

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études

**Présenté en vue de l'obtention
du diplôme de Master en Électronique**

Option : Réseaux et Télécommunication

Thème

**Etude de l'atténuation du signal dans un canal
hertzien d'une liaison de télécommunication
point à point d'un réseau de téléphonie mobile
cas : ATM Mobilis**

Proposé et dirigé par:

M. Tahanout (UMMTO)

T. Lahdiri (Mobilis)

Etudié et réalisé par:

M^r:AMARAMalik

Année universitaire **2011/2012**

Remerciements

Atravers ce travail je tiens à remercier mon promoteur Mr. M. Tahanout pour sa disponibilité qui m'a été précieuse et ses conseils ainsi que toute la confiance qu'il a mis en moi durant la réalisation de ce projet.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à mon Co-promoteur Mr. T.Lahdiri (Ingénieur en transmission à Mobilis) pour m'avoir accueilli pendant toute la durée de mon stage pratique. Ses remarques pertinentes ont contribué à enrichir mon travail.

Mes remerciements vont également, au Président et aux membres de jury qui me feront l'honneur d'examiner et d'évaluer mon travail, ainsi qu'à tous les Enseignants qui ont contribué à ma formation.

Que toute personne, qui d'une manière ou d'une autre, ayant participé pour l'aboutissement de ce travail trouve ici l'expression de ma gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

√ Aux deux grands êtres les plus chères de ma vie, Mon

Père et ma Mère, qui m'ont toujours soutenu tout au

long de mes études et grâce à qui j'en suis arrivé là.

√ A mes frères : Riad et Walid.

√ A ma sœur : Samia.

√ A toute ma famille.

√ A tous mes amis.

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Propagation des Ondes Radioélectriques	
I.1.Introduction.....	3
I.2. Notions sur la propagation des Ondes Electromagnétiques.....	4
I.2.1. Présentation des Ondes Electromagnétiques.....	4
I.2.3. Caractéristiques d'une onde électromagnétique.....	5
I.3. Les équations de base dans la propagation des ondes électromagnétiques.....	6
I.3.1.Equation de maxwel	7
I.3.2.Équation D'onde Electromagnétique	8
I.4. Propagation radioélectrique.....	10
I.4.1. Propagation radioélectrique en espace libre.....	10
I.5. Affaiblissement des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère.....	14
I.5.1. Affaiblissement (absorption) par les gaz.....	14
I.5.2. Affaiblissement par les hydrométéores.....	15
I.5.3. Les contraintes de propagation.....	17
I.5.3.1. La diffraction.....	17
I.5.3.2. La diffusion.....	21
I.5.3.3. La réflexion.....	22
I.5.3.3.1. Modélisation de la réflexion sur le sol.....	25
I.5.3.4. La réfraction	27
I.5.4. Affaiblissement de parcours.....	27
I.5.5. Trajets multiples (multipath)	30
I.6.	
Conclusion.....	32
CHAPITRE II : Généralités sur le Réseau GSM	
II. Introduction.....	33
II.1 Le réseau GSM.....	33
II.1.1. Historique.....	33
II.2. Présentation du réseau de téléphonie cellulaire GSM.....	34
II.2.1. Le concept cellulaire.....	34
II.3. Architecture de référence d'un réseau mobile.....	38

II.3.1. Architecture canonique GSM.....	39
II.3.1.1. Architecture matérielle La station mobile MS (Mobile Station)	39
II.3.1.2. Architecture matérielle du sous-système radio BSS.....	40
II.3.1.2.1. Les BTS (Base Transceiver Station)	40
II.3.1.2.2. La BSC (Base Station Controller)	41
II.3.1.3. Architecture matérielle du sous-système réseau NSS (Network Sub System)	41
II.3.1.3.1. Le MSC (centre de communication mobile)	42
II.3.1.3.2. Le registre de localisation nominal (HLR)	42
II.3.1.3.3. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)	42
II.3.1.3.4. Equipment Identity Register (EIR)	43
II.3.1.3.5. Centre d'authentification (AUC)	43
II.3.1.3.6. Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)	44
II.3.1.3.7. L'unité de transfert GSM (GIWU)	44
II.3.1.4. Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS)	44
II.4. Synthèse des principales caractéristiques du GSM.....	45
II.4.1. Description du canal physique.....	47
II.4.2. Multiplexage fréquentiel.....	47
II.4.3. La modulation.....	48
II.4.4. Multiplexage temporel.....	50
II.4.4.1. Time Division Multiple Access ou TDMA.....	50
II.4.5. Mécanismes de protection contre les interférences radioélectriques.....	52
II.4.5.1. Le saut de fréquences ou FrequencyHopping.....	52
II.4.5.2. Décalage temporel des envois.....	54
II.4.5.3. Le codage.....	54
II.5. Présentation des interfaces	55
II.6. Conclusion.....	57
CHAPITRE III : l'Affaiblissement dû à la pluie dans le bilan de liaison	
III. Introduction.....	58
III.1. Réseau de transmission (Mobilis) de Tizi-Ouzou.....	58
III.1.1. L'interconnexion entre les différents sites du réseau.....	60

III.1.2. Les sites Hubs.....	60
III.2.Choix de la liaison FH.....	61
III.2.1 Configuration de la liaison.....	63
III.2.2. Calcul du bilan de liaison et le rapport de puissance.....	64
<i>III.2.3. Discussion.....</i>	<i>69</i>
III.3. <i>Conclusion.....</i>	<i>70</i>
Conclusion Générale.....	71

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement spectaculaire des systèmes de radiocommunications : (faisceaux Hertiens) lié aux besoins nouveaux en communication dus au couple informatique-télécommunications, a amené les administrations et autres services spécialisés dans le ce domaine à utiliser des fréquences de plus en plus élevées. Les avantages des fréquences supérieures à 10 GHz sont bien connus. Outre l'accroissement du débit d'information qu'elles permettent, leur utilisation permet aujourd'hui de minimiser les brouillages entre liaisons terrestres.

Les liaisons radioélectriques du réseau terrestre fixe (FH, WIFI, WIMAX..), mobile (GSM, UMTS..) ou à très haut débit à courte portée sont situées soit à l'intérieur de la troposphère siège de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques (présence de réfraction, hydrométéores : pluie, neige, brouillard...), soit au-dessus du sol avec son lot (d'obstacles bâtiments, végétation...), soit encore à l'intérieur des bâtiments. L'étude des bilans de telles liaisons nécessite la prise en considération des différents affaiblissements (affaiblissement en espace libre, affaiblissement en excès qui regroupe l'ensemble des affaiblissements supplémentaires dus aux différents effets de l'environnement : gaz, hydrométéores, bâtiments, végétation,...) et les différents renforcements du signal entre l'émetteur et le récepteur (gains d'antennes, focalisation,...). Différents mécanismes de propagation entrent en jeu : la réflexion, la réfraction, la transmission, la diffusion, etc.

Le sol, les bâtiments, la végétation apportent leur lot de rayons ; on distingue en effet les rayons réfléchis sur le sol, sur les diverses façades des bâtiments ou sur les différentes cloisons à l'intérieur des bâtiments, les rayons diffractés sur les sommets élevés ou sur les arêtes horizontales et verticales des bâtiments situés dans l'axe de la liaison, etc.

La pluie constitue la principale source de perturbation de la propagation des ondes hertziennes. Pour des fréquences supérieures à 10 GHz, les gouttes de pluie se comportent comme un écran affaiblissant l'intensité du signal par absorption et par diffusion. Quand une onde radioélectrique traverse une zone pluvieuse, son énergie peut être affaiblie par les gouttes de pluie présentes dans la première zone de Fresnel. Cet affaiblissement dont l'importance dépend de la fréquence de l'onde, des propriétés microphysiques des gouttes de pluie (leur forme géométrique, leur dimension, leur température ...), résulte de la conjonction de deux phénomènes liés aux propriétés de l'eau: le phénomène d'absorption et le phénomène de diffusion. Lorsque la longueur d'onde devient inférieure à la dimension des gouttes, la

liaison peut être complètement interrompue. Les précipitations sont des processus hydrologiques extrêmement variables, et ceci quelle que soit l'échelle spatio-temporelle (régionale, locale, annuelle, événementielle) considérée. L'hétérogénéité et l'intermittence du phénomène précipitant, ainsi que sa nature discrète, font de la pluie une grandeur géophysique difficilement mesurable et modélisable.

Dans ce contexte nous tenterons d'arriver à estimer les taux de précipitation en calculant l'affaiblissement introduit par la pluie dans le bilan de liaison entre les puissances transmises et celles reçues dans une liaison radioélectrique, ce qui constitue le but de notre recherche.

Notre travail s'articulera sur trois chapitres.

Le premier : concerne l'étude des effets atmosphériques sur la propagation des ondes radioélectriques et leur interaction avec les différents phénomènes existant dans l'atmosphère.

Le second: décrit les notions de base liées au réseau GSM, le fonctionnement des différents équipements, leurs emplacements dans le réseau, les zones de couvertures les bandes allouées au système et les méthodes d'accès multiple utilisées.

Le troisième : est une partie pratique qui consiste d'une part à présenter des mesures de propagation radioélectrique dans la région de Tizi-Ouzou à partir des antennes GSM de l'opérateur téléphonique (Mobilis), suivie du choix de la liaison sur laquelle porte l'étude, d'autre part à observer et sauvegarder les données des puissances émises et reçues sur une liaison point à point. L'influence de la pluie sur l'atténuation du signal, et la méthode utilisée pour le calcul de l'affaiblissement linéique due à la pluie.

Nous terminerons par une conclusion générale qui montrera tout ce que nous avons déduit, remarqué et constaté tout au long de l'élaboration du projet et du stage effectué auprès de l'opérateur ATM Mobilis de Tizi-Ouzou.

CHAPITRE I

Propagation des Ondes Radioélectriques

I.1.Introduction

En parcourant un trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes ayant un effet de dégradation sur la qualité du signal. Cette dégradation se traduit en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système.

Pour cela, nous présentons dans ce chapitre l'environnement de propagation des ondes radio qui est caractérisé par des obstacles et sources de brouillage. Leurs impacts sur les ondes radio ne sont pas aisément maîtrisables. A cet effet, l'interface radio est la partie la plus délicate dans les systèmes de communication radio mobile.

La résolution de ce problème nécessite une bonne connaissance des phénomènes de propagation dans un environnement radio mobile. Ces phénomènes, telles que la réflexion, la diffraction et la diffusion, dépendent notamment de la fréquence utilisée du type d'environnement (urbain, suburbain, rural...) et des conditions météorologiques. En outre, il existe des sources de perturbation sur le signal qui doivent être bien étudiées.

Une première partie de ce chapitre consiste à définir succinctement qu'est-ce qu'une onde radioélectrique, dans une deuxième partie seront détaillées les difficultés de transmission dans une liaison radioélectrique à basse troposphère dont nous présentons les différents phénomènes pouvant l'affecter.

