS GSM est définie à **70dB**. Pour l'atteindre, l'atténuation apportée par le filtre de la bande passante déjà précisée doit être dans l'environ de **56dB** à la fréquence de 879MHz.



**Figure 29 : Filtre passe bande d'une atténuation de 56dB**

En effet l'isolation requise qui reflète les pertes que subit le signal dans leurs parcours en espace libre est déterminée à **70dB**. A partir de cette perte, on peut trouver la distance nécessaire qui doit être définie entre les antennes CDMA et GSM selon l'équation suivante :

$$\text{Perte du trajet} = 32.4 + 20 \text{ Log} (f \text{ in MHz}) + 20 \text{ log} (D \text{ in Km}).$$

Avec  $f$  est la fréquence du signal indésirable qui coïncide avec une fréquence situant dans la bande du GSM, on peut prendre comme exemple 881MHz.

On trouve la distance de **86 mètres** qui est suffisante pour atténuer le signal indésirable en plus des affaiblissements dus aux conditions de l'atmosphère (réflexion par les obstacles, diffusion...).

### III. Intermodulation dans l'émission de CDMA

#### III.1. Effet des produits d'intermodulation du CDMA sur le récepteur GSM

L'intermodulation au niveau des émissions du CDMA est due au mélange des porteuses de sa bande de fréquence au niveau de la sortie de sa station de base, constituée des composants non linéaires. En effet ce mélange provoque l'apparition d'une nouvelle fréquence créée à partir d'une combinaison des fréquences porteuses présentées au niveau de l'entrée du système mélangeur.

Cette nouvelle fréquence est située en dehors de la bande de fréquence attribuée à l'émission du CDMA et peut coïncider avec les fréquences de la bande de fréquence de réception du GSM en cas de leur cohabitation. Ceci peut impacter les signaux reçus par l'antenne de réception de GSM et créer des interférences Co-canal avec le récepteur GSM.

Ces problèmes, comme les émissions hors bande, demandent une intervention des éléments d'atténuation ajoutés au niveau d'émission et de réception pour réussir à réduire l'effet risqué de ce problème.

#### III.2. Affaiblissement d'effet d'intermodulation

Comme pour le cas des émissions hors bande, la diminution de la puissance du signal d'intermodulation est réalisée par plusieurs éléments qui constituent ce qu'on appelle une isolation déjà expliquée.

Avant de calculer cette isolation, il faut d'abord préciser la puissance du signal d'intermodulation qu'on vise à l'éliminer. Pour cette raison, les vendeurs de l'infrastructure fournissent des BTS CDMA avec des équipements capables de garder ce signal indésirable en dessous de la puissance du signal utile du CDMA par 60dB [16].

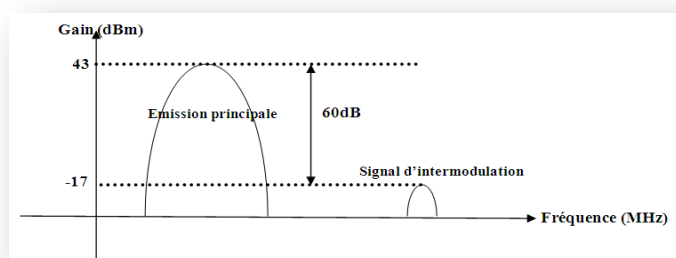


Figure 30 : Niveau du signal d'intermodulation

On peut déduire que la puissance du signal d'intermodulation ( $P_{IM}$ ) est égale à **-17dBm**.

Cette puissance trouvée subit une atténuation, comme le cas précédent, apportée par les feeders du CDMA et GSM de 1dB, le parcours du trajet et le filtre placé au niveau de l'émetteur.

En plus de ces atténuations, ce signal est amplifié par les antennes qui possèdent des gains de 17dBi puisqu'on considère le cas des antennes placées dans le même plan horizontal et non inclinées (non découplés verticalement).

Ce signal indésirable subit une atténuation due au **facteur de correction de la bande passante**. Pour ce type des problèmes, la valeur de ce facteur va changer, car la bande du signal d'intermodulation est différente du cas des émissions hors bande. Puisque la porteuse de ce signal est une combinaison de deux autres de la largeur 1,23MHz, alors cette porteuse va avoir une largeur de 1,23MHz et par conséquent la bande passante du signal d'intermodulation est **1,23MHz**. Mais pour le signal victime reste le même, c'est pour cette raison sa bande passante n'a pas changé et vaut **200KHz**.

Ce facteur est égal à la valeur suivante :

$$BWCF = 10 * \log_{10} \frac{1,23}{0,2} = 7,88dB$$

Ce facteur va enlever une quantité de 7,88dB du signal d'intermodulation de la bande passante du signal victime.

Après la détermination des atténuations et des amplifications apportées par les éléments cités en dessous, il nous reste qu'à trouver l'abaissement introduit par l'espace pour rendre le signal d'intermodulation inférieur ou égale aux niveau d'interférence acceptable par le récepteur GSM.

A partir de la formule qui détermine l'isolation disponible, on peut trouver les pertes du trajet ou autrement dit l'isolation due à la séparation physique entre les antennes CDMA et GSM comme suit :

***Isolation disponible = perte du feeder1-gain de l'antenne1+perte du trajet+perte du feeder2-gain de l'antenne2+atténuation du filtre de l'émetteur***

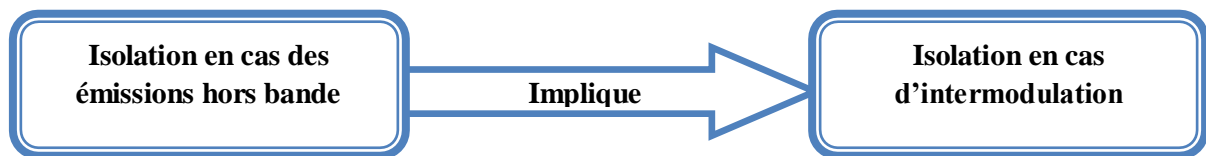
D'où l'isolation requise serait égale à :

**Isolation requise (dB)= puissance du  $P_{IM}$  (-17dBm) –perte du feeder1 (1dB) + gain de l'antenne1 (17dBi) – perte du feeder2 (1dB) + gain de l'antenne2 (17dBi) – atténuation du filtre de la réception –BWCF (8dB) – niveau d'interférence acceptable (-113dBm).**

Pour ces cas d'interférences, la valeur optimale de l'isolation requise (perte du trajet) est définie à **64dB**. Pour cette raison qu'elle est nécessaire d'ajouter au niveau de l'émetteur un filtre possédant les mêmes caractéristiques définies pour le cas des émissions hors bande.

Cette isolation requise permet de trouver la distance séparant les deux BTS CDMA et GSM en utilisant la formule (**Perte du trajet= 32.4 + 20 Log (f in MHz) + 20 log (D in Km)**) avec un exemple de fréquence 881MHz, on trouve la distance de 43mètres qui est suffisante pour décroître la puissance des signaux d'intermodulation pour qu'ils atteignent le récepteur GSM avec des faibles amplitudes.

La valeur d'isolation indispensable en cas des intermodulations est inférieure à la valeur requise pour réaliser l'isolation nécessaire dans le cas des émissions hors bande. C'est pour cette raison que lorsque la conception du réseau prend en considération l'isolation concernant les émissions hors bande, alors l'isolation pour l'intermodulation est réalisée implicitement.



## IV. Désensibilisation du récepteur GSM

### IV.1. Effet de l'émission CDMA sur la sensibilité du GSM

Chaque récepteur radioélectrique possède une spécification qui définit sa capacité à «entendre et comprendre» une certaine puissance minimale. C'est ce qui est appelé sensibilité du récepteur ou seuil du récepteur. Cette valeur représente le signal le plus bas que le récepteur peut recueillir et récupérer les informations qu'il porte.

La désensibilisation est une dégradation de la sensibilité qui est produite au niveau du récepteur et est responsable de création des interférences.

Cette désensibilisation apparaît au niveau de la station de base du GSM lorsqu'un fort signal rayonné par l'antenne d'émission de la station de base de CDMA, est présenté au niveau du récepteur GSM même si ce signal ne coïncide pas avec la bande passante de ce récepteur. Ceci peut provoquer une surcharge de son étage d'entrée.

Ce problème de dégradation de la sensibilité permet de négliger les utilisateurs connectés à la BTS du GSM avant sa cohabitation avec la BTS du CDMA. En effet leurs signaux émis ne seront pas détectés par la BTS du GSM car ils sont inférieurs à la nouvelle sensibilité. Ceci provoque une perte de la couverture du réseau GSM.

### IV.2. Résolution du problème de désensibilisation

Vue les conséquences de cette désensibilisation, il est nécessaire de protéger ce récepteur de l'apparition de ce problème en réservant **une bande de garde** entre les bandes de fréquences de ces deux technologies et réaliser **une isolation** qui consiste à atténuer le signal émis par la BTS du CDMA pour ne pas surcharger le récepteur GSM.

La bande de garde nécessaire est déjà réalisée mais n'est pas suffisante pour éviter la survenue de ce problème. C'est pourquoi, il est primordial d'ajouter une isolation, devant être disponible. Elle combine ainsi plusieurs éléments et permet l'atténuation du signal émis par la BTS du CDMA dans la direction où se trouve le récepteur GSM jusqu'à le niveau de son blocage pour qu'il ne soit pas détecté par ce récepteur.

Comme déjà mentionnée, l'isolation disponible est définie par l'équation suivante :

*Isolation disponible = perte du feeder1-gain de l'antenne1+perte du trajet+perte du feeder2-gain de l'antenne2+atténuation du filtre du récepteur*

*Isolation disponible = puissance du signal émis – niveau tolérable du blocage du GSM*

A partir de cette équation, on peut déterminer l'isolation requise qui correspond aux pertes du trajet :

*Isolation disponible = perte du feeder1-gain de l'antenne1+perte du trajet+perte du feeder2-gain de l'antenne2+atténuation du filtre du récepteur*

*Isolation disponible = puissance du signal émis – niveau tolérable du blocage du GSM*

Nous tentons de discerner la valeur de chaque élément participant à la réalisation de cette isolation requise. Nous cherchons d'abord la valeur tolérable du blocage de la BTS du récepteur GSM qui est spécifié par le 3GPP à **8dBm**. Mais la plupart des vendeurs offrent des stations de base de GSM qui tolèrent des niveaux du blocage jusqu'à **16dBm**.

La désensibilisation est due à toute la puissance émise par la station de base du CDMA qui est déterminée à 43dBm. Comme déjà cité, cette puissance va subir une atténuation de 1dB apportée par les feeders de l'émetteur CDMA et du récepteur GSM.

En plus de cette atténuation, cette puissance est amplifiée par les gains des antennes d'émission et de réception qui prennent les valeurs maximales de 17dBi dans le cas où elles sont placées sur le même plan horizontal et ne sont pas inclinées par rapport au plan vertical.

Après l'atténuation apportée par le feeder2, la puissance résultante obéit à une atténuation causée par le filtre passe bande placé au niveau du récepteur GSM.

A partir de l'équation définie ci-dessous, on peut trouver l'isolation requise entre l'antenne d'émission du CDMA et l'antenne de réception du GSM.

**Isolation requise= 43(P<sub>émise</sub>) – 16(blocage du GSM)- 1(feeder1) + 17(gain1) -1(feeder2) + 17(gain2) – atténuation du filtre de la réception.**

**Isolation requise= 43– 16 - 1 + 17 -1 + 17 – atténuation du filtre de la réception  
=59 – atténuation du filtre de la réception**

A partir de cette isolation correspondant à la perte du trajet, on peut trouver la séparation physique entre l'antenne du CDMA et l'antenne de GSM, en utilisant l'équation suivante :

**Perte du trajet= 32.4 + 20 Log (f in MHz) + 20 log (D in Km).**

Avec f : la fréquence du signal de l'émetteur qu'on peut prendre par exemple 884MHz.

On trouve D=24,18m qui est difficile à réaliser pratiquement. C'est pour cette raison que les spécialistes de QUALCOMM tolèrent une distance approximativement de 45mètres.

On peut en conclure que l'**isolation** nécessaire pour éviter la production de la **désensibilisation** est **moins importante** que celle requise pour lutter contre **les émissions non essentielles**.

## V. Intermodulation du récepteur GSM

### V.1. Effet des produits d'intermodulation du récepteur GSM

Le récepteur GSM peut créer des produits d'intermodulation, s'il reçoit des signaux forts interférents dans la même gamme de fréquence. Ces produits sont caractérisés par des fréquences proches ou à l'intérieur de la bande de fréquence du récepteur GSM. L'effet de ces produits d'intermodulation est d'affecter la bande passante de ce récepteur GSM puisqu'ils sont considérés comme des signaux interférant à ce récepteur.

Tout récepteur et notamment GSM est très sensible à ces produits qui atterrissent au niveau de sa bande de fréquence et pour cette raison, ce produit doit être atténué en réduisant une ou plusieurs de ces signaux mélangés.

### V.2. Réduction de l'effet des produits d'intermodulation au niveau du récepteur GSM

Pour lutter contre ce danger pour le récepteur GSM, il est indispensable de réserver une bande de garde entre les deux spectres de ces technologies qui est déjà définie à **1,32MHz**. Cette bande est déjà réalisée entre les bandes de fréquences du CDMA et GSM puisque la bande qui les sépare est 2,5MHz. Cependant, cette bande toute seule n'arrive pas à corriger le problème et par conséquent, l'isolation entre les antennes d'émission et de réception doit être réalisée.

Cette isolation consiste à atténuer le signal émis par la BTS du CDMA jusqu'à la limite inférieure de la production des produits d'intermodulation au niveau du récepteur GSM qui est défini à -47dBm. En supposant à nouveau, que la plupart récepteurs GSM tolèrent une puissance minimale de production de ces signaux supérieure à la limite spécifiée par 10dB ceci donne une limite de -37dBm.

Cette isolation est réalisée par les feeders qui apportent une atténuation déjà définie de 1dB, les antennes qui amplifient le signal, résultant de l'atténuation de ces feeders, par les gains définis à 17dBi, la propagation dans l'espace et l'atténuation apportée par le filtre placé au niveau de la sortie de la BTS GSM.

Etant déjà cité, l'isolation disponible qui traduit l'atténuation que subit le signal émis pour arriver à limite défini ci-dessous est déterminée à partir de l'équation suivante :

**Isolation disponible = perte du feeder1-gain de l'antenne1+perte du trajet+perte du feeder2-gain de l'antenne2+atténuation du filtre du récepteur**

**Isolation disponible = puissance du signal émis ( $T_x$ ) – niveau tolérable de création des produits d'intermodulation du récepteur( $R_xIM$ )**

A partir de cette équation, on peut trouver la valeur de l'isolation requise entre l'antenne de l'émetteur CDMA et le récepteur GSM :

**Isolation requise ( $I_{RIM}$ )=  $T_X$  (dBm) – RxIM (dBm) - perte du feeder1 (dB) + gain de l'antenne1 (dBi)- perte du feeder2 (dB) + gain de l'antenne2 (dBi) - atténuation du filtre du récepteur (dB)**

Comme les paramètres de cette équation sont définis, il reste à trouver l'atténuation que doit apporter le filtre passe bande placé au niveau du récepteur pour atteindre la valeur spécifiée par QUALCOMM à **58dB**.

**Isolation requise=  $43(P_{\text{émise}}) - (-37) (IM) - 1(\text{feeder1}) + 17(\text{gain1}) - 1(\text{feeder2}) + 17(\text{gain2}) - \text{atténuation du filtre de la réception.}$**

**Isolation requise=  $43+37- 1 + 17 -1 + 17 - \text{atténuation du filtre de la réception}$   
 $=112- \text{atténuation du filtre de la réception}$**

Pour arriver à cette valeur, nous avons ajouté un filtre au niveau du récepteur GSM avec une bande passante coïncidant avec la bande de fréquence de la voie montante du GSM qui est [880-915MHz] pour éliminer les signaux situant en dehors de cette bande. Ce filtre possède une atténuation de **54dB** à la fréquence 890MHz.

L'isolation requise qui traduit l'atténuation que subit le signal pendant son parcours dans l'espace libre pour lutter contre la production de ce phénomène est définie à **58dB**. A partir de cette isolation, on peut calculer la distance séparant entre les sites CDMA et GSM par la formule (**Perte du trajet=  $32.4 + 20 \text{ Log (f in MHz) + 20 log (D in Km)}$** ) pour une fréquence exemple de 870MHz de la bande de CDMA. On trouve une distance de 22 mètres et pour les mêmes raisons citées précédemment, la distance tolérable est de l'ordre de **45mètres**.

Comme déjà indiqué, cette isolation peut se réduire si on réalise un découplage vertical des antennes d'émissions et de réception et par conséquent la distance nécessaire entre ces antennes se trouve aussi diminuée.

On peut conclure que les produits d'intermodulation provoqués au niveau du récepteur GSM entraînent une perturbation du bon fonctionnement de ce récepteur, ce qui doit être évité par une séparation physique entre les antennes. Cette isolation à prendre en compte pour les produits d'intermodulation au niveau du récepteur GSM est trouvée moins importante que celle réalisée en cas de la désensibilisation de ce dernier.

## **Conclusion**

La proximité des bandes de fréquences des deux technologies CDMA et GSM provoque en cas de leurs cohabitations des problèmes au niveau du récepteur GSM. Ces problèmes peuvent être des signaux interférents la bande de réception du GSM ou des phénomènes de désensibilisation et d'intermodulation au niveau de ce récepteur. Ils sont dus aux émissions hors bande et non essentiels ou à toute la puissance émise par CDMA.

Cependant, les problèmes de désensibilisation et intermodulation au niveau du récepteur par les émissions hors bande et non essentiels sont négligés puisque le GSM est peu sensible à ce genre des

émissions, en plus les spécifications du blocage et de production des produits d'intermodulation sont supérieures à la puissance de ces émissions indésirables.

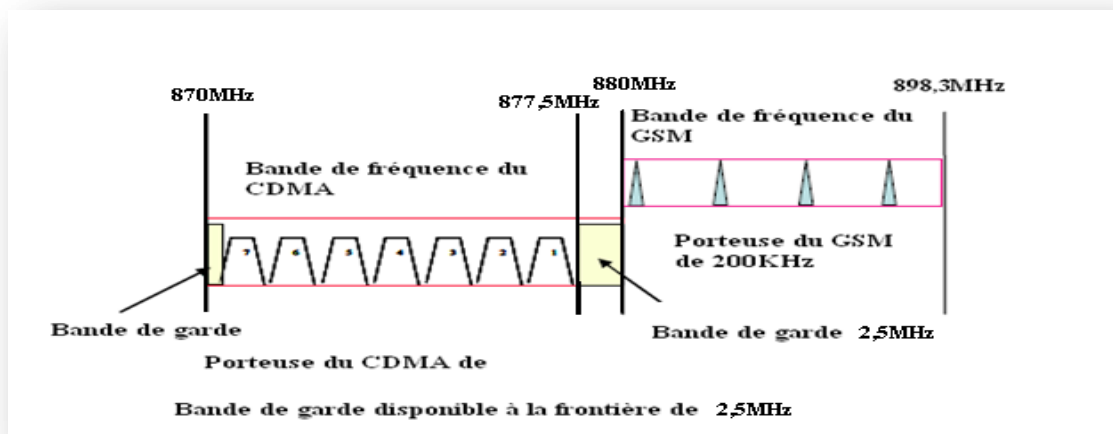
Pour ne pas empêcher le bon fonctionnement de ces deux technologies, ces problèmes pourraient être gérés à des niveaux inférieurs. Cette gestion doit être réalisée avec les éléments suivants :

- ✚ Un filtre passe bande placé au niveau de l'émetteur qui permet d'éliminer les émissions situant hors bande du CDMA avec une atténuation de 56dB.
- ✚ Un filtre passe bande avec une atténuation de 54dB au niveau du récepteur GSM pour atténuer les signaux trouvés à l'extérieur de la bande de fréquence de réception du GSM.
- ✚ Un minimum bande de garde entre les spectres de ces deux technologies de 1,32MHz, cette bande de garde est déjà réalisée au Maroc puisque la bande de séparation de ces deux technologies est 2,5MHz.
- ✚ Une isolation réalisée par une séparation physique entre les deux antennes CDMA et GSM à l'environ de 66dB.

Avec ces précautions, il est possible de déployer les deux réseaux dans la même zone avec une distance de séparation entre inférieure à 100mètres.

Plus que cette de séparation distance diminue, plus les spécifications définies pour éliminer la réception des signaux hors bande par le filtre sont améliorées.

On peut visualiser un exemple de l'affectation des porteuses dans les bandes 800MHz du CDMA et 900MHz du GSM qui aide à éviter la production de tout types des problèmes cités précédemment selon le schéma suivant :



**Figure 31 : Affectation des porteuses du CDMA et GSM dans les bandes 800/900MHz**

Ces deux bandes sont séparées par une bande de garde de 2,5MHz qui aide à éviter la production des interférences entre ces deux technologies. Cependant, comme j'ai déjà cité, pour arriver à une atténuation efficace, il est nécessaire d'ajouter l'isolation déjà définie.

Ce chapitre nous a permis d'avoir une idée sur les problèmes existants en cas de cohabitation entre CDMA800 et GSM900. Ces problèmes apparaissent fréquemment puisque les bandes de fréquences sont très proches. Le chapitre suivant sera consacré par contre aux interférences créées en cas de bandes de fréquences éloignées.