I.2. Notions sur la propagation des Ondes Electromagnétiques

I.2.1. Présentation des Ondes Electromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont des éléments physiques d'une importance extrême permettant la communication entre les systèmes grâce à leurs propriétés de propagation dans le vide ou la matière. Une onde électromagnétique est constituée d'un champ électrique (\vec{E}) et d'un champ magnétique (\vec{H}).

Dans le vide, ces deux champs sont orthogonaux et transverses (perpendiculaires à la direction de propagation). Ainsi une onde électromagnétique est la combinaison de deux perturbations, l'une est électrique l'autre est magnétique. Ces deux perturbations, constituent alors un champ électrique (\vec{E}) et un champ magnétique (\vec{H}), qui oscillent en même temps mais dans deux plans perpendiculaires se déplaçant à la vitesse de la lumière et varient au même rythme que le courant qui leur a donné naissance [M. Henry A. Kassiba].

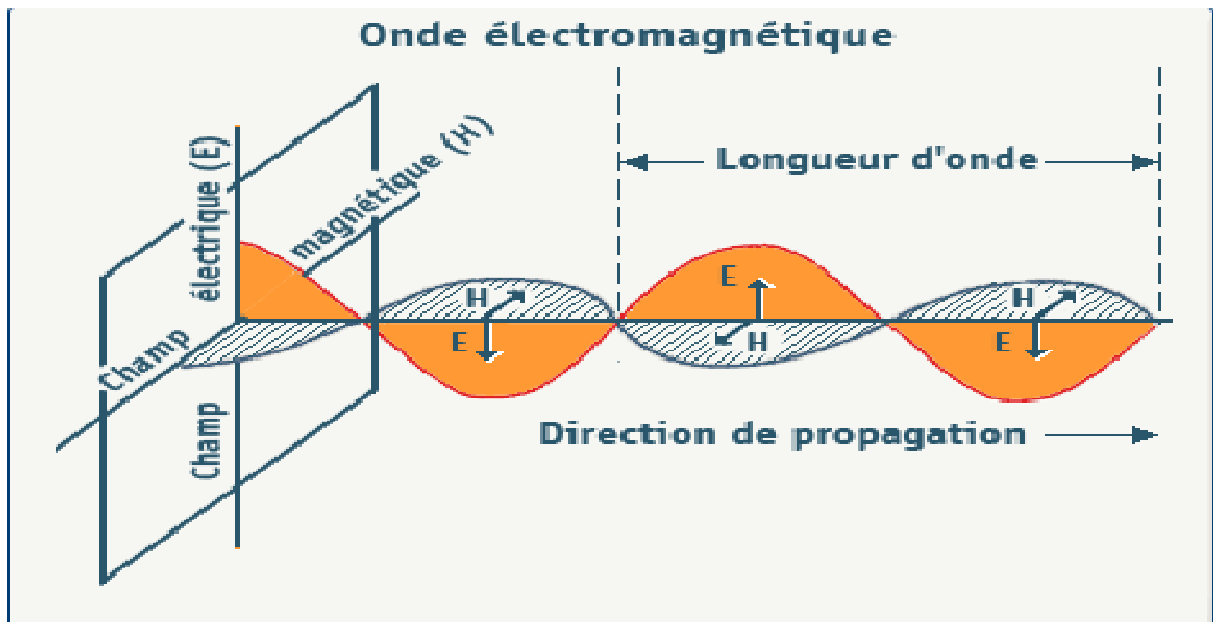


Fig.1 : Illustration d'une onde électromagnétique formée du couplage champ électrique (\vec{E}) et champ magnétique (\vec{H})

I.2.3. Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Ø Vitesse de déplacement :

L'onde électromagnétique se propage en ligne droite dans un milieu homogène ; sa vitesse est de $3 \cdot 10^8$ m/s dans l'espace libre et de $V=C/n$ dans un milieu autre où l'indice de réfraction est n , avec $C= 3 \cdot 10^8$ m/s.

Ø Fréquence et longueur d'onde :

La fréquence d'une onde électromagnétique est la fréquence des champs électriques et magnétiques qui la composent. La longueur d'onde λ est définie comme le trajet parcouru par une onde après une période d'oscillation(T).

$$\lambda = \frac{C}{f} = C * T$$

Les ondes électromagnétiques regroupent un large spectre de phénomènes physiques et d'applications, par les ondes radio, la lumière visible, les rayons X, etc. Toutes ces ondes sont décrites par le même formalisme : la propagation conjointe d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Ces phénomènes électriques et magnétiques sont basés sur des lois fondamentales qui nécessitent de nombreuses quantités et constantes pour être formalisés mathématiquement, présentés dans ce qui suit ;

Ø La constante *diélectrique du vide*

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} F \cdot m^{-1} \text{ (I.1)}$$

Ø La *perméabilité magnétique du vide*

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H \cdot m^{-1} \text{ (I.2)}$$

Ø Une autre constante est la vitesse de la lumière (*célérité*)

$$C = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \text{ (I.3)}$$

I.3. Les équations de base dans la propagation des ondes électromagnétiques

Le système de Maxwell : Les phénomènes électromagnétiques sont régis par les équations de Maxwell. Ces équations relient les quatre vecteurs caractéristiques du champ électromagnétique :

- \vec{E} le champ électrique.
- \vec{H} le champ magnétique.
- \vec{D} l'induction électrique.
- \vec{B} l'induction magnétique.

Ce qu'on appelle équations de Maxwell est un ensemble de quatre équations qui rassemblent les contributions de Coulomb, Oersted, Faraday, Gauss et bien sûr Maxwell (1837–1879). Quand Maxwell s'intéresse à l'électricité et au magnétisme, il a à sa disposition les lois de l'électrostatique, de la magnétostatique et également la loi de l'induction. Dans son célèbre ouvrage « *A treatise on electricity and magnetism* » publié en 1873, il remarque que le théorème d'Ampère n'est pas compatible avec le principe de conservation de la charge et propose une théorie pour corriger ce problème.

Mathématiquement, la conservation de la charge s'exprime au travers d'un bilan des charges qui rentrent ou sortent d'un volume de contrôle. Si la densité volumique de charges ρ_c varie dans ce volume au cours du temps, c'est qu'il y a eu ajout ou perte de charges par le biais d'un courant j .

Le terme ajouté par Maxwell se présente sous la forme d'un courant appelé *courant de déplacement* j_D . De son vivant, Maxwell n'a jamais vu la vérification expérimentale de son hypothèse de courant de déplacement. Ce n'est qu'en 1887 avec les travaux d'Hertz que la théorie de Maxwell a été complètement vérifiée. Les travaux d'Hertz ont donné naissance aux premières télécommunications, l'ère de la radio pouvait commencer [M.NICOLAS].

I.3.1. Equation de maxwell

Dans un milieu homogène isotrope, les équations de Maxwell s'écrivent alors :

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho_c}{\epsilon_0} \quad (\text{I.4})$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (\text{I.5})$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{I.6})$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (\text{I.7})$$

et sont par ailleurs reliés par les lois de comportement :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

Avec \vec{j} la densité de courant électrique et ρ la densité de charges électriques. Ces équations montrent le couplage entre les champs électriques et magnétiques, en faisant intervenir la densité de charges ρ_c et la densité de courant \vec{j} ainsi que deux constantes ϵ_0 et μ_0 [M.NICOLAS].

I.3.2. Équation D'onde Electromagnétique

L'équation d'onde électromagnétique est obtenue à partir des équations de Maxwell.

- Le rotationnel de la relation (I.6) :

$$\text{rot} (\text{rot } \vec{E}) = -\text{rot} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. (\text{I.8})$$

Comme les variables d'espace (x, y, z) et de temps t sont indépendantes, on peut permuter la dérivée temporelle avec l'opérateur rotationnel. D'autre part, le double rotationnel se transforme pour donner :

$$\text{grad}(\text{div } \vec{E}) - \Delta \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\text{rot } \vec{B}). \quad (\text{I.9})$$

- En utilisant la relation de divergence (I.4) et la relation de Maxwell-Ampère (I.7), on obtient finalement une relation pour le seul champ électrique

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} + \frac{1}{\epsilon_0} \text{grad} \rho_c. \quad (\text{I.10})$$

Avec une vitesse : $C = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$

- De même, le rotationnel de la relation (I.7) :

$$\text{rot}(\text{rot } \vec{B}) = \mu_0(\text{rot } \vec{j}) + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{I.11})$$

- Après combinaison avec la relation de divergence (I.5), la relation (I.6) :

$$\Delta \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = -\mu_0(\text{rot } \vec{j}). \quad (\text{I.12})$$

Remarque : Dans les deux équations de propagation (I.10) et (I.12) apparaît la même vitesse $C = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$. Les champs électrique et magnétique se propagent donc à la même vitesse, appelée *vitesse de la lumière*.

Comme nous l'avons démontré auparavant les formules d'électromagnétisme permettent d'étudier les phénomènes de propagation se déduisant des équations de Maxwell.

Cependant, on obtient alors, dans bien des cas pratiques, des jeux d'équations extrêmement compliqués à résoudre. L'objectif de cette partie est d'arriver rapidement à l'établissement d'un bilan de liaison entre un émetteur et un récepteur. Le bilan de liaison est une présentation chiffré exhaustif des influences des différents phénomènes et problèmes physiques qui interviennent lors de la propagation de l'onde électromagnétique [M.NICOLAS].

I.4.Propagation radioélectrique

La présence de la Terre et de l'atmosphère met en jeu différents mécanismes physiques (réflexion, réfraction, diffraction, diffusion) qui viennent modifier les conditions de propagation et influencer le niveau du champ reçu même si les deux extrémités de la liaison sont en visibilité radioélectrique.

I.4.1. Propagation radioélectrique en espace libre :

On désigne sous ce terme la propagation dans un milieu illimité et homogène où n'existent que l'émetteur et le récepteur associés à leur antenne. Ces différents éléments sont de dimension négligeable par rapport à la distance qui les sépare. Aucun obstacle ne vient d'autre part perturber la propagation entre l'émetteur et le récepteur, dans ce cas la relation fondamentale entre la puissance reçue P_r et puissance émise P_t est définie par :

$$P_r = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2} P_t \text{ (I.13)}$$

Cette relation, généralement dénommée « équation fondamentale des Télécommunications » est à la base des calculs et des mesures de propagation.

Avec :

G_t et G_r : respectivement les gains des antennes d'émission et de réception.

λ : la longueur d'onde (m).

D : la distance entre émetteur et récepteur (m).

$\frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2}$: cette quantité est souvent appelée affaiblissement en espace libre A_0 , Il vaut en décibels (dB). L'affaiblissement total de propagation (A) comprend en plus de l'affaiblissement en espace libre (A_0), un affaiblissement supplémentaire A_s qui traduit l'influence de nombreux facteurs d'environnement (gaz, hydrométéores ..., etc.), effet de masque dû à des obstacles (bâtiments, murs, cloisons, meubles, personnes, végétation ..., etc.) ou variabilité due aux interférences. Dans la pratique, il faut également tenir compte des pertes dans les lignes d'alimentation des antennes (*feeder*), et plus généralement, de tous les dispositifs qui s'insèrent entre l'émetteur et le récepteur [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].