---

## CHAPITRE II : COHABITATION ENTRE LES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES GSM1800 & UMTS

---

### Introduction

Dans un nombre de pays et notamment au MAROC, la technologie de 2<sup>ème</sup> génération GSM1800 peut cohabiter avec la technologie de 3<sup>ème</sup> génération UMTS. Cependant il est indispensable de respecter les niveaux d'interférence tolérables et les bandes de garde nécessaires entre ces deux technologies pour qu'elles puissent fonctionner sans problèmes.

Avant d'évaluer les problèmes dus à la cohabitation de ces deux technologies, il est nécessaire de donner un aperçu sur leurs bandes de fréquences au Maroc.

#### ➤ GSM1800

Au début, la norme GSM était prévue d'être utilisée pour la téléphonie mobile deux bandes de fréquences aux alentours des 900 MHz:

- La bande de fréquence **880 - 915 MHz** pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).
- La bande de fréquence **935 - 960 MHz** pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Par la suite, cette technologie a été étendue à la gamme des **1800 MHz**. Le GSM 1800 qui est également appelé DCS 1800 (**Digital Communication Systems**) utilise la bande **1710-1785 MHz** pour la réception des informations par la BTS et la bande **1805- 1880 MHz** pour l'envoi des données. Il est utilisé par les trois opérateurs du Maroc.

#### ➤ UMTS

Pour la norme UMTS, elle occupe deux bandes de fréquences, autour de la fréquence **2.1GHz**, ayant une largeur de 40MHz et séparées par 150MHz :

- **1940 – 1980MHz** pour les émissions montantes.
- **2130 – 2170MHz** pour les émissions descendantes.

Cette bande de fréquence est répartie entre les opérateurs existants au Maroc comme suit :

- Wana utilise la bande **1940 – 1945MHz (uplink)/2130- 2135MHz (dowlink)**.
- Les bandes **1955-1965MHz (uplink)/2145-2150MHz (dowlink)** sont attribuées à Méditel.
- Les bandes **1970-1980MHz (uplink)/2160-2170MHz (dowlink)** sont attribuées à Maroc Telecom.

Ces opérateurs utilisant l'UMTS réservent une bande de garde égale ou supérieures de 5MHz entre leurs bandes de fréquences ce qui est largement suffisant pour éviter les interférences en cas de leurs cohabitations.

#### ➤ Cohabitation de GSM1800 et UMTS

La coexistence entre ces deux technologies peut provoquer des interférences entre la bande de la liaison **dowlink** du GSM1800 et la bande de la liaison **uplink** de l'UMTS même si ces dernières sont

séparées par une bande de garde largement suffisante (voir figure 32). Le fait de placer une station de base de GSM et un NodeB de l'UMTS sur la même infrastructure engendre automatiquement des interférences.



**Figure 32: Les bandes de fréquences interférentes**

Cette partie consiste à évaluer la possibilité de coexistence entre le GSM1800 et l'UMTS en étudiant les problèmes d'interférence produits et cherchant les solutions requises pour les éliminer ou au moins les atténuer.

Cependant le problème le plus connu en cas de cohabitation de ces deux technologies est : l'effet de l'émission de la BTS de GSM1800 sur la réception du Node-B de l'UMTS. Ce volet va être traité dans la section suivante.

## I. Interférence entre l'émission de la BTS du GSM1800 et la réception du Node-B de WCDMA

La présente section s'intéresse à étudier les sources des problèmes produits en cas de cohabitation entre ces deux technologies GSM1800 et l'UMTS et trouver les solutions adéquates.

Ces problèmes sont dus aux émissions non essentielles qui sont des signaux émis par la station de base du GSM1800 à des fréquences dans la bande du récepteur UMTS.

Pour éviter l'apparition de ces problèmes, il est nécessaire de réaliser une isolation capable d'atténuer les signaux non essentiels pour qu'ils ne soient pas détectables par le récepteur UMTS.

### II.1. Effet de l'émission non essentielle

L'émission non essentielle est le responsable majeur de la production des interférences au niveau du Node-B de l'UMTS et de la dégradation de sa sensibilité. C'est pour cette raison, qu'il faut d'abord définir la sensibilité de ce récepteur dans le cas où il n'a pas d'autres sites voisins.

#### II.1.1. Sensibilité de l'UMTS

En l'absence de tout signal issu de la source perturbatrice c'est-à-dire dans le cas où le récepteur UMTS est placé tout seul dans la zone qu'il couvre sans la partager avec d'autres stations de base, il détecte un signal non nul ayant un caractère de variable aléatoire nommé **le bruit de fond thermique (Thermal Noise Floor TNF)**, qui est dû à l'agitation des électrons au sein de ce récepteur sous l'effet de la température.

Ce bruit est calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Bruit de fond thermique} = \log k * T * B * F$$

Avec **K** : constante de Boltzmann égale à  $1.381 \times 10^{-23}$  W/Hz/°K.

**T** : la température ambiante **290°K**.

- B** : la bande passante RF égale au débit chip pour le système à étalement du spectre (pour le cas du WCDMA le débit chip est **3,84MHz**).
- F** : facteur du bruit exprimant la dégradation apportée par le récepteur, (la valeur typique pour le WCDMA est de l'ordre de **5dB**).

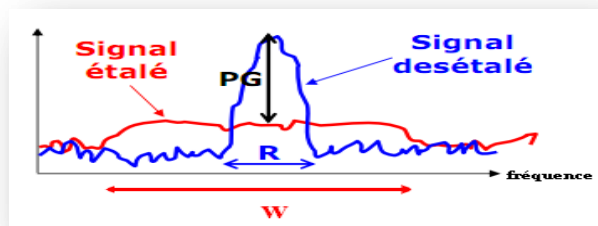
La valeur de ce bruit au niveau du Node-B du récepteur UMTS est :

$$\begin{aligned} \text{TNF (UMTS)} &= 10 * (\log_{10} kT + \log_{10} B + \log_{10} F) \\ &= 10 * (\log_{10} 1.381 * 10^{-23} * 290 + \log_{10} 3.84 * 10^6) + 5 \\ &= -133.1 \text{ dB/3.84MHz} \end{aligned}$$

$$\text{TNF (UMTS)} = -103.1 \text{ dBm/3.84MHz}$$

Le récepteur UMTS est caractérisé par une sensibilité définie par le niveau minimal du signal qu'il peut interpréter. La détermination de cette sensibilité fait appel à ce bruit TNF (déjà calculé via l'équation ci-dessus), le gain du traitement ou Processing Gain (PG) et le rapport signal-à-bruit ( $E_b/I_t$ ).

**Le gain du traitement (PG)**, utilisé pour les systèmes à étalement de spectre (WCDMA), est le rapport entre le débit du signal étalé (débit chip) et celui du signal non étendu (débit symbole) :



**Figure 33 : Gain du traitement ou Processing Gain**

Ce gain est trouvé à partir de la formule suivante :

$$\text{Processing Gain} = 10 \log (R_{BR} / R_{bit})$$

- Avec  $R_{BR}$  : débit chip de valeur 3.84Mbps.
- $R_{bit}$  : débit du signal informatif de valeur 12.2Kbps pour le WCDMA.

Le gain du traitement du WCDMA qui définit le facteur d'étalement a pour valeur:

$$\text{PG (WCDMA)} = 10 * \log_{10} \frac{3840000}{12200} = 24.9 \approx 25dB$$

**Le rapport signal-à-bruit ( $E_b/I_t$ )** ou (Signal to Noise Ratio S/N ou SNR en anglais) permet de mesurer la qualité d'un canal de transmission. C'est un nombre sans unité qui est d'autant plus grand que le bruit est négligeable. Il est défini pour WCDMA à la valeur 5dB.

D'après ces facteurs déterminés ci-dessus, on peut calculer la sensibilité du récepteur UMTS par la formule suivante [17] :

$$\text{Sensibilité du WCDMA (dBm)} = \text{TNF (dBm)} + E_b/I_t \text{ (dB)} - \text{PG (dB)}$$

La valeur de la sensibilité caractérisant le récepteur UMTS dans le cas où il ne cohabite pas avec d'autres stations de base est obtenue par le calcul suivant:

$$\text{Sensibilité du WCDMA (dBm)} = -103.1 + 5 - 25 = -123.1 \text{ dBm/3.84 MHz}$$

Cette valeur représente le minimum de puissance émise par les stations mobiles et détectables par les Node-B de l'UMTS.

### II.1.2. Dégradation de la sensibilité.

Lorsque l'UMTS est placé tout seul, sa sensibilité est égale à **-123.1dBm**, mais dans le cas de cohabitation avec l'émetteur GSM1800, le 3GPP a estimé une valeur de -115dBm comme limite du blocage du récepteur UMTS par la réception des émissions non essentielles créées par l'émetteur GSM1800.

Si la valeur de ces émissions dépasse cette limite, on aura une **désensibilisation** ou **blocage** de ce récepteur cela veut dire que sa sensibilité connaît une faible dégradation.

La dégradation devient importante lorsque ces émissions atteignent la limite maximale tolérable des interférences qui est inférieure par 7dB de la valeur du bruit de fond thermique.

Elle peut être calculée à partir de la formule suivante [16]:

$$\text{Dégradation de la sensibilité du récepteur} = 10 * \log_{10} \left( 1 + 10^{\left\{ \frac{I_{rx} - \text{TNF}}{10} \right\}} \right)$$

Avec **I<sub>rx</sub>** : Niveau tolérable des interférences à -110dBm.

**TNF** : le bruit du fond thermique de -103.1dBm.

**La valeur de cette dégradation est 0.8dB**

Dans le cas de cohabitation du GSM1800 et UMTS, le champ appliqué par la BTS du GSM1800 sur la Node-B de l'UMTS provoque une augmentation du bruit thermique qui est dû à l'agitation importante des électrons de ses composants électroniques et nous aurons par conséquent une augmentation de la sensibilité du récepteur UMTS traduite par la dégradation calculée via la formule ci-dessus.

Les signaux émis par les mobiles étaient détectés par le Node-B de l'UMTS lorsqu'il est placé tout seul dans la zone qu'il couvre. Cependant, lorsque ce récepteur UMTS cohabite avec l'émetteur GSM1800, ces signaux sont négligés puisque la nouvelle sensibilité de ce récepteur calculée ci-dessus dépasse la puissance de ces signaux négligés. Ceci conduit à une perte de la couverture de ce récepteur.

### II.1.3. Interférence dans le Node-B de l'UMTS

Si la valeur du signal non essentiel créé par l'émetteur GSM1800 dépasse la limite tolérable des interférences de -110dBm, il va être détectable par le récepteur UMTS, comme ce signal n'est pas émis par les équipements utilisateurs connectés à ce récepteur, il va créer une perturbation de la réception Node-B de l'UMTS puisque ce dernier va recevoir plusieurs signaux sur la même fréquence et par conséquent il peut résulter une destruction de la couverture de ce récepteur.