- Gain d'antenne :

Pour une antenne parabolique de diamètre d et d'éclairement uniforme à son ouverture la surface de cette ouverture est égale à la surface effective.

Le gain maximum vaut $G = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2}$. En

réalité, l'éclairement à l'ouverture n'étant pas uniforme, il faudrait pondérer ce gain par un coefficient g qui est, par définition, le facteur de gain. Par conséquent, le gain G s'écrit

[Thourel, 1982] : $G = g \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2}$ En pratique, les

valeurs de g se situent entre 0,5 et 0,7. [M.TAHANOUT].

a) La propagation radioélectrique en non visibilité

Elle concerne des liaisons pour lesquelles un obstacle est interposé entre l'émetteur et le récepteur. Le signal émis va alors se propager grâce à différents phénomènes :

- Ø La diffraction, se produit lorsque la ligne de visée entre l'émetteur et le récepteur est obstruée par un obstacle opaque dont les dimensions sont plus grandes que la longueur d'onde du signal émis.

- ∅ La diffusion, se produit dans le même cas que la diffraction mais lorsque les dimensions des obstacles sont comparables à la longueur d'onde.
- ∅ La réflexion, se produit lorsque l'onde émise rencontre un obstacle dont les dimensions sont très largement supérieures à la longueur d'onde. La réflexion peut avoir pour effet une augmentation ou une diminution du niveau du signal reçu. Lorsqu'il y a un grand nombre de réflexions le niveau du signal reçu peut devenir instable.
- ∅ La transmission, se produit lorsque l'obstacle est en partie "transparent" vis à vis de l'onde émise
- ∅ La réfraction, provient du fait que la variation de l'indice atmosphérique entraîne une propagation "courbée" de l'onde émise.

b) La propagation radioélectrique en visibilité

Ces liaisons utilisent des fréquences élevées dans le domaine des ondes centimétriques ou millimétriques. Bien que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité l'un par rapport à l'autre, des perturbations, induites par la présence du sol ou de l'atmosphère peuvent intervenir.

Deux grandes familles de liaisons appartiennent à cette classe :

- Les liaisons sol-sol, de type faisceaux Hertiens.
- Les liaisons sol-espace, utilisées par les systèmes de transmissions par satellites.

∅ Ellipsoïde de Fresnel :

L'étude des ondes électromagnétiques entre un émetteur E et un récepteur R conduit à subdiviser l'espace de propagation en une famille d'ellipsoïdes, appelés ellipsoïdes de Fresnel ayant comme foyers les points E et R, tels qu'un point quelconque M d'un de ces ellipsoïdes satisfasse la relation :

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (\text{I.14})$$

Avec :

n : un nombre entier qui caractérise l'ellipsoïde considéré ($n = 1$ caractérise le 1er ellipsoïde de Fresnel...),

λ : la longueur d'onde.

Le rayon du n^{e} ellipsoïde en un point du parcours situé à la distance d_1 de E et à la distance d_2 de R ($d_1 + d_2 = d$, sous réserve que les distances d_1 et d_2 soient grandes par rapport aux rayons des ellipsoïdes) est donné par la relation suivante :

Le rayon du 1^{er} ellipsoïde est égal à :

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (\mathbf{I.15})$$

La valeur maximale au milieu du trajet du rayon du 1^{er} ellipsoïde est donc :

$$r_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d} \quad (\mathbf{I.16})$$

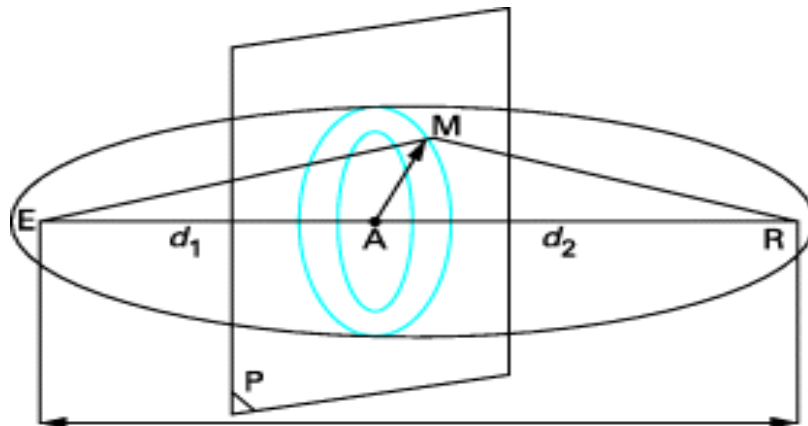


Fig.2 - Représentation schématique des zones de Fresnel.

On considère qu'une liaison est en visibilité radioélectrique si le 1^{er} ellipsoïde de Fresnel délimitant la région de l'espace où passe la quasi-totalité de l'énergie n'est pas engagé (ne contient aucun obstacle). Les phénomènes de diffraction par des obstacles éventuels situés au-delà du 1^{er} ellipsoïde de Fresnel ont donc une influence négligeable sur le niveau reçu. Le rayon de l'ellipsoïde étant inversement proportionnel à la fréquence, il en résulte qu'il faut

élever d'autant plus les antennes que les fréquences sont basses [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].

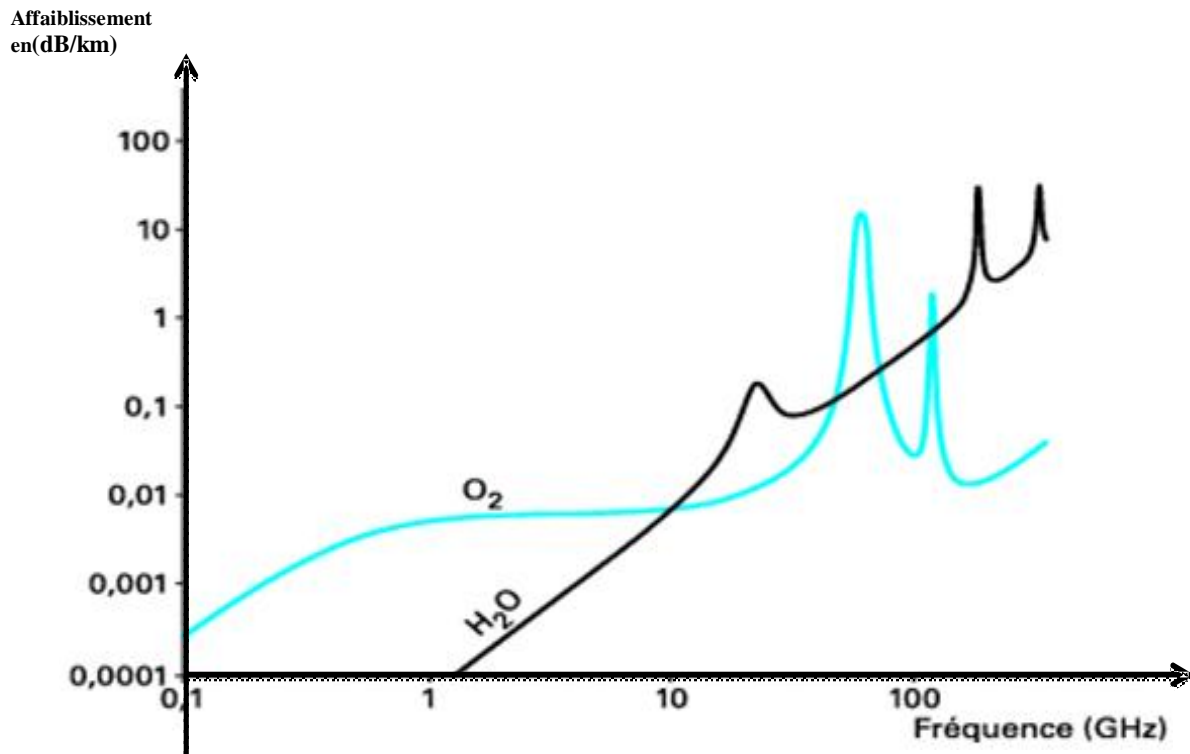
I.5.Affaiblissement des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère

I.5.1.Affaiblissement (absorption) par les gaz

L'affaiblissement par les gaz résulte de la résonance moléculaire de l'oxygène et de la vapeur d'eau. La molécule d'oxygène possède un moment magnétique permanent. Son couplage avec le champ magnétique d'une onde électromagnétique incidente provoque une absorption par résonance à certaines fréquences.

La molécule de vapeur d'eau se comporte comme un dipôle électrique. Son interaction avec une onde incidente désoriente la molécule en générant une énergie potentielle interne supplémentaire. Le maximum d'atténuation atteint aux environs de 22 GHz résulte de la résonance de la molécule d'eau, elle se met à tourner sur elle-même en absorbant une forte proportion de l'énergie électromagnétique incidente.

La figure (3) montre la variation de l'affaiblissement linéique dû à l'oxygène et à la vapeur d'eau. Une manière très précise pour estimer l'affaiblissement par les gaz est de tenir compte de la contribution de l'ensemble des raies d'absorption de l'oxygène et de la vapeur d'eau et du spectre continu d'absorption lié à l'eau et la glace. Différents modèles existent dans la littérature. Le modèle de référence est celui de Liebe. Il permet de calculer l'indice de réfraction lié à l'oxygène et à la vapeur d'eau dans l'atmosphère ainsi que l'affaiblissement lié à chacun de ces composants, pour des fréquences allant jusqu'à 1 000 GHz. Les paramètres d'entrée de ce modèle sont la pression, la température, l'humidité relative relevées sur un profil vertical de l'atmosphère terrestre ainsi que la fréquence [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].



$P = 1\ 013\ \text{hPa} - T = 15\ ^\circ\text{C} - \text{Humidité absolue} = 7,5\ \text{g/m}^3$

Fig.3 : Variation en fréquence de l'affaiblissement linéique dû à l'oxygène et à la vapeur d'eau calculé par la recommandation ITU-R P.676

I.5.2. Affaiblissement par les hydrométéores :

La transpolarisation ou dépolarisation résulte du mécanisme par lequel une partie de l'énergie rayonnée avec une certaine polarisation se trouve après propagation avec la polarisation orthogonale ; au-delà de 6 GHz, les principaux effets sont produits par les hydrométéores c'est-à-dire par la pluie et les cristaux de glace.

En effet, la pluie cause une absorption et une diffusion qui donnent lieu à un affaiblissement qui dépend de l'intensité de la précipitation et de la fréquence. Comme l'intensité des précipitations varie d'un point à un autre en fonction du temps, il résulte que l'onde radioélectrique rencontre des conditions pluviométriques différentes le long du trajet.

Les gouttes de pluie ont une forme lenticulaire pendant la chute, leur axe de révolution étant vertical, l'atténuation diffère selon que l'onde est polarisée horizontalement ou verticalement et il se produit un transfert d'énergie d'une polarisation à l'autre qui est appelé transpolarisation [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET]. La figure (4) montre la variation de l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la pluie.

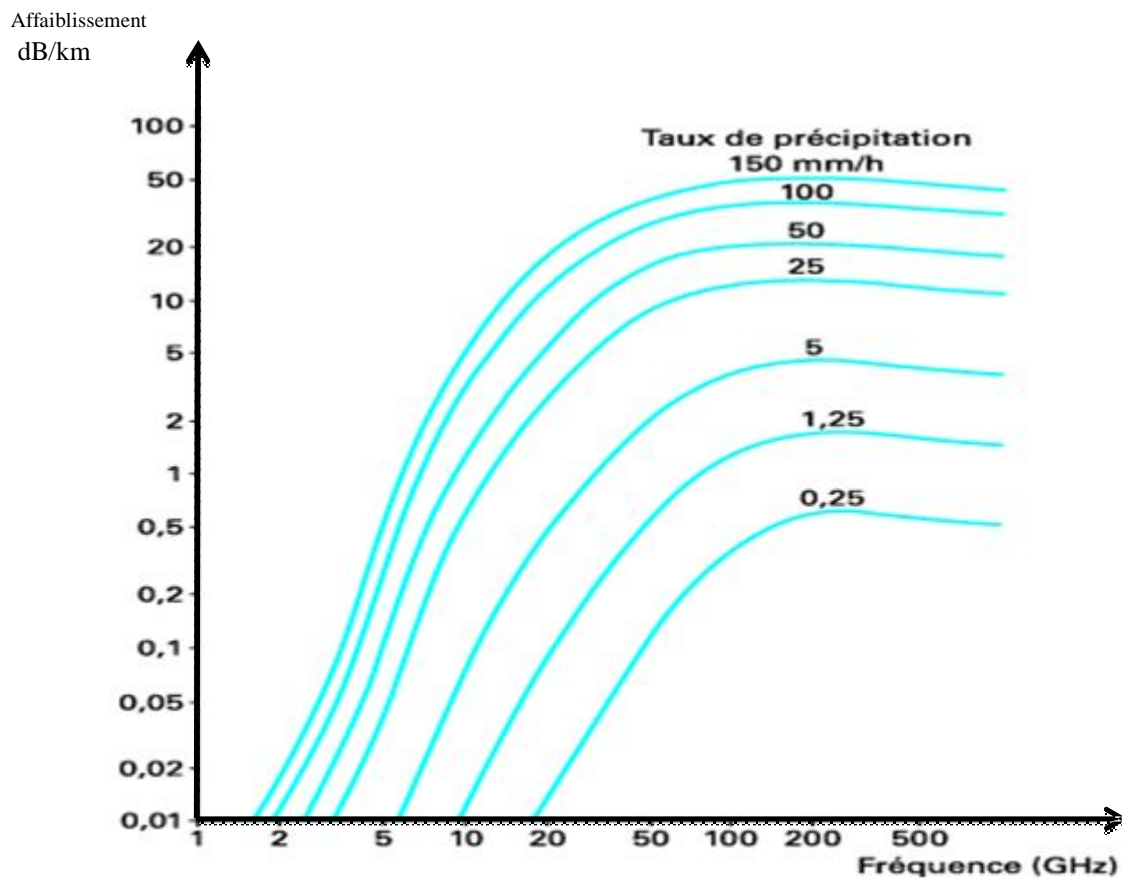


Fig.4 : Affaiblissement linéique (dB/km) dû à la pluie en fonction de la fréquence pour différents taux de précipitation (UIT-R P. 838)

I.5.3. Les contraintes de propagation

I.5.3.1. La diffraction :

Un autre phénomène auquel les ondes radio sont sujettes est la diffraction. Elle peut être expliquée brièvement par le principe de Huygens-Fresnel : chaque point par lequel passe une onde peut être considéré comme une nouvelle source de l'onde, émise dans toutes les directions. En l'absence d'obstacles, la somme des ondes émises donne un front d'onde qui se propage « normalement », dans une direction, car les ondes émises dans les autres directions s'annulent mutuellement.

Toutefois, dès que le front de l'onde se heurte à un obstacle, les ondes émises par les points situés aux extrémités de cet obstacle se propagent dans toutes les directions et ne sont plus annulées par les ondes voisines : l'obstacle peut ainsi être contourné, en particulier si ses bords sont saillants [L. Boithias].

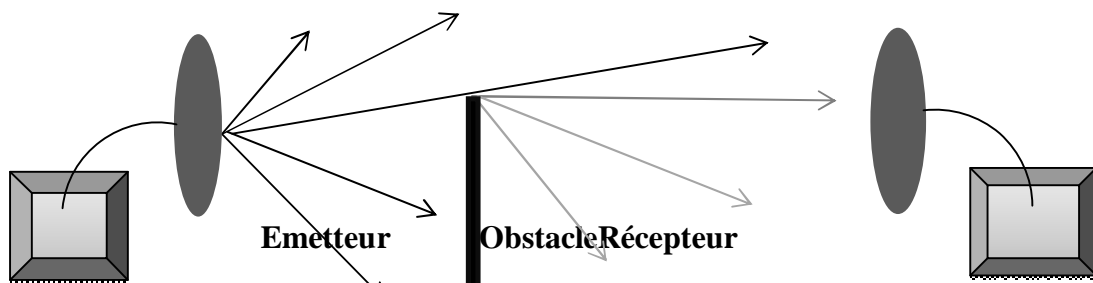


Fig.5 : *La diffraction*

La diffraction se produit lorsqu'une onde rencontre l'arrête d'un obstacle (montagne, colline, bâtiments, etc.) dont les dimensions sont grandes devant la longueur d'onde. Elle constitue l'un des facteurs les plus importants intervenant dans la propagation des ondes radioélectriques.

- **Géométrie de la zone de Fresnel**

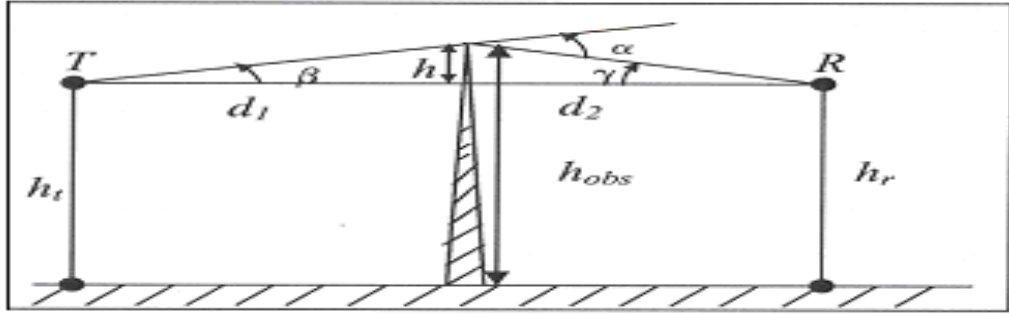


Fig.6: Géométrie de la zone de Fresnel.

Considérons un émetteur et un récepteur séparés dans l'espace comme le montre la figure.6, Un écran de hauteur h se situe à une distance d_1 de l'émetteur et à une distance d_2 du récepteur. Il est apparent que l'onde se propageant de l'émetteur vers le récepteur à travers le sommet de l'obstacle suit un chemin plus long que le trajet direct. On suppose que $h \ll d_1, d_2$ et $h \gg \lambda$.

La différence entre le chemin direct et le chemin diffracté est :

$$\Delta = \frac{h^2 (d_1 + d_2)}{2 d_1 d_2} \quad (\text{I.17})$$

La différence de phase correspondante est :

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi h^2 (d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2} \quad (\text{I.18})$$

Le paramètre de diffraction est donné par :

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)} = \alpha \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)} \quad (\text{I.19})$$

Où α est en radians, elle est montrée dans la figure 6, et $\phi = \frac{\pi}{2} v^2$

Les équations précédentes montrent que la différence de phase entre le chemin direct et celui diffracté est fonction de la hauteur et de la position de l'obstacle. Elle dépend aussi des positions de l'émetteur et du récepteur.

Afin d'évaluer un ordre de grandeur de l'affaiblissement par diffraction dans les bandes de fréquences qui nous intéressent, considérons une arête sans épaisseur au sommet à la

hauteur h par rapport à la droite qui joint l'émetteur au récepteur. Soit d la distance totale, d_1 et d_2 les distances respectives de l'arête à l'émetteur et au récepteur figure (6).

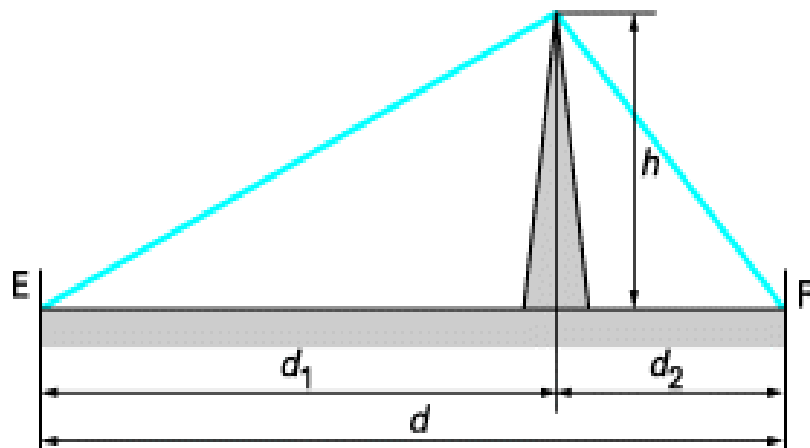


Fig.7 - Représentation schématique d'une arête vive diffractante

Comme le paramètre :

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

Si v est négatif, c'est-à-dire lorsque le sommet de l'arête est au-dessous de la droite reliant l'émetteur au récepteur, P_r/P_t tend en oscillant vers le niveau d'espace libre, tandis que pour v positif, P_r/P_t décroît régulièrement à mesure que l'obstruction de l'arête augmente. Pour $v=0$ (nul), l'émetteur et le récepteur sont alignés avec le sommet de l'arête et l'affaiblissement est de 6 dB (en radio on perd 6 dB)[P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].

Dans le cas de l'obstruction, nous avons des expressions approchées :

§ $10 \log(P_r/P_t) = -13 - 20 \log v$, relation valable plus particulièrement pour $v > 1,5$.

§ $10 \log(P_r/P_t) = -6,9 + 20 \lg [\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} - v + 0,1]$, plus particulièrement valable pour $v > -0,7$ et utilisable au voisinage de 0.

La figure.8: donne le niveau d'atténuation en fonction de la hauteur de l'arête par rapport à l'axe émetteur-récepteur.