## II.2. Isolation entre la BTS de GSM1800 et le Node-B de l'UMTS

Pour diminuer la gravité de ces émissions indésirables de GSM1800 sur l'UMTS, il est indispensable de réaliser une isolation qui consiste à déterminer la valeur atténuation que doit subir ces émissions pour qu'ils n'atteignent pas le récepteur UMTS et l'affecter.

Cette isolation est effectuée par la combinaison de plusieurs éléments pour atteindre l'objectif désiré. Mais avant de déterminer ces éléments, il faut premièrement trouver la valeur du signal non essentiel qui va obéir à cette atténuation.

### II.2.1. Puissance du signal non essentiel

Pour déterminer cette isolation, il faut d'abord trouver la **puissance du signal non essentiel** créant cette interférence, cette puissance est calculée en fonction de la puissance émise par la BTS du GSM1800 de 20Watt et la valeur spécifiée à l'émission latérale.

En supposant que la limite des émissions non essentiels est définie à **-75dBc/30KHz**, elle représente le rapport entre la puissance du signal bruit et la puissance du signal utile.

A partir de cette limite, on peut trouver la puissance du signal non essentiel qu'on veut atténuer à partir de la formule suivante :

$$P_n(\text{dBm}) - P_u(\text{dbm}) = -75\text{dBc}/30\text{KHz}$$

↓  
La puissance du signal non essentiel est

$$P_n(\text{dBm}) = -75 - P_u = -75 + 43 = -32\text{dBm}$$

### II.2.2. Atténuation apportée par les feeders

Après la détermination de la puissance du signal non essentiel, ce dernier subit une atténuation apportée par le feeder qui connecte la station de base à l'antenne.

Pour le GSM1800 et l'UMTS, les feeders utilisés ont une longueur d'environ 100mètres et apportent une perte entre 2 et 3dB.

Dans le calcul de l'isolation, on prend la valeur du 3dB qui correspond à la plus grande valeur d'atténuation introduite par le feeder.

### II.2.3. Amplification des antennes

Les antennes sont caractérisées par un gain permettant d'amplifier les signaux et particulièrement les signaux non essentiels, c'est pour cette raison qu'il est nécessaire de prendre en compte ce gain dans le calcul de l'isolation.

Dans notre étude, on considère que les antennes sont placées sur le même plan vertical et ne sont pas inclinées par rapport à ce plan (**tilt est nul**) puisque c'est un cas plus critique et connu par l'importance des interférences produites. La valeur du gain que prend les antennes dans cette situation serait le gain défini pour ces antennes est de l'ordre de 18dB.

Comme déjà mentionné, les opérateurs utilisent des BTS avec trois antennes sectorielles et en cas de cohabitation entre les technologies, des problèmes d'interférences vont apparaître entre les antennes qui sont en vue directe c'est pourquoi l'isolation doit être effectuée entre ces deux antennes.

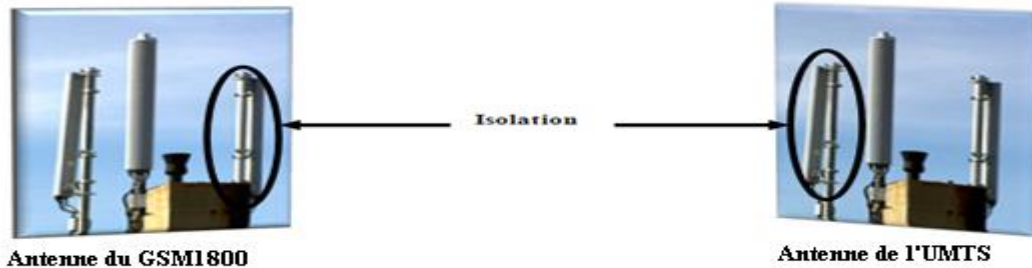


Figure 34: Isolation entre les antennes en vue directe

#### II.2.4. Facteur de correction de la bande passante

Avant de comparer le signal perturbateur atténué à la limite définie de -110dBm, il existe un autre facteur déjà défini qui permet d'éliminer une quantité de la puissance du signal perturbateur au niveau du récepteur victime, ce facteur est appelé le **facteur de correction de la bande passante**. Il est calculé à partir de cette formule :

$$BWCF = 10 * \log_{10} \frac{B_i}{B_v}$$

Avec **B<sub>i</sub>** : la bande passante du signal interférent.  
**B<sub>v</sub>** : la bande passante du signal victime.

Pour le cas de cohabitation entre GSM1800 et UMTS, la bande passante du signal créant des interférences est mesurée aux environs de  $B_i=30\text{KHz}$ . La bande passante du signal victime de l'UMTS quant à elle est à  $B_v=1,25\text{MHz}$  correspondant à un quart de la largeur du canal qui est de 5MHz. Autrement dit le signal perturbateur n'affecte pas le signal existant sur tout le canal mais uniquement le signal occupant la bande de fréquence de 1,25MHz.

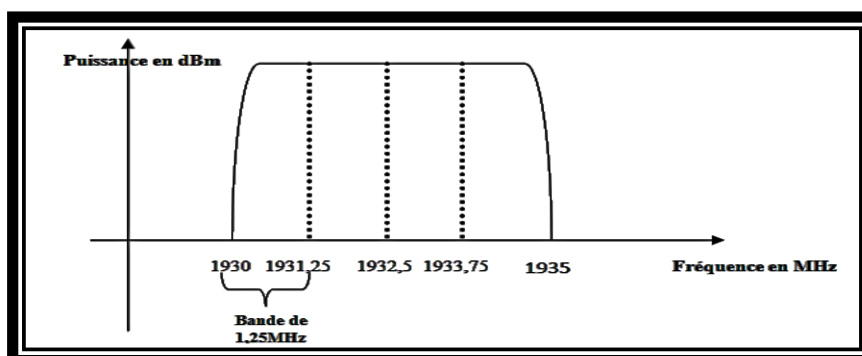


Figure 35 : Exemple de la bande passante du signal affecté

Dans ce cas, le facteur de correction de la bande passante est :

$$BWCF = 10 * \log_{10} \frac{30KHz}{1250KHz} = -16dB$$

### II.2.5. Niveau d'interférence acceptable

Après les opérations que subit le signal non essentiel dans son parcours pour atteindre le récepteur victime, le signal résultant doit être inférieur au **niveau d'interférence acceptable** par le récepteur UMTS, qui est défini par la norme à **-110dBm**, afin d'éviter les perturbations créées au niveau de ce récepteur.

### II.2.6. Calcul de l'isolation requise

Pour réussir à éliminer les perturbations dues aux signaux non essentiels, il est primordial de réaliser une isolation entre les stations de base de GSM1800 et UMTS. Celle-ci englobe les atténuations apportées par les feeders, les filtres et la propagation dans l'espace libre, en plus des gains des antennes d'émission et de réception.

Cette isolation est donnée par la formule suivante :

$$\text{Isolation disponible} = \text{perte du feeder1} - \text{gain de l'antenne1} + \text{perte du trajet} + \text{perte du feeder2} - \text{gain de l'antenne2} + \text{atténuation du filtre}$$

Etant donné que cette isolation est égale à l'atténuation que subit le signal pour qu'il ne soit pas détecté par le récepteur UMTS, on aura:

$$\text{Isolation disponible} = \text{puissance du signal non essentiel} - (\text{niveau tolérable des interférences} + \text{facteur de correction de la bande passante})$$

À partir de cette donnée, l'**isolation requise** correspondant à l'**atténuation** que subit le signal dans leur parcours en **espace libre** et aidant à déterminer la distance nécessaire séparant les antennes des sites cohabités, peut être calculée comme suit :

$$\text{Isolation requise (dB)} = \text{puissance du GSM1800} + \text{limite des émissions non essentiels} - \text{facteur de correction de la bande passante} - \text{niveau tolérable des interférences} - \text{perte du feeder1} + \text{gain de l'antenne1} - \text{perte du feeder2} + \text{gain de l'antenne2} - \text{atténuation du filtre de l'émission}$$

$$\text{Isolation requise (dB)} = 43 - 75 - (-16) - (-110) - 3 + 18 - 3 + 18 - \text{atténuation du filtre de l'émission}$$
$$\text{Isolation requise (dB)} = 124 - \text{atténuation du filtre de l'émission}$$

Il est défini que l'isolation requise pour que les signaux non essentiels n'impactent pas le récepteur UMTS est dans l'environ de **60dB**. Pour cette raison, il est indispensable d'ajouter à la sortie de la BTS du GSM1800 **un filtre passe bande** caractérisé par une atténuation de **64dB** et une bande passante de **75MHz** coïncidant avec la bande de fréquence attribuée à GSM1800 et ce pour éliminer tout signal se situant en dehors de cette bande.

**Isolation requise pour atténuer les interférences dues à l'émission non essentielle est aux alentours de 60dB**

A partir de cette valeur d'isolation, on peut trouver la distance minimale qui sépare les sites GSM1800 et UMTS par la formule suivante :

$$FSL = 32,4 + 20 \log_{10} F + 20 \log_{10} D$$

D'où

$$D = 10^{\frac{FSL - 32,4 - 20 \log_{10} F}{20}}$$

Avec **F** : la fréquence correspondant au signal non essentiel qui est en dehors de la bande du GSM1800 et dans la bande de l'UMTS.

En prenant comme exemple la fréquence 1940MHz on trouve la distance **13mètres**. Mais cette valeur représente la limite minimale théorique qui est difficile d'être réalisée en pratique. C'est pour cette raison que les spécialistes de QUALCOMM ont toléré une distance largement suffisante pour réaliser une isolation parfaite. Cette distance est définie à :

**Distance optimale est 40 mètres**

Cette valeur représente la distance optimale qui permet d'atténuer les signaux non essentiels, produites par la BTS du GSM1800, pendant leurs trajets dans l'espace libre pour ne pas impacter le récepteur UMTS voisin.

Selon la spécification de 3GPP, il est définit que le niveau tolérable des émissions non essentielles pour le blocage du Node-B du WCDMA par les émissions non essentielles est inférieure de 5dB par rapport au niveau d'interférence acceptable (**-115dBm vers -110dBm**). Cette baisse de 5dB est traduite directement en une isolation supplémentaire afin d'éviter le blocage du récepteur UMTS.

En effet, l'isolation requise assurée par une séparation physique entre les antennes pour atténuer les signaux entraînant le blocage du récepteur se situerait autour du **65dB**.

Cette isolation est nécessaire dans les cas extrêmes où les antennes sont en visibilité directe et placés sur le même plan horizontal mais s'elles subissent un découplage vertical et une inclinaison par rapport au plan vertical (Tilt négatif). Les valeurs des gains utilisées seront moins importantes et par conséquent il y aura une réduction de l'isolation requise.

Pour cette raison, l'installation des antennes en pratique doit prendre en considération le découplage vertical et les tilts afin d'éviter toute sorte de problème avec les antennes voisines.

## Conclusion

Les calculs effectués ci-dessus ont été volontairement réalisé pour les cas extrêmes où les sites ne prévoient aucune protection de ces brouillages. Mais en réalité les valeurs des émissions non essentielles sont beaucoup plus faibles que les valeurs définies par la norme puisque les stations de base du GSM1800 protègent leurs récepteurs de leurs propres émetteurs.