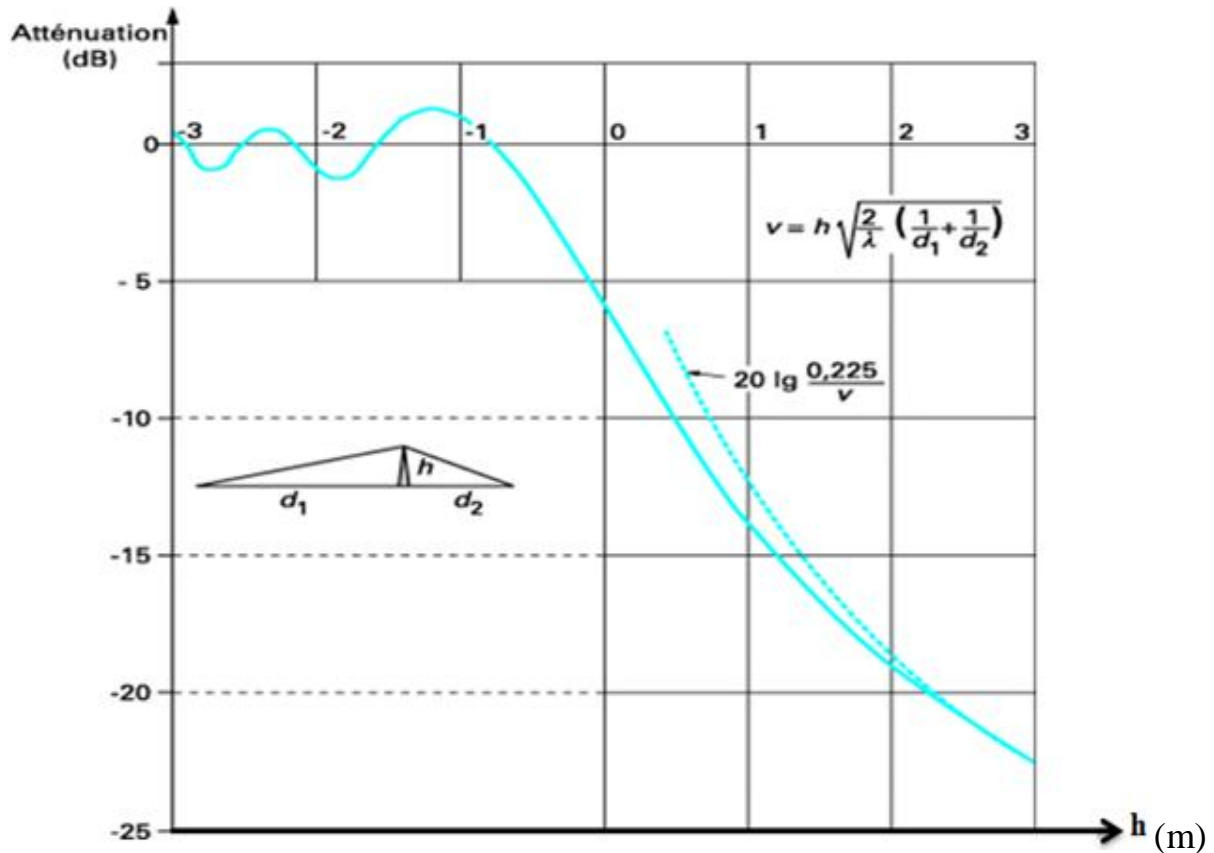


Fig.8 - Atténuation due à la diffraction par une arête (UIT-R).

I.5.3.2. La diffusion

Contrairement à la diffusion troposphérique due à la présence permanente d'hétérogénéités de l'indice de réfraction au sein de l'atmosphère, la diffusion par la pluie n'apparaît que lorsqu'il pleut dans le volume commun des faisceaux d'antennes [J. Lavergnat, M. Sylvain]

Diffusion par la pluie : Si le diamètre des gouttes de pluie est relativement petit par rapport à la longueur d'onde, la section efficace de diffusion d'une goutte de pluie (rapport de la puissance diffusée à la puissance surfacique de l'onde incidente) est proportionnelle au carré du volume de la particule. Elle est donnée par la *relation de Rayleigh* :

$$\sigma_i = \pi^5 \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \right)^2 \frac{D_i^6}{\lambda^4} \quad (I.20)$$

Avec :

ε : la permittivité de l'eau,

D_i : le diamètre de la goutte de pluie i ,

λ : la longueur d'onde.

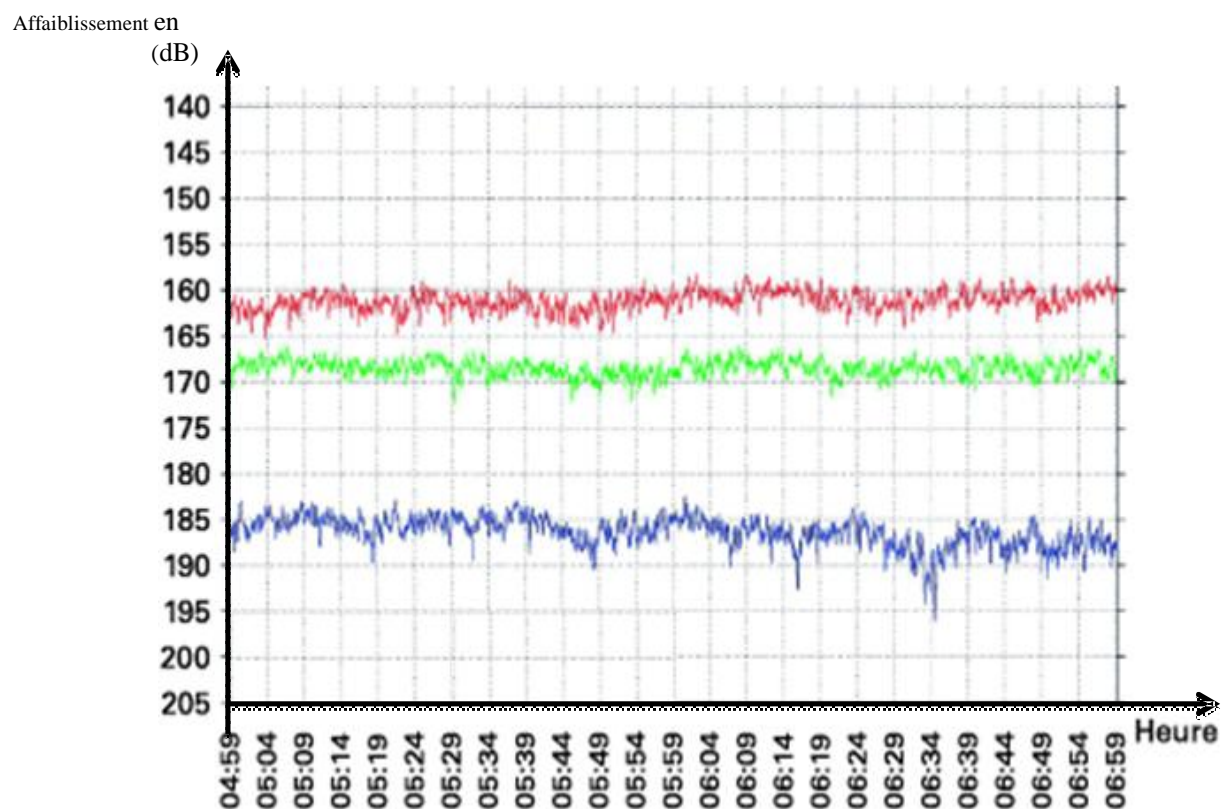





Fig.9 - Exemple de variation du champ radioélectrique due à la diffusion troposphérique (UIT-R)

Avec :

-  Fréquence de l'ordre 468 Mhz
-  Fréquence de l'ordre 915 Mhz
-  Fréquence de l'ordre 2208 Mhz

La section efficace totale de diffusion de toutes les gouttes contenues dans l'unité de volume V est :

$$\sigma_d = \sum_{i=1}^N \frac{N_i \sigma_i}{V} = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2} \right)^2 \sum_{i=1}^N \frac{N_i D_i^5}{V} \quad (\text{I.21})$$

Elle est donc proportionnelle à :

$$\sum_{i=1}^N D_i^6$$

En définissant le facteur de réflectivité radar Z par la relation :

$$Z = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N N_i D_i^6 \quad (\text{I.22})$$

Il en résulte que la section efficace totale de diffusion devient :

$$\sigma_d = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2} \right)^2 Z \quad (\text{I.21})$$

Le rapport, $\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2} \right)^2$ dans le cas de la pluie, est presque indépendant de la fréquence bien que les parties réelle et imaginaire de ε varient fortement pour les fréquences supérieures à 10 GHz. Entre les fréquences basses et environ 100 GHz on le prendra égal à environ 0,93. Par contre pour la glace cette quantité ne dépasse pas 0,2. La puissance reçue par diffusion sur un volume de pluie V situé respectivement aux distances d_t et d_r des antennes d'émission et de réception, et en dehors du trajet direct, est :

$$P_r = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \frac{\sigma_d V}{d_t^2 d_r^2} P_t \quad (\text{I.22})$$

I.5.3.3. La réflexion :

Les réflexions sur le sol peuvent être à l'origine des évanouissements Profonds par interférences entre faisceau direct et faisceau réfléchi, lorsqu'ils arrivent en opposition de phase et que le coefficient de réflexion est élevé. C'est notamment le cas sur les eaux calmes miroitantes. La profondeur de l'évanouissement est le rapport exprimé en décibels entre la puissance reçue calculée à l'espace libre et la puissance reçue au moment de l'évanouissement [J. Lavergnat, M. Sylvain].

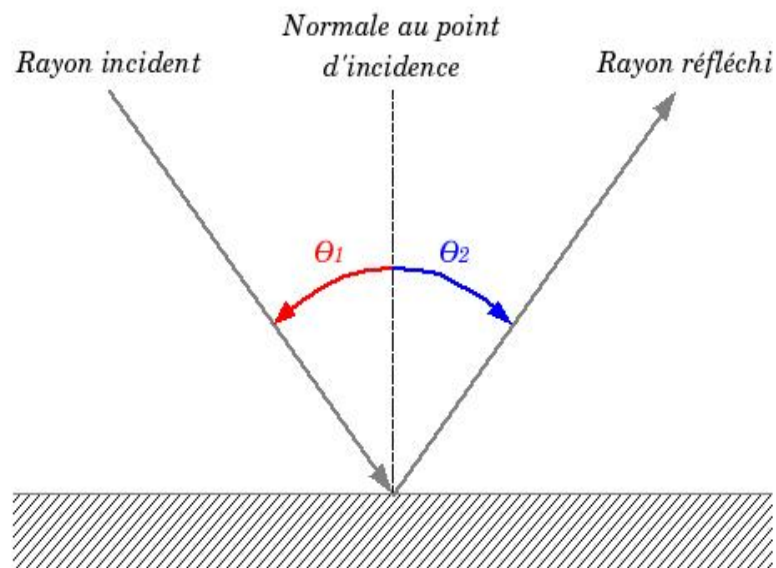


Fig.12: Réflexion

I.5.3.3.1. Modélisation de la réflexion sur le sol

Dans les systèmes de communication (liaisons fixes ou mobiles), la distance séparant l'émetteur du récepteur est généralement de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres. La Terre est donc supposée plate.

Le modèle de propagation à deux rayons, basé sur l'optique géométrique (figure.10) considère la combinaison du rayon direct et du rayon réfléchi sur le sol. Le signal reçu résulte

de l'interférence des deux signaux ayant parcouru des chemins différents. Suivant la phase relative de ces derniers le champ reçu peut être maximum ou minimal.

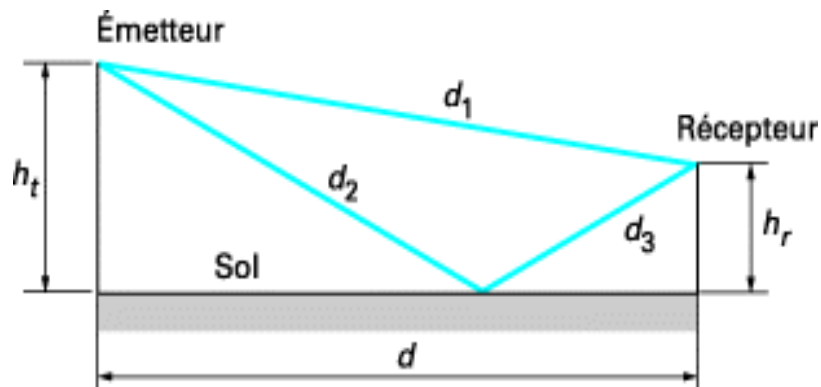


Fig.10 - Modèle à deux rayons

Le champ reçu E_{total} est la somme du rayon direct et du rayon réfléchi sur le sol

Avec :

$E_d(d)$: le champ en espace libre au niveau du récepteur,

R : le coefficient de réflexion,

$\Delta\varphi$: La différence de phase entre les deux trajets.

Si h_t et h_r sont respectivement les hauteurs des antennes d'émission et de réception et d la distance entre l'émetteur et le récepteur, la différence de marche entre les deux rayons, basée sur des considérations géométriques, est selon la méthode des images ;

Soit :

$$\Delta d = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (I.23)$$

La distance d étant grande comparativement aux hauteurs des antennes, la différence de marche peut s'écrire selon l'approximation des séries de Taylor :

$$\Delta d = \frac{2h_t h_r}{d} \quad (I.24)$$

Soit :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta d = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h_t h_r}{d} \quad (I.25)$$

Pour de grandes valeurs de d ($d \gg \sqrt{h_t h_r}$), et avec $R \approx -1$, $\Delta\varphi$ est petit, alors :

$$E_{total}(d) \approx E_d(d) \Delta\varphi = E_d(d) \frac{4\pi}{\lambda} \frac{h_t h_r}{d} \quad (I.26)$$

La puissance reçue en espace libre:

$$P_r(d) = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} P_t \text{ (I.27)}$$

Elle devient donc :

$$P_r(d) = \left(\frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \right)^2 G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} P_t = \frac{h_t h_r}{d^4} G_t G_r P_t \text{ (I.28)}$$

La puissance reçue est ainsi, à grande distance, inversement proportionnelle à d^4 soit une décroissance de 40 dB par décade, décroissance bien plus rapide que celle reçue en espace libre. On notera également que la puissance reçue et l'affaiblissement deviennent indépendants de la fréquence [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].

Cette situation où le rayon direct et le rayon réfléchi ont des trajets faiblement différents est donc à éviter. Afin de pallier à l'interférence entre les deux signaux, il est judicieux de placer l'antenne réceptrice de telle sorte que le rayon réfléchi soit masqué par un obstacle (fig.11).

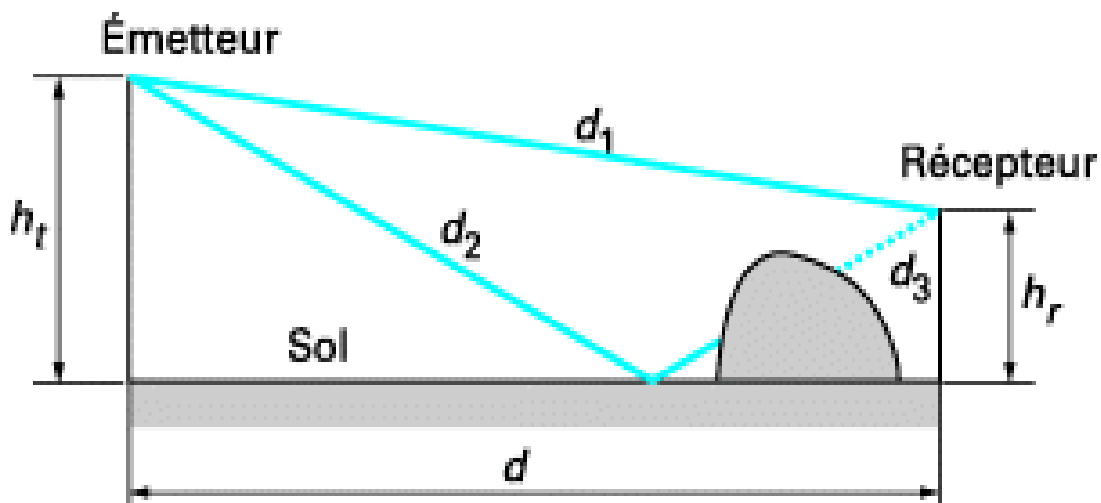


Fig.11 - Schéma montrant le masquage du rayon réfléchi par un obstacle

I.5.3.4. La réfraction

L'établissement d'un projet de faisceaux hertziens nécessite la connaissance de la valeur moyenne et des variations possibles de la courbure des rayons. Des mesures de l'indice de réfraction ont mis en évidence que dans une zone donnée et dans les premières couches

atmosphériques, l'indice pouvait souvent être considéré de façon très grossière comme une fonction linéaire de l'altitude.

Ø Réfraction dans l'atmosphère

En radioélectricité, la troposphère est considérée comme un diélectrique d'indice de réfraction proche de l'unité, mais dont les variations, bien que petites, vont jouer un rôle important.

L'indice de réfraction n est donné par : $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$

Avec :

ϵ_r : Constante diélectrique relative,

μ_r : Perméabilité relative.

La valeur moyenne de l'indice de réfraction n au niveau du sol varie autour de 1,000 3. Les variations portant sur les cinquièmes et sixièmes décimales, on utilise le Co-indice N qui donne une valeur pratique de l'indice. Ces deux indices sont reliés par la formule suivante :

Le Co-indice peut être obtenu soit en le mesurant directement à l'aide d'un réfractomètre, soit en le calculant à partir de données météorologiques à l'aide de la relation suivante :

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 * 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1.29)$$

Remarque : La relation entre la réfractivité N et l'indice de réfraction de l'atmosphère est donnée par : $N = (n - 1) * 100000$

Avec :

T : température absolue en K,

P : pression atmosphérique en hPa,

e : Pression partielle de vapeur d'eau en hPa : $e = \frac{H e_s}{100}$

Avec :

H : humidité relative de l'air (quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air en pourcentage par rapport à la quantité maximale que cet air pourrait en contenir à la même température),

e_s : pression de la vapeur saturante ; elle est reliée à la température de l'air t (°C) par l'expression suivante :

$$e_s = a \exp\left(\frac{bt}{t+c}\right)$$

Les valeurs des coefficients a , b et c pour l'eau liquide sont :

$a = 6,112 1$, $b = 17,502$ et $c = 240,97$.

Remarque : Ces relations sont applicables entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec une précision de 0,2 %.

Le premier terme de l'expression de N , fonction de la pression et de la température, est la composante *sèche* ; le second terme, fonction de l'humidité et de la température, est la composante *humide*. La composante sèche est la composante la plus forte, elle contribue à la valeur du Co-indice pour 60 à 80 %. Des abaques donnent la valeur des composantes sèche et humide en fonction des différents paramètres météorologiques. En été, la composante humide a tendance à augmenter et la composante sèche a tendance à diminuer. En hiver, la composante humide est faible alors que la composante sèche tend à croître en raison des faibles températures.

Comme la pression, la température et l'humidité varient en fonction de l'altitude, l'indice de l'air varie également en fonction de la distance et de l'altitude. Ces variations dépendent essentiellement de phénomènes climatiques tels que la subsidence, les radiations nocturnes..., et de la nature du sol (présence d'eau sur le sol). La variabilité avec la distance est surtout très forte sur les trajets mixtes (terre-mer) où le passage d'îles est très marqué. La variabilité verticale, généralement la seule prise en considération, a une très grande importance en propagation. Néanmoins dans notre étude on se contentera de la variabilité avec la distance [P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET].

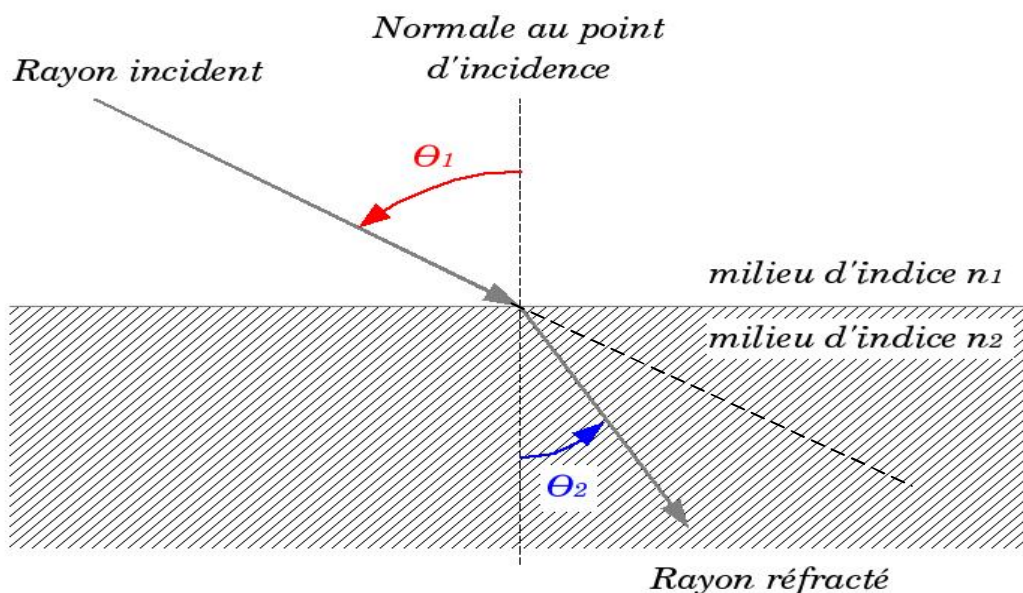


Fig.12: Réfraction

I.5.4. Affaiblissement de parcours

L'affaiblissement de parcours est un paramètre important pour la caractérisation du signal dans un canal radio mobile. Il est défini par une relation entre la puissance émise et la puissance reçue [F. MOUPFOUMA], Dans la plupart des cas, il est exprimé en dB, Il est donné par la relation suivante :

$$L = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = P_t(\text{dbm}) - P_r(\text{dbm}) \quad (\text{I.30})$$

I.5.5. Trajets multiples (multipath)

Réflexions et diffractions sont utiles pour capter le signal à un endroit où l'émetteur n'est pas visible : on dit qu'on est en condition de Non Line of Sight (NLOS) c'est-à-dire que l'on n'a pas une ligne de vision directe. Mais les réflexions et diffractions peuvent également être nuisibles lorsqu'elles font apparaître de multiples chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur (on parle de multipath). Dans ce cas, un même signal peut alors atteindre le récepteur à plusieurs moments différents. Il y a alors trois conséquences néfastes possibles

1. si le décalage dans le temps est tel que les différentes ondes soient en opposition de phase le signal est atténué, voire même complètement annulé si les ondes opposées ont une puissance identique
2. en arrivant par plusieurs chemins distincts, le signal est étalé dans le temps et le récepteur doit être capable de l'interpréter correctement
3. si le décalage est très important, un symbole peut arriver en même temps que le symbole suivant (interférence inter symboles), ce qui perturbe fortement la communication.