Similaire à la station de base du GSM1800, le niveau requis du blocage du récepteur UMTS est nettement plus élevée que la valeur définie par la norme car les Node-B de l'UMTS protègent ses récepteurs de ses émetteurs.



L'utilisation des valeurs de performances théoriques spécifiées pour les stations de base des émetteurs et récepteurs afin d'établir l'isolation permet de produire des résultats non souhaitables puisque ces valeurs de performance ne représentent pas la performance réelle de l'équipement (BTS).

D'après les calculs ci-dessus, l'isolation requise qui est déterminée aux environs de 65dB est suffisante pour atténuer les signaux non essentiels qui peuvent être des signaux parasites ou des produits d'intermodulation et éviter le blocage du récepteur UMTS. En effet, il est tout à fait possible d'atteindre cette isolation par la séparation spatiale entre les antennes de l'émetteur et du récepteur qui doivent être installées convenablement. Cette isolation de 65dB est réalisée avec un espacement de 60mètres entre les sites de GSM1800 et UMTS.

En plus des problèmes dus à la cohabitation du GSM1800 et l'UMTS, on peut trouver un autre type de problème concernant les terminaux mais ce problème qui se produit rarement est incontrôlable dû au déplacement aléatoire ces terminaux.

Si ce problème arrive ce sont les opérateurs qui sont concernés par sa résolution et non pas les agences de réglementation de télécommunication (ART) telle que l'ANRT au Maroc.

Ces deux derniers chapitres ont présentés les problèmes créés en cas de cohabitation entre deux technologies différentes. Cependant, un autre type de cohabitation sera le thème du chapitre suivant qui est dédié à traiter les problèmes créés entre la même technologie utilisée par des opérateurs situant dans des zones adjacentes.

---

## **CHAPITRE III : COHABITATION ENTRE DEUX SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES GSM900**

---

### **Introduction**

Au Maroc, la technologie de 2<sup>ème</sup> génération **GSM** est utilisée par trois opérateurs où les bandes de fréquences sont réparties de la manière suivante :

- Les bandes de fréquences **880-890 MHz/925-935MHz** utilisées par **INWI**.
- Les bandes de fréquences **890-904,4MHz/935-949,4MHz** utilisées par **MAROC TELECOM**.
- Les bandes de fréquences **905-914,8 MHz/950-959,8MHz** utilisées par **MEDITEL**.

La cohabitation entre deux opérateurs de **GSM** et notamment entre **MEDITEL** et **MAROC TELECOM** ou entre **INWI** et **MAROC TELECOM** peut provoquer **des interférences GSM-GSM** puisque leurs bandes de fréquence sont adjacentes.

Ce problème ne se pose pas pour le cas de cohabitation entre **INWI** et **MEDITEL** puisque leurs bandes de fréquences sont séparées par une bande de garde de 15MHz qui est largement suffisante pour éviter les interférences.

On distingue deux types de problèmes créés par cette cohabitation:

- ❖ Interférences créés par les émissions des stations mobiles.
- ❖ Interférences créés par les émissions des stations de base.

Les émissions indésirables des mobiles affectent la réception des stations de base en dégradant leurs sensibilités. Pour l'impact des stations mobiles, il est dû aux produits d'intermodulation créés par les signaux émis par les stations de base.

Ces problème peuvent impacter la couverture du réseau et **la qualité de service** en dégradant la capacité des opérateurs à servir ses abonnés.

Pour les pallier, les opérateurs doivent bien examiner les facteurs suivants :

- La fréquence qui sépare les fréquences affectées au deux opérateurs.
- La distance de séparation entre les stations de base.
- Les lois de zonage.

Ce chapitre a pour objectif de traiter les problèmes déjà cités en précisant leurs effets sur le fonctionnement du réseau ainsi les solutions faisables qui peuvent éliminer ou au moins réduire leurs dangers pour que les opérateurs cohabités puissent activer leurs liaisons hertziens sans créer des impacts entre eux.

# I. Intermodulation dans les émissions des stations de base GSM

## I.1. Effet d'intermodulation sur la réception des stations mobiles :

La cohabitation entre deux opérateurs différents utilisant la même technologie GSM dans des bandes adjacentes provoque des problèmes d'interférence au niveau de la réception des stations mobiles.

Ces problèmes sont dus à l'intermodulation qui est le fruit de la non-linéarité des composants. Ce phénomène est créé lorsqu'un signal provenant de l'antenne d'émission de la BTS GSM est injecté dans l'antenne réceptrice de l'autre BTS GSM voisine. Le signal injecté se mélange avec celui de la station voisine leurs étages de sorties caractérisant par un fonctionnement non linéaire.

Ce mélange produit un nouveau signal dont la fréquence nommée produit d'intermodulation est une combinaison de celles des signaux d'origine. Ce produit est fort probable de coïncider avec une fréquence de la bande de réception des stations mobiles et notamment s'il est de troisième ordre. Ceci peut conduire à une dégradation de la sensibilité des mobiles.

- **Exemple**

Prenant un exemple de création d'un produit d'intermodulation du 3<sup>ème</sup> ordre en cas de cohabitation entre INWI et MAROC TELECOM:

Avec deux fréquences : 933MHz de l'opérateur INWI et 937MHz, le produit d'intermodulation d'ordre trois peut être calculé de la façon suivante :

$IM3 = 2 \times 933 - 937 = 929 \text{ MHz}$ , cette fréquence est située dans la bande de réception des mobiles INWI, ceci entraîne une affectation de la réception de ces stations mobiles.

## I.2. Atténuation d'effet d'intermodulation

La résolution de ces problèmes n'est pas assez compliquée comme les cas précédemment traités et ne nécessite pas une intervention efficace pour lutter contre ces émissions indésirables. Ces derniers peuvent être atténués pendant la propagation dans l'espace, car les stations de base sont situées à des hauteurs importants où les mobiles ne peuvent pas se déplacer jusqu'à ce niveau, c'est pour cette raison, ils restent toujours une distance au moins de 10mètre de ces deux éléments.

En plus de cette atténuation, les stations de base sont équipées par des filtres capables d'éliminer les émissions situant en dehors de la bande associée à cet émetteur.

On peut conclure que le danger de ces problèmes sur les mobiles ne peuvent pas être contrôlés en raison de leurs mobilités, autrement dit, il est impossible d'imposer à ces mobiles de suivre un trajet défini pour éviter d'être impacté par ces signaux indésirables. Cependant, l'effet de ces problèmes reste négligeable, car le trajet parcourus est suffisant pour atténuer ces émissions de faibles puissances même si les stations de base ne sont pas munis de filtres atténuateurs.

# II. Interférence canal adjacent

## II.1. Impact du problème canal adjacent

Cette interférence produite entre deux opérateurs GSM est appelé "**Interférence Canal Adjacent**" ou "**Adjacent Channel Interference**". Il se réfère à tout signal indésirable ayant des composantes

fréquentielles qui existent au sein ou à la proximité de la bande passante de récepteur. Ce problème est produit spécialement lorsque ces deux opérateurs couvrent des zones adjacentes qui ne sont pas regroupées.

Ce signal indésirable provoque une désensibilisation des stations de base proches de ces mobiles perturbateurs.

Afin de mieux comprendre l'effet des interférences canal adjacent, on donne un exemple expliquant l'apparition de ces types des problèmes.

### Exemple du problème

Soit deux opérateurs couvrant deux zones adjacentes utilisant tous les deux la technologie GSM dans des bandes très proches.

Lorsqu'un terminal mobile de l'opérateur1 est situé loin de sa station de base, il est obligé d'émettre une forte puissance pour l'atteindre et se connecter à elle. Puisque ce terminal est situé dans la zone de l'opérateur2 et la BTS2 a une bande de fréquence adjacente de celle de réception de BTS1, cette dernière peut recevoir des signaux indésirables provenant de ce terminal correspondant aux produits d'intermodulation qui peuvent atterrir dans sa bande de réception et même le signal utile du mobile peut saturer les étages de sortie de cette BTS, ce qui permet de l'impacter car ce signal est considéré comme bruit pour elle, puisqu'il ne lui est pas destiné et par conséquent une grande quantité d'interférences est créée au niveau de la BTS2.

Ce problème affecte les performances de la liaison montante de l'opérateur2 en raison de la dégradation de la qualité de couverture de l'opérateur2 à cause du niveau important d'interférence.

En cas d'absence d'une bande de garde suffisante entre les bandes de fréquence assignées aux opérateurs non regroupés c'est-à-dire que leurs zones qu'ils couvrent sont adjacentes mais non partagées, les transmissions du mobile peut influencer un nombre de stations de base en fonction de la puissance émis par ce mobile, la direction des antennes de réception de ces stations de base victimes et la localisation des mobile dans le réseau.

On peut visualiser l'effet des interférences canal adjacents sur la figure suivante :



Figure 36: Perturbation de la station de base par l'émission du terminal mobile

## II.2. Atténuation de l'effet d'Interférence Canal adjacent

Ce problème consiste à la dégradation de la sensibilité de la BTS à cause des émissions indésirables du mobile. Ces dernières sont de très atténuées puisque le signal utile du mobile est faible. Cependant, ces émissions vont subir une décroissance pendant leurs parcours dans l'espace, mais cette atténuation n'est pas stable grâce au déplacement aléatoire des mobiles. Malgré ce déplacement, les mobiles restent à une distance déjà précisée à moins de 10 mètres des stations de base et par conséquent cette distance reste capable de réduire la puissance de ces émissions.

En plus de cette atténuation apportée par l'espace, le signal résultant obéit à une réduction par les filtres placés à la sortie des stations de base, ce qui donne un signal de puissance négligeable insuffisante pour produire une désensibilisation de stations de base. En cas de la production de ce phénomène, on peut avoir une coupure de service, augmentation due pourcentage du blocage des appels et dans les pires des cas une baisse incroyables des appels.

On peut résumer que ce problème est rarement poser puisque les atténuations apportées par le trajet même sans celles des filtres est efficaces pour éliminer l'effet de cette **interférences canal adjacent**.

### Conclusion

A partir de ce chapitre, nous avons eu un aperçu sur les problèmes produits en cas de coexistence de deux ou plusieurs opérateurs utilisant la même technologie dans des bandes adjacentes.

Ces problèmes peuvent être provoqués par les émissions des mobiles ou des stations de base dont l'effet n'est pas contrôlable dû à la mobilité des terminaux. Cet effet reste négligeable puisque ces émissions vont être atténuées pendant leurs parcours dans l'espace par l'effet de réflexion et des obstacles, d'autant plus qu'elles sont atténuées par les filtres et les feeders des stations de base.

On peut conclure que les problèmes produits en ce cas de cohabitation ne présentent pas un grand danger pour la couverture et la capacité du réseau car ils sont remédiables de nature. Toutefois, les opérateurs prévoient des précautions concernant les bandes de garde qui sont réservées entre leurs bandes de fréquences. Pour le cas du Maroc, les opérateurs essaient ne pas opérer sur la 1<sup>ère</sup> porteuse et la dernière afin de ne pas se chevaucher avec les autres opérateurs voisins utilisant des bandes adjacentes. En effet, lorsqu'un nouvel opérateur veut s'installer à la proximité d'un autre, il cherche les porteuses usées pour éviter l'utilisation de celles qui sont adjacentes.

D'après ces derniers chapitres, on a entamé la cohabitation entre deux technologies cellulaires. Cependant, il existe un type de cohabitation dont les problèmes qu'elle cause auront un effet dangereux sur le fonctionnement du réseau cellulaire. Ces problèmes constituent le thème à traiter dans le chapitre suivant où nous allons étudier l'effet des interférences externes sur le réseau CDMA.

---

# **CHAPITRE IV : EFFET DES INTERFÉRENCES EXTERNES SUR CDMA**

---

## **Introduction**

En plus des problèmes produits dans les cas de cohabitation entre les technologies du réseau cellulaire, on peut rencontrer d'autres problèmes d'interférences qui proviennent des sources extérieures du réseau cellulaire. Ces problèmes sont fréquemment enregistrés dans les zones se caractérisant par une croissance des industries de manufacture.

Le présent chapitre est consacré à l'étude des interférences externes provoquées par des utilisateurs non cellulaires fonctionnant dans la bande 800MHz, notamment à partir de sources externes comme le radar au sol (observé dans un grand nombre des pays), l'industrie lourde, les installations de production de l'énergie, les émetteurs de télévision, les systèmes d'allumage des véhicules, etc...

Toutefois nous ne traiterons pas les problèmes d'interférences externes concernant la voie descendante (réception des stations mobiles) puisqu'ils ne sont pas contrôlables et ne peuvent être estimés avec précision. Les questions nécessitant d'être bien étudiées concernent les interférences créées par les sources externes dans les stations de base du CDMA.

Une fois que les fournisseurs des services déterminent la capacité acceptable ou bien la réduction de la couverture par les interférences externes, le niveau tolérable des interférences externes sur la liaison montante peut être spécifié pour le spectre.

Dans la réalité, la station de base du CDMA ne reçoit pas que les signaux interférant provenant des stations mobiles du CDMA mais aussi des autres systèmes sans fil. C'est pourquoi le terme externe est employé pour représenter les interférences dans la bande de réception de la BTS du CDMA de toutes les sources à l'exception des systèmes fonctionnant en CDMA.

## **I. Effet des interférences externes sur la couverture de la liaison montante**

Cette partie consiste à étudier la relation entre la puissance moyenne des interférences externes et la couverture de la liaison montante du CDMA. Mais avant d'aborder ces effets, il est nécessaire de définir la couverture d'un réseau qui se trouve exposée à ce genre d'interférences.

### **I.1. Couverture du réseau CDMA**

La couverture d'un réseau cellulaire correspond à la zone géographique où l'opérateur active ses liaisons hertziennes afin que leurs abonnés puissent passer des communications. Elle permet de définir la surface de la cellule couverte, ce qui facilite la détermination du maximum admissible des pertes du trajet (path loss).

## I.2. Effet des interférences externes

Les interférences externes augmentent le niveau du bruit du récepteur CDMA. Ainsi d'après l'équation de la sensibilité du récepteur, on déduit qu'une augmentation du bruit conduit à une élévation de la sensibilité, ce qui signifie que cette sensibilisation a subi une dégradation.

$$\text{Sensibilité du récepteur} = \text{SNR} + \text{bruit du récepteur}$$

A partir de l'équation générale du bilan de liaison, on déduit qu'une augmentation de la sensibilité permet une réduction des pertes de propagation visualisées.

$$P_{TX} + \sum G - \sum L - L_{PATHLOSS} = \text{Sensibilité du récepteur (dB)}$$

Avec  $P_{TX}$  : Puissance émise par le mobile.  
 $\sum G$  : Gains des antennes.  
 $\sum L$  : Pertes des feeders.

La diminution des pertes du trajet provoque une réduction de la couverture déterminée par la surface de la cellule. En d'autres termes, si le mobile CDMA est placé au bord de la cellule, la qualité de réception par la BTS CDMA est difficile à maintenir.

Comme il est connu, que le système CDMA est caractérisé par un partage de la totalité de la bande de fréquence par les utilisateurs et que chacun d'eux possède son propre code avec lequel il envoie son signal. Lors de la réception des signaux, la BTS CDMA applique le code de l'utilisateur désiré sur tous les signaux reçus pour détecter que le signal de cet utilisateur, cette technique est nommée la décorrélation. En effet, leurs croisements n'est pas absolument nuls, même les codes sont orthogonaux, car il résulte une faible puissance appelant un résidu qui est vue comme un bruit par cette BTS et permet de la désensibiliser.

La désensibilisation augmente avec la croissance du nombre des utilisateurs. Mais pour un nombre constant d'utilisateurs, on considère que la désensibilisation provoquée par les interférences externes. Cette dégradation de la sensibilité, sus mentionnée, peut être définie comme le rapport des sensibilités avec et sans interférences extérieurs. Elle est trouvée à partir de la formule suivante [16]:

$$\text{Dégradation de la sensibilité (D)} = (I_{ext} + NF * No * W) / NF * No * W$$

Avec  $I_{ext}$  : la puissance moyenne des interférences externes reçues par l'antenne de BTS du CDMA.  
 $NF$  : le facteur du bruit de la station de base du récepteur CDMA.  
 $No$  : la densité spectrale du bruit thermique.  
 $W$  : la bande passante du système CDMA.

Si les pertes de propagation avec et sans interférences sont connues, la dégradation de la sensibilité du récepteur permet de provoquer une réduction de la couverture de la cellule, selon l'équation définie ci-dessous.

Il en résulte que la Réduction de la Couverture de la Liaison Inverse du CDMA due aux interférences externes peut être exprimée par la relation suivante [16] :

$$R_c = 1 - (L_1/L_2)^{\frac{1}{\beta}}$$

- Avec
- R<sub>c</sub>** : Réduction de la couverture.
  - L<sub>1</sub>** : Maximum admissible des pertes du trajet avec externe interférences.
  - L<sub>2</sub>** : Maximum admissible des pertes du trajet sans externe interférence
  - β** : Exposant de la perte de propagation.

Cette relation peut être calculée en fonction de la dégradation selon le processus suivant :  
D'après le bilan de la liaison inverse, on peut trouver la valeur des pertes du trajet pour chaque cas.

$$(P_{TX} * G) / (L * L_{PATHLOSS}) = S_{1rx}$$

Cas 1 : avec interférence externe

$$L_{1PATHLOSS} = (P_{TX} * G) / L * S_{1rx}$$

Cas 2 : sans interférence externe

$$L_{2PATHLOSS} = (P_{TX} * G) / L * S_{2rx}$$

En combinant les deux relations, on trouve que  $L_1/L_2 = S_{2rx}/S_{1rx}$ .

La réduction de la couverture peut donc être exprimée en fonction de la dégradation de la sensibilité et vaut [16] :

$$R_c = 1 - \left(\frac{1}{D}\right)^{\frac{1}{\beta}} = 1 - [NF * No * W / (I_{ext} + NF * No * W)]^{\frac{1}{\beta}}$$



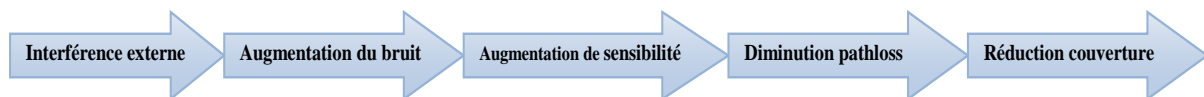
L'effet des interférences externes sur la couverture peut être illustré selon le schéma suivant :



**Figure 37 :** (A) *couverture avec interférences externes* (B) *couverture sans interférences externes*

D'après ce schéma, On remarque que le rayon de la zone couverte a connu une diminution avec l'ajout des interférences externes et par conséquent une réduction de la couverture.

Cet effet peut ainsi être résumé selon l'enchaînement suivant :



## II. Effet des interférences externes sur la capacité de la cellule de la liaison inverse

Avant d'aborder l'effet des interférences externes, il est indispensable de clarifier la notion de capacité et sa relation avec la charge des utilisateurs.

### II.1. Capacité de la cellule de la liaison inverse

La capacité est le nombre des abonnés supportable dans une cellule CDMA avant la saturation du réseau. D'après les modèles simples de la capacité de la liaison montante, la puissance émise par les stations mobiles augmente avec la charge de la cellule.

La norme a défini **une limite** ou **un pôle de capacité** qui est atteint lorsque tous les utilisateurs émettent des signaux de forte puissance. Ce pôle détermine la capacité théorique maximale ou autrement dit le nombre théorique maximal des utilisateurs fonctionnant simultanément sur la même porteuse. A cette limite, le système devient instable, c'est pourquoi, il est préférable de travailler à moins de 100% du pôle de capacité. Généralement la capacité prévue dans la conception est de 50% de pôle de la capacité pour le site.

## II.2. Relation entre la capacité et la charge

Lorsqu'un utilisateur est localisé dans les bords de la cellule, il émet le maximum de puissance pour atteindre la BTS du CDMA. Pour cette raison, la charge ou le nombre des utilisateurs doit être stable et même s'il est permis d'augmenter la charge de la cellule, les utilisateurs marginaux doivent contrôler leurs niveaux de puissance. Ces précautions sont prises pour ne pas dépasser le pôle de capacité, déstabiliser le système et permettre par conséquent aux utilisateurs d'atteindre le rapport signal-à-bruit(SNR) désiré.

Nous pouvons dire pour résumer que la charge ou l'importance de nombre des utilisateurs conduit à une restriction de la cellule. Les utilisateurs se trouvant donc à l'extrémité de la cellule ne seront pas servis et vont perdre la connexion avec leurs stations de base ce qui conduit à une perte de couverture et par conséquent une réduction de la capacité.

## II.3.Effet des interférences externes

Les interférences externes conduisent la cellule à fonctionner dans des conditions de forte charge, puisque que la réception des signaux d'interférences externes par la BTS de CDMA l'induit en erreur et la fait penser que le nombre d'utilisateurs a augmenté. Cette augmentation exige de la BTS d'élever le niveau de sa puissance d'émission pour supporter le nombre d'utilisateurs virtuels.

Cet effet peut être visualisé à partir de l'équation suivante permettant de calculer **le pôle de la capacité [16]**:

$$N_{\text{Pôle}} = \frac{W/R}{\left(\frac{Eb}{N_0+I_0}\right)_{\text{tar}} * F * V}$$

Avec  $N_{\text{POLE}}$  : Pôle de capacité.