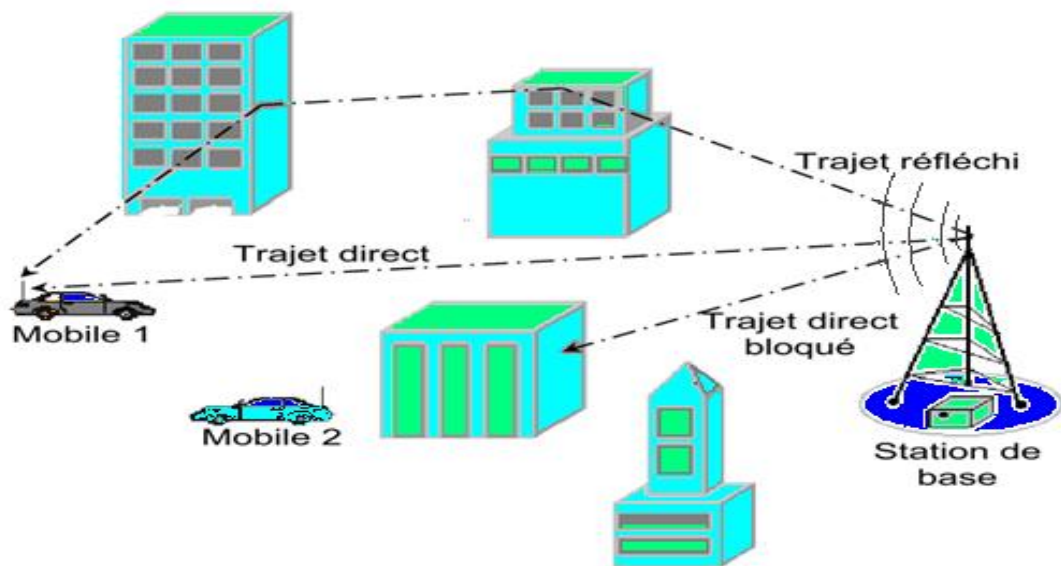


Fig.12 : trajets multiples

Pour réduire les problèmes de réception en condition NLOS, on peut commencer par attaquer le mal à la racine en essayant de positionner les antennes et si possible les obstacles de telle sorte que les interférences soient moins intenses.

Un outil d'analyse s'avère alors encore très utile : en déplaçant les antennes (ou les obstacles) et en mesurant l'impact sur le FER, la puissance du signal reçu et le RSB, on peut parvenir à améliorer la situation considérablement. Pour le problème d'opposition de phase, un déplacement des antennes ou des obstacles, même léger, peut parfois résoudre le problème : les interférences peuvent créer de petites zones d'ombres qu'on peut parfois simplement éviter.

On peut également veiller à limiter les surfaces réfléchissantes telles que les surfaces métalliques qui reflètent énormément le signal radio : il suffit parfois de relever les stores en métal pour obtenir un meilleur signal.

I.6.Conclusion

On peut conclure finalement que l'atmosphère est plus transparente pour les fréquences inférieures à 20 GHz. Elle présente deux raies d'absorption par la vapeur d'eau : une peu intense à 22.235 GHz et une très forte à 183.31 GHz qui la rend complètement opaque. L'absorption par l'oxygène est prépondérante dans un complexe de raies entre 50 et 70 GHz et dans une raie isolée à 118.75 GHz. Les régions spectrales entre ces raies constituent des fenêtres pour lesquelles l'atmosphère est de moins en moins transparente à mesure que la fréquence augmente.

Néanmoins dans la pratique il faudrait prendre en évidence l'ensemble des phénomènes influant sur la propagation radioélectrique que ce soit les divers phénomènes météorologiques tels qu'hydrométéores (pluie, neige, grêle), ainsi que l'ensemble des affaiblissements supplémentaires dus aux différents effets de l'environnement : (bâtiments, végétation, obstacles, etc...).

CHAPITRE II

Généralités sur le Réseau GSM

II. Introduction

Si la téléphonie mobile se banalise aujourd'hui, on le doit à la conjonction de l'avènement du numérique, à l'accroissement des performances des semi-conducteurs et à différentes avancées technologiques. Mais le facteur déterminant fut sans doute la cristallisation autour de la norme GSM issue d'un effort soutenu de standardisation mené à l'ETSI (Organe Européen de Normalisation en Télécommunications), créé à l'initiative du conseil des ministres.

Dans ce chapitre, nous passerons en revue différents aspects de la technologie GSM on mettra en avant les différents composants d'un réseau de radiocommunication cellulaire de type GSM et son architecture réseau, les caractérisations de la partie radio, et les différentes interfaces de liaisons, etc.

Pour permettre cette étude, une rapide définition sur les principes généraux qui permettront ensuite de promouvoir le système GSM en particulier sur lequel l'étude portera. Comme on pourra le constater dans la suite, les acronymes abondent dans ce domaine pour cela un glossaire est fourni en fin de l'article de sorte à faciliter la lecture.

II.1 Le réseau GSM

II.1.1. Historique

L'histoire de la téléphonie mobile numérique débute réellement en 1982. En effet, à cette date le *Groupe Spécial Mobile*, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes de Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences des [890 à 915] Mhz pour l'émission à partir des stations mobiles et [935 à 960] Mhz pour l'émission à partir de stations fixes.

Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau de traitement des signaux, avec pour dérivées des techniques de transmission fiables, grâce à un encodage particulier des signaux préalablement à l'envoi dans un canal, et l'obtention de débits de transmission raisonnables pour les signaux.

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles: transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient Global System for Mobile communications et les spécifications sont adaptées pour les systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 Mhz.

II.2. Présentation du réseau de téléphonie cellulaire GSM

II.2.1. Le concept cellulaire

Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (50 km de rayon), au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission). Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur se trouvant dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles. La première amélioration consista à allouer un canal à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin permettant ainsi d'augmenter statistiquement le nombre d'abonnés, étant entendu que tout le monde ne téléphone pas en même temps.

Mais ce système nécessitait toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante (8 [W]) et donc des appareils mobiles de taille et de poids conséquents. De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilise donc le spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale. C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées *cellules*, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommés *fréquences*. Comme précédemment, ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences [M. Van Droogenbroeck].

Ainsi, on définit des *motifs*, aussi appelés *clusters*, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. La figure (13) montre un tel motif en guise d'exemple.

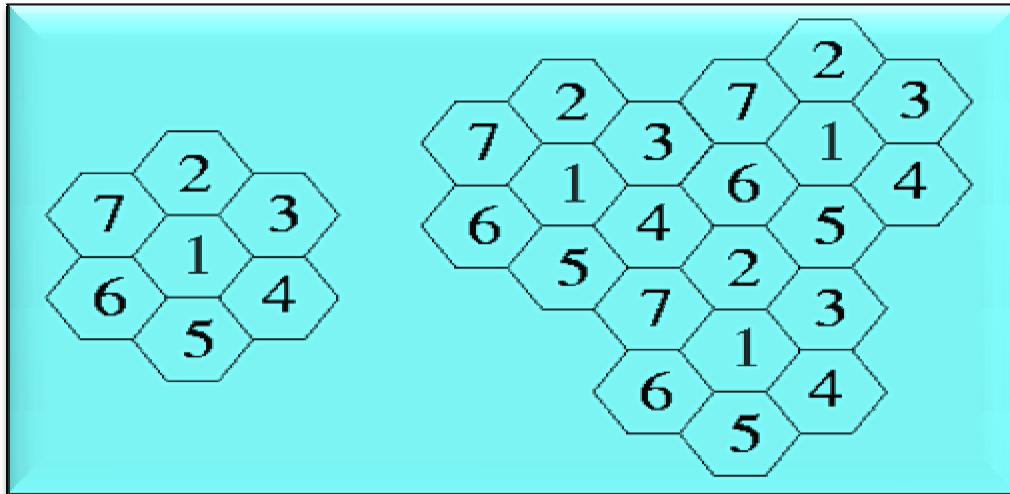


Fig.13: Figure représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle. Cependant, en fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. Afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%, ce qui renforce la contrainte de ne pas avoir une même bande de fréquences dans deux cellules voisines.

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus de contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse. En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base. Grâce à des mesures permanentes entre un téléphone mobile et une station de base, les puissances d'émission sont régulées en permanence pour garantir une qualité adéquate pour une puissance minimale.

En résumé, une cellule se caractérise:

- ∅ par sa *puissance d'émission nominale*, ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.

Ø par la *fréquence de porteuse* utilisée pour l'émission radioélectrique.

Ø par le *réseau* auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, ce ci dépend:

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone,
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, ...),
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, ...) et
- de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela quatre services principaux:

Ø Le service ``*Outdoor*'' qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.

Ø Le service ``*Incar*'' qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibel Watt, notée 6 [dB], dans le bilan de puissance pour en tenir compte.

Ø Le service ``*Indoor*'' qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux:

- le ``*Soft Indoor*'' lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment
- le ``*Deep Indoor*'' lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10 dB d'atténuation supplémentaire pour le Soft Indoor et de 20 dB pour Deep Indoor à 900 MHz. Quand on sait que 10 dB représente un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain [M. Van Droogenbroeck].

II.3. Architecture de référence d'un réseau mobile

Un réseau de radiotéléphonie permet l'accès au réseau téléphonique à partir d'un terminal portatif sur un territoire étendu en utilisant une liaison radioélectrique entre le terminal et le réseau, son premier rôle est de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC) et bien sûr, comme tout réseau il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

Un réseau radio téléphonique peut se décomposer en quatre ensembles :

- Ø Station de base MS (terminal mobile).
- Ø Le sous-système radio BSS (Base Station Sub- system)- (réseau d'accès radio) :
assure les transmissions radio.