$W/R$  : Gain du traitement du CDMA

$\frac{Eb}{N_0+I_0}$  : Rapport signal-à-bruit ( $N_0$  : le bruit du fond thermique,  $I_0$  : puissance des signaux interférents)

$V$  : Facteur d'activité vocale.

$F$  : le rapport entre les interférences externes et les interférences internes.

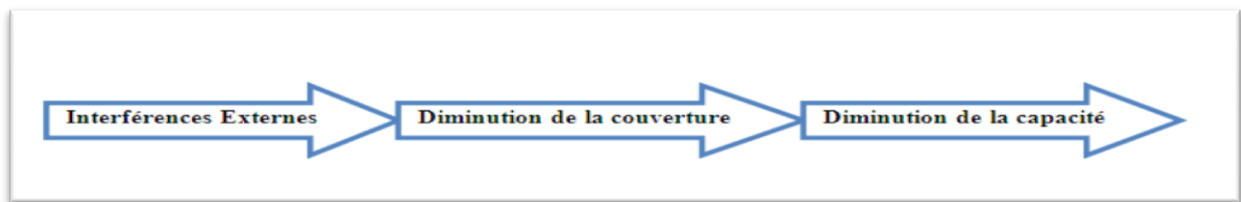
**Le facteur d'activité vocale** permet de réduire le niveau d'interférence. En effet, il existe, pendant la conversation, des périodes de silence dont il est possible d'en profiter pour réduire, voire annuler la puissance d'émission. Des études statistiques montrent que durant une conversation, de la voix est effectivement transmise seulement de 38 à 60 % du temps. Ce pourcentage représente le facteur d'activité vocale  $V$  [20].

A partir de l'équation du pôle de capacité, on peut constater que l'augmentation des interférences externes provoque une diminution du pôle de capacité. Cet effet entraîne une réduction de la capacité. Nous aurons par voie de conséquence, une perte de la couverture puisque la BTS n'arrive pas à émettre des signaux servant les utilisateurs pouvant se situer à la limite de la cellule.

Comme le nombre des utilisateurs reste stable même la couverture se trouve elle aussi diminuée. Ces interférences amènent la cellule à travailler très proche du pôle de capacité pour arriver à servir le même nombre des utilisateurs se trouvant dans cette nouvelle couverture.

On peut conclure que les interférences externes permettent d'augmenter la puissance émise par la station de base puisque cette dernière considère que ces interférences proviennent des utilisateurs se situant dans la cellule qu'elle couvre. En effet, ils permettent de diminuer le pôle de capacité qui détermine la capacité maximale de la station de base et par conséquent la couverture subit une réduction.

Cet effet peut être illustré par l'enchaînement suivant :



## Conclusion

Un système utilisant CDMA800 s'avère être un système très susceptible aux interférences externes, puisque plusieurs systèmes fonctionnent sur cette bande.

Dans ce chapitre, nous avons étudié les problèmes des interférences externes provenant des systèmes brouilleurs travaillant sur la même bande que CDMA. Cette étude a pour objectif de montrer les effets nuisibles de ces problèmes, ce qui exige de prendre des décisions nécessaires pour les détruire.

Le Maroc suit l'Asie dans la bande de 800MHz assignée à la technologie CDMA, ce qui produit des interférences avec l'Espagne qui utilise cette bande pour la Télévision Numérique. Puisque le Maroc est proche de ce pays, les émissions de la Télévision vont atteindre notre pays et perturber les réseaux CDMA, surtout pendant l'été où l'atmosphère est claire sans obstacles de pluie ou de nuages.

L'étude de l'impact de ces interférences sur le fonctionnement de la cellule, a montré que ces interférences qui se manifestent par une augmentation du bruit du fond de la station de base, ce qui dégrade la sensibilité de la BTS et par conséquent provoque une diminution considérable de la couverture subit. Ces interférences externes amènent la station de base du CDMA à travailler dans les conditions à forte charge, ce qui permet de réduire la capacité de ce système.

Tenant compte de la gravité de ces problèmes et la position juridique des brouilleurs, la solution consisterait à détruire ce brouilleur et le condamner, puisque il n'a pas le droit de travailler dans cette bande qui est déjà réservée à la technologie CDMA.

Cependant, l'ANRT n'a pas encore résolu le problème entre le Maroc et l'Espagne sus mentionné. C'est pour cette raison, qu'elle a chargé un service de coordination qui organise des réunions de concertation avec l'Espagne pour trouver une solution négociée. Si le problème persiste, l'UIT interviendrait pour trouver une solution satisfaisant les deux parties.

## **Conclusion de la partie II**

**A partir de cette partie, nous avons discerné les différents types des problèmes produits par la cohabitation des technologies afin de trouver les solutions envisageables qui peuvent atténuer leurs dangers.**

**En effet, la conception des réseaux cellulaires doit tenir compte de ces problèmes pour effectuer les précautions nécessaires qui peuvent éviter leurs apparitions.**

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE

---

La cohabitation entre les opérateurs utilisant des technologies différentes ou similaires dans des bandes adjacentes connaît une progression remarquable due à la croissance importante du nombre d'abonnés. Le problème majeur que les opérateurs rencontrent est lié à la proximité des bandes de fréquence qui mène aux interférences.

Avec l'évolution des exigences des abonnés, les opérateurs concurrents sont de plus en plus motivés pour réduire les effets des interférences afin d'obtenir une meilleure qualité de service. Ce qui nécessite une bonne ingénierie facilitant la gestion des fréquences et permettant de maîtriser la compatibilité électromagnétique entre les systèmes.

Notre étude s'inscrit dans ce contexte, et a particulièrement porté sur le traitement des problèmes résultants de la cohabitation entre plusieurs technologies dans des bandes adjacentes. Notre objectif consistait à trouver les solutions envisageables pour atténuer les effets d'interférences sans que cela occasionne des coûts supplémentaires.

La conduite de l'étude nous a amené à faire des rappels des systèmes cellulaires et leurs technologies qui nous ont servis lors du traitement de la cohabitation entre technologies.

Nous avons également précisé les différents problèmes de brouillages des sites radioélectriques : le bruit et les interférences en déterminant leurs différentes causes d'apparition et les techniques adoptées pour atténuer leurs effets. Notre étude s'est focalisée essentiellement sur les problèmes d'interférence Co-canal et canal adjacent entre les systèmes radioélectriques. Ces interférences sont dues principalement aux imperfections des émetteurs ou des récepteurs. De telles imperfections peuvent être des produits d'intermodulation, des émissions non essentielles créées par l'émetteur ou une désensibilisation des récepteurs. Pour éviter l'occurrence des interférences, nous avons déterminé une technique pour atténuer l'effet des ces imperfections d'isolation qui combine plusieurs éléments (filtre, feeder, antenne et le trajet du parcours).

Les différents cas d'interférences qu'on a traitées dans notre étude se présentent comme suit

-  Cohabitation entre CDMA800 et GSM900
-  Cohabitation entre GSM1800 et UMT
-  Cohabitation entre deux opérateurs GSM.

Pour chaque cas, nous avons tenté de trouver les techniques pour diminuer voir éliminer l'effet des interférences. Ces techniques sont basées sur l'étude du couplage et l'isolation entre les antennes ainsi que les modalités des filtres. Ces méthodes conduisent à améliorer le service clientèles sans faire appel à des installations difficiles.

Notre étude a pu aussi cerner les problèmes d'interférences causés par des sources externes des réseaux cellulaires, ces problèmes qui provoquent une destruction de la couverture du réseau.

L'ensemble des études effectuées nous ont conduit à proposer des solutions que les concepteurs doivent effectuer lors de la planification des réseaux cellulaires pour lutter contre l'apparition de ces problèmes et pour optimiser la cohabitation entre les différentes technologies ce qui permet de favoriser le partage de l'infrastructure pour arriver à répondre aux besoins des abonnés

L'ensemble des solutions qu'on a proposé lors de notre étude n'ont pas pu être validés à cause du changement de la version du logiciel de test sans que les ingénieurs de l'ANRT n'aient une formation ce qui nous a empêché de l'utiliser lors de la période de notre stage. Vue l'importance de ce projet qui représente une problématique traitée internationalement, il est intéressant d'étendre cette étude à d'autres cas de cohabitation en prenant en compte les nouvelles technologies de la quatrième génération (LTE, WIMAX).

---

## GLOSSAIRE

---

**3G (3ème Génération)** : La 3<sup>ème</sup> technologie du réseau mobile accessible au grand public dans certains pays d'Europe depuis 2002, elle s'appuie sur la norme Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), permettant des débits bien plus rapides (2Mbps prévus à maturité du réseau) qu'avec la génération précédente, le GSM.

**3GPP (3rd Generation Partnership Project)** : Coopération entre organismes de standardisation régionaux en Télécommunications visant à produire des spécifications techniques pour les réseaux mobiles de 3e génération (3G).

**4G (4ème Génération)** : La 4<sup>ème</sup> technologie du réseau mobile téléphonie mobile et le successeur de la 3ème génération. Plusieurs technologies en cours de déploiement peuvent prétendre à cette dénomination : WiMAX (802.16), iBurst (802.20) et LTE.

### A

**AMPS (Advanced Mobile Phone System)** : Un analogue de téléphone portable standard du système mis au point par Bell Labs, et officiellement introduit en Amérique en 1983 et en Australie en 1987.

**AuC (Authentication Center)**: C'est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et pour l'encryptage des données envoyées.

### B

**BSC (Base Station Controller)** : Système gère le fonctionnement des BTS

**BSS (Base Station System)**: Entité assure la couverture de zones géographiques.

**BTS (Base Transceiver Station)**: Élément électronique « vu » par le téléphone, elle se trouve près des antennes, dans une baie métallique.

**BWCF (Band Width Correction Factor)**: C'est un facteur permet de corriger la partie du signal interférant situé dans la bande passante du signal victime.

### C

**CDMA (Code Division Multiple Access)** : C'est une technique d'accès multiple où les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles temporels.

**CS (Circuit Switched domain)** : Le domaine du cœur du réseau UMTS. Ce domaine est composé de plusieurs modules : MSC, GMSC, VLR.

### D

**DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)** : Cette technologie d'étalement du spectre consiste à transmettre pour chaque bit une séquence également appelée bruit pseudo-aléatoire.

**DCS (Digital Communication Systems)** : désigne un réseau de télécommunication, il est employé dans des zones urbaines denses où le trafic est important.

## E

**EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)**: Technologie qui permet d'augmenter la vitesse de transmission des données sur l'infrastructure de réseau GSM, grâce à une modulation plus efficace. Elle permet d'atteindre dans des conditions idéales les 384 Kbits/s en GPRS.

**EIR (Equipment Identity Register)** : C'est un registre d'identification d'équipement. Chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

**EGSM (Extended GSM)** : Ce réseau permet d'étendre les bandes de fréquences du GSM en lui donnant la capacité du réseau ajouté.

**ETACS (Extended Total Access Communication System)** : Version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication.

## F

**FDMA (Frequency Division Multiple Access)** : Méthode d'accès consiste à diviser la bande passante du support de communication en bandes de fréquences distinctes.

**FH-SS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** : une méthode de transmission de signaux qui utilise plusieurs canaux selon une séquence aléatoire connue de l'émetteur et du récepteur.

**FDD (Frequency Division Duplex)** : Les liaisons uplink et downlink s'effectuent au même temps mais sur des fréquences différentes.

**FSL (Free Space Loss)** : Les pertes que subit le signal dans l'espace.

## G

**GPRS (General Packet Radio Services)** : Technologie orientée paquets destinée à fonctionner sur des réseaux GSM.

**GSM (Global System for Mobile)** : Première norme de téléphonie cellulaire de seconde génération qui soit pleinement numérique, fournit des services de transmission de la voix et éventuellement de données à bas débit dans un environnement mobile.

**GMSC (Gateway Mobile Switching Center)** : Equipement terminal du réseau téléphonique commuté public (de signalisation et circuits) qui met en forme et converti les protocoles employés par le réseau mobile.

## H

**Handover** : (transfert automatique intercellulaire) est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire (GSM ou UMTS par exemple). Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'une station mobile puisse changer de cellule sans interruption de service.



**HLR (Home location Register)** : C'est une base de données centrale comportant les informations relatives à tout abonné autorisé à utiliser le réseau mobile.

**HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)** : Première étape d'évolution de la méthode d'accès du réseau mobile de troisième génération UMTS. Cette technologie permet de supporter des services à valeur ajoutée tels que l'accès Internet à haute vitesse.

**HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)** : C'est une mise à jour des réseaux WCDMA/UMTS/HSDPA. Il apporte des améliorations de type HSDPA au flux ascendant des connexions et permet ainsi d'obtenir des débits de chargement (upload) pouvant atteindre les 5,8 Mbps.

## I

**IMEI (International Mobile station Equipment Identity)** : C'est un numéro qui permet d'identifier de manière unique chacun des terminaux mobiles.

**IMS (IP Multimedia Subsystem)** : C'est une architecture standardisée NGN (Next Generation Network) pour les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Ce système utilise la technologie VoIP basée sur une implémentation 3GPP standardisée de SIP fonctionnant sur un protocole standard IP.

## L

**LTE (Long Term Evolution)**: Un réseau recouvre un ensemble de technologies amenées à prendre la suite des réseaux mobiles 3,5G (HSPA). Plus performante, avec une architecture tendant vers le tout-IP, elle prépare l'avènement du concept " broadband everywhere ".

## M

**MS (Mobile Station)** : Un terminal mobile authentifié et autorisé à accéder au réseau mobile.

**MSC (Mobile Switching Center)**: Commutateur qui réalise les fonctions de connexion et de signalisation pour les mobiles localisés dans une zone géographique.

## N

**Node-B** : Station de base (ou Antenne-relais) dans un réseau UMTS. C'est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM.

**NSS (Network Sub-System)** : Comprend l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la mobilité.

## O

**OMC (Operations and Maintenance Center)** : Assure des fonctions de configuration et de contrôle à distance.

## P

**PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente)**: Puissance d'émission des sites GSM, de radiodiffusion ou télédiffusion.

**PG (Processing Gain)** : dans les systèmes d'étalement du spectre, il représente le rapport entre la bande passante du signal étalé et la bande passante du signal non étalé.

**PS (Packet Switched domain) :** Le domaine PS permet la commutation de paquets. Ce domaine est composé de SGSN et GGSN.

## Q

**QUALCOMM :** Entreprise américaine opérant dans le domaine de la technologie mobile. Elle est spécialisée dans la conception et la fabrication de solutions télécommunications.

## R

**RNC (Radio Network Controller) :** Contrôleur de Node B et a pour rôle le routage des communications entre ce NodeB et le réseau cœur.

## S

**SNR (Signal-to-Noise Ratio) :** La qualité de la transmission d'une information par rapport aux parasites.

**SIM (Subscriber Identity Module) :** La carte SIM est une puce contenant un microcontrôleur et de la mémoire. Elle est utilisée en téléphonie mobile pour stocker les informations spécifiques à l'abonné d'un réseau mobile, en particulier pour les réseaux de type GSM.

## T

**TACS (Total Access Communication System)** est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).

**TDD (Time Division Duplex) :** Le transfert des données pour les liaisons uplink et downlink s'effectue dans la même bande de fréquence mais séparé dans le temps.

**TDMA (Time Division Multiple Access) :** Un mode de multiplexage permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal. Il s'agit du multiplexage temporel, dont le principe est de découper le temps disponible entre les différentes connexions (utilisateurs).

**TNF (Thermal Noise Floor) :** Résultat de l'agitation des électrons des conducteurs (résistances) sous l'action de la température. Il croît avec la température.

## U

**UMA (Unlicensed Mobile Access) :** C'est une architecture définie par un consortium industriel ayant spécifié une technologie de convergence supportant l'accès aux services mobiles à partir d'un terminal multi-mode pouvant se connecter en WiFi sur un accès IP.

**UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) :** Norme de nouvelle génération pour la transmission vocale, texte, vidéo ou multimédia numérisée. C'est une évolution décisive par rapport au GSM, mais au contraire du GSM ce sera une norme internationale unifiée, basée sur une combinaison de services fixes et radio / mobiles.

**UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) :** Responsable des ressources radio et les mécanismes nécessaires pour accéder au réseau cœur.

**UE (User Equipment) :** Entité qui se compose du Mobile Equipment (ME) correspondant au combiné téléphonique (terminal mobile) et la carte.

**USIM (UMTS Subscriber Identity Module) :** Le rôle de l'USIM est semblable à celui de la carte SIM en GSM.

**UIT (Union Internationale des Télécommunications)** : Organisme règlemente les différents standards de télécommunications au niveau mondial.

## V

**VLR (Visitor Location Register)**: C'est une base de données temporaire contenant des informations sur tous les MS qui sont gérés à ce moment-là par le MSC auquel ce VLR est rattaché.

## W

**W-CDMA (Wide band Code Division Multiple Access)** : Le mode d'accès WCDMA (Accès multiple de division des codes à large bande) est le mode d'accès par transmission radio utilisé pour les systèmes cellulaires de troisième génération dans les différentes parties du globe. Les systèmes 3G à large bande sont destinés à accéder à Internet, à transmettre de la vidéo et des images de haute qualité avec la même qualité que les réseaux fixes.

**WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)**: Il s'agit d'un standard de réseau sans fil métropolitain. En utilisant un accès WiMAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km. Il se sert de la technologie micro onde avec plusieurs bandes de fréquences.

---

# RÉFÉRENCE

---

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.Larhlimi : « *TELEPHONIE MOBILE* » Hautes Etudes en Ingénierie des Systèmes d'Information.
- [2] Sami Tabbane, Xavier Lagrange, Philippe Godlewski , « *Réseaux GSM*», Hermes Science Publications, Paris 2000.
- [3] Leila ISSAOUI : « Développement d'un outil de planification et d'optimisation de fréquences dans un réseau GSM » *Rapport de Projet de fin d'études, Ecole Supérieure de Communication Supérieurs (SUP'COM), Cycle de formation des ingénieurs en Télécommunications, Option : Ingénierie des réseaux, 2005/2006.*
- [4] DAKO G. Fabrice, CHAHBOUNE Aymane: « *Etude comparative des techniques d'accès FDMA, TDMA et CDMA* » *Rapport de Projet de Fin d'Année du 4ème Année Ingénierie des Systèmes Réseaux Telecom, 2009-2010.*
- [5] CDMA\_cours : « *ACCES MULTIPLE A REPARTITION PAR CODE (CDMA)* » YM 10/02/03.
- [6] Mazen YOUSSEF, « *Modélisation, simulation et optimisation des architectures de récepteur pour les techniques d'accès W-CDMA* », *THESE DE DOCTORAT Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paul Verlaine – Metz, Soutenue le 08 Juin 2009.*
- [7] GARAH MESSAOUD, « *Minimisation de la probabilité d'échec du Handover dans les réseaux cellulaires mobiles* », *Thèse présentée pour l'obtention du Diplôme de DOCTORAT ES-SCIENCE EN ELECTRONIQUE OPTION : MICRO-ONDES à l'Université de Batna Faculté des Sciences de l'ingénieur Département d'Electronique.*
- [8] M. BOUHLEL Fouad, « *Inscription dans un établissement scolaire via protocole WAP* » *Rapport de Projet de fin d'études, Ecole Supérieure de Communication Supérieurs (SUP'COM), Cycle de formation des ingénieurs en Télécommunications, Option : Ingénierie des réseaux, 2005/2006.*
- [9] Tarek BCHINI, « *Gestion de la Mobilité, de la Qualité de Service et Interconnexion de Réseaux Mobiles de Nouvelle Génération* » *THÈSE En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE Discipline ou spécialité : Réseaux et Télécoms, Université de Toulouse, soutenue Le 10/06/2010.*
- [10] Jean-Philippe Muller, « *Le réseau GSM et le mobile* » *Version 07/2002.*
- [11] Massaër GASSAMA, « *Etude des scénarios d'optimisation dans le déploiement des services hauts débits dans les systèmes radiomobiles* », *Rapport de Projet de fin d'études, Ecole Supérieure de Communication Supérieurs (SUP'COM), Cycle de formation des ingénieurs en Télécommunications, Option : Ingénierie des réseaux, 2006/2007.*
- [13] Alexandre Boyer, « *CANAUX DE TRANSMISSIONS BRUTES* » **SUPPORT DE COURS ENONCE DE TRAVAUX DIRIGES, INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE 4ème Année RT**
- [15] JULIENDELMAS, « *LES RELAIS GSM* »

**[16]** Ms. Julie Garcia Welch Chair, Spectrum Sub Working Group 1,  
«INTERFERENCE ANALYSIS AND GUIDELINES FOR COEXISTENCE» SOURCE:  
QUALCOMM INCORPORATED, ASIA-PACIFIC TELECOMMUNITY, The 3rd Meeting of  
the APT Wireless Forum, 27 – 30 September 2006, Hanoi, Vietnam SR.

**[17]** INCONNU «MISE EN ŒUVRE DES SYSTEMES D'ACCES MULTIPLES PAR  
REPARTITION DE CODES (SEQUENCE DIRECTE) » *support du cours.*

**[18]** Maxim “Receiver Sensitivity Equation for Spread Spectrum Systems” APP 1140:  
Jun 28, 2002.

**[19]** INCONNU « MISE EN ŒUVRE DES SYSTEMES D'ACCES MULTIPLES  
PAR REPARTITION DE CODES (SEQUENCE DIRECTE) » *support du cours.*

### **WEBOGRAPHIE**

**[12]** <http://www.efort.com>, « Réseau d'Accès UMTS Architecture et Interfaces ».

**[14]** <http://www.electrosmog.info>, « HF : Puissances - niveaux d'exposition - Normes -  
0,6V/m »