- ∅ Le sous-système d'acheminement NSS (network Sub -system)-(réseau cœur) :
comprend les fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la mobilité.
- ∅ Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation Sub- system) :
permet à l'exploitant d'administrer son réseau

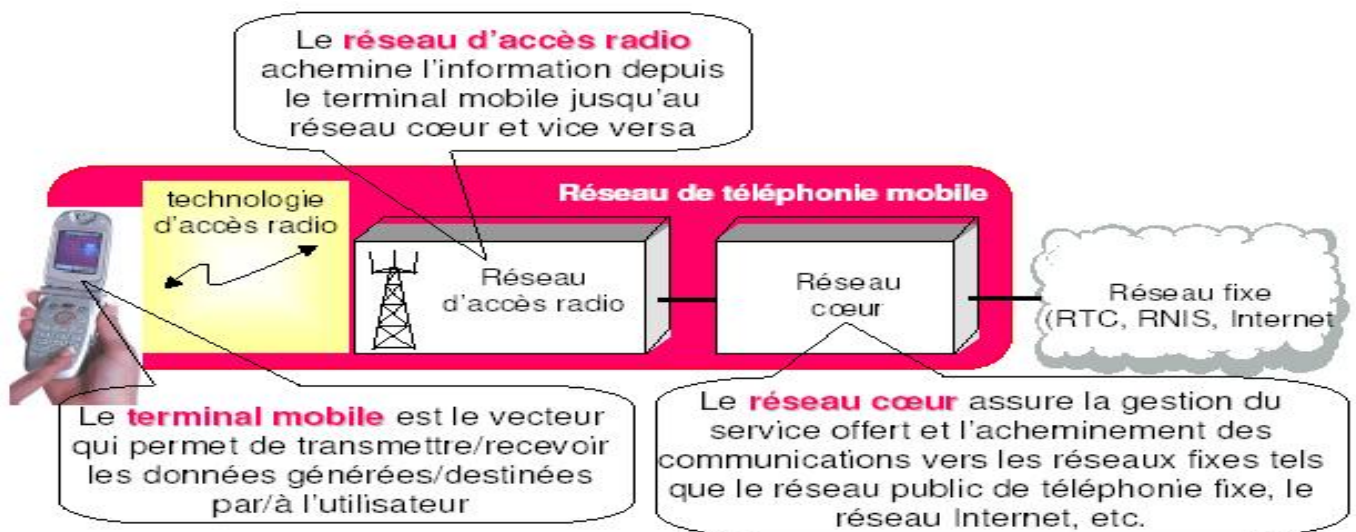


Fig.14 : Architecture de référence d'un réseau mobile.

II.3.1. Architecture canonique GSM

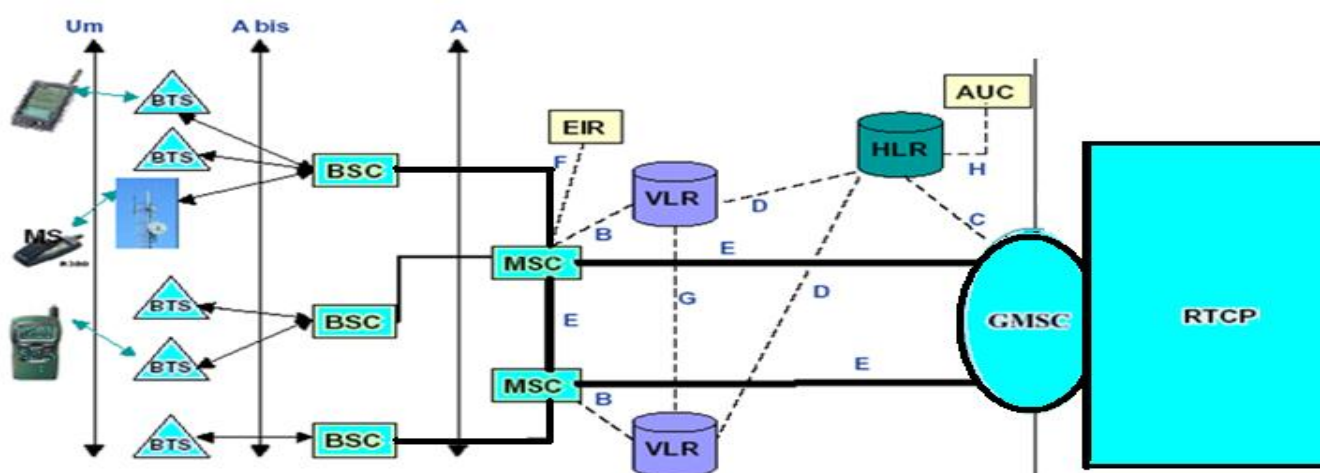


Fig.15: Architecture GSM (Global System for Mobile communications).

II.3.1.1. Architecture matérielle La station mobile MS (Mobile Station)

La station mobile est composée d'une part du terminal mobile, et d'autre part du module d'identité d'abonné SIM (Subscriber Identity Module).

Le terminal mobile est l'appareil utilisé par l'abonné. Différents types de terminaux sont prescrits par la norme en fonction de leur application. (Fixé dans sa voiture, portatif) et de leur puissance (0.8 w à 20 w). Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (International Equipment Identity). Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction des terminaux volés.

Le SIM est une carte à puces qui contient dans sa mémoire le code IMSI (International Mobile Subscriber Identity) qui identifie l'abonné de même que les renseignements relatifs à l'abonnement (Services auxquels l'abonné a droit).

Cette carte peut être utilisée sur plusieurs appareils. Il est à noter que l'utilisateur ne connaît pas son IMSI mais il peut protéger sa carte à puce à l'aide d'un numéro d'identification personnel à quatre chiffres.

En résumé, le terminal mobile est le vecteur qui permet de transmettre ou recevoir les données, générées ou destinées par ou vers l'utilisateur [C. Bettstetter, C. Hartmann].

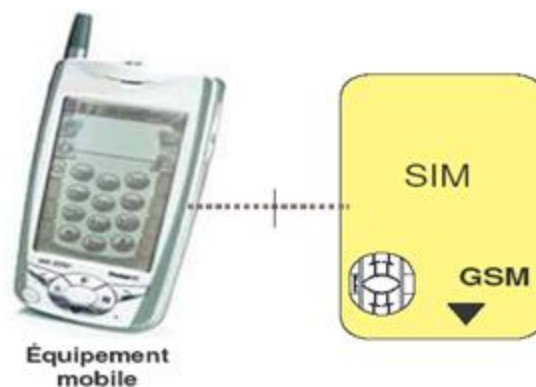


Fig.16 : Le terminal mobile.

II.3.1.2. Architecture matérielle du sous-système radio BSS

Ensemble constitué par une ou plusieurs stations de bases et le contrôleur de station de base associé. Le BSS assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio.

II.3.1.2.1. Les BTS (Base Transceiver Station)

La station de base est l'élément central que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteurs (TRX) pilotant une ou plusieurs cellules.

- ü elle assure le contrôle du dialogue radioélectrique entre le mobile et le réseau.
- ü elle a la charge de la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur)
- ü multiplexage TDMA, chiffrement, saut de fréquence.
- ü réalise l'ensemble des mesures radio nécessaire pour vérifier qu'une communication se déroule normalement.
- ü gère la signalisation entre le mobile et l'infrastructure.
- ü assure la transmission vers le mobile, des ordres de handover, et de contrôle de puissance.

II.3.1.2.2. La BSC (Base Station Controller)

Le contrôleur de station de base est l'organe intelligent du BSS, il pilote une ou plusieurs stations de base selon l'architecture du réseau, qui dépend ici des contraintes imposées par le relief et la densité d'abonnés à desservir. Le contrôleur de station de base gère la ressource radio utilisée par les différents BTS ainsi que les fonctions d'exploitation et de maintenance des BTS qui sont télé exploitée par son huchement.

Elle commande l'allocation des canaux, utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et de la BTS, prend la décision de l'exécution d'un handover. De plus c'est un commutateur qui réalise la concentration des circuits vers le MSC.

II.3.1.3. Architecture matérielle du sous-système réseau NSS (Network Sub System)

Avant l'établissement d'une communication vers le mobile demandé, il faut déterminer le routage à effectuer (roaming).le sous-système réseau appelé network switching center NSC joue un rôle essentiel dans un réseau mobile, les effets 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 connexion.

Principales procédures gérées par le NSS :

- Ø *Procédure IMSI attache* : permet au mobile de se faire connaître auprès du réseau et d'accéder aux services souscrits.
- Ø *Procédure IMSI Detach*: permet au mobile ou au réseau de s'informer l'un de l'autre lorsque les services gérés par le MSC ne sont plus accessibles.
- Ø *Procédure de sécurisation des appels* : comprennent l'authentification, l'assignation d'identificateurs temporaires (TMSI) et l'activation du chiffrement.
- Ø *Procédure de gestion de la mobilité* : permet de suivre le mobile dans ses déplacements tout en assurant la continuité des services.

II.3.1.3.1. Le MSC (centre de communication mobile)

Le centre de commutation de service mobile forme le cœur du réseau GSM, il est relié au sous-système radio via l'interface A, son rôle principal est d'assurer la commutation entre les données du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTCP). Il prend en compte les spécifications introduites par la mobilité, le transfert intercellulaire ou handover, transition de données, messagerie vocale et les services supplémentaires, et les services de bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau [W. PIRARD].

.II.3.1.3.2. Le registre de localisation nominal (HLR)

Le HLR est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :

- Ø *IMSI (International Mobile Subscriber Identity)* :c'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.

Ø *MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network)*: C'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans l'HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de communication.

II.3.1.3.3. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Le VLR appelé (Visitor location Register); cette base de données contient temporairement les informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné a droit. Ce transfert d'information se fait qu'une seule fois et n'est effacées que lorsque l'abonné ferme son appareil ou quitte la région du MSC. A chaque changement de cellule d'un abonné, le réseau doit mettre à jour le « VLR » du réseau visité et le HLR de l'abonné d'où un dialogue permanent entre les bases de données du réseau. Il est a noté que le VLR est toujours associé à une MSC [W. PIRARD]

II.3.1.3.4. Equipement 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 (IMEI international mobile station equipment Identity) 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. Tous les opérateurs n'implantent pas une telle base de données.

II.3.1.3.5. Centre d'authentification (AUC)

Base de données qui contient les paramètres utilisés pour la gestion de la sécurité de l'accès au système c'est-à-dire qu'il mémorise pour chaque abonné une clé secrète pour authentifié les demandes et services et pour chiffrer les communications.

On peut distinguer trois niveaux de protection :

- Ø La carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
- Ø Le chiffrement des communications destine à empêcher l'écoute de celle-ci.
- Ø La protection de l'identité de l'abonné.

Un AUC est en général associé à chaque HLR, l'ensemble peut être intégré dans un même équipement, cependant du point de vue fonctionnel, il ne fait pas partie du même sous système.

II.3.1.3.6. Commutateur d'entrée de service mobile GMSC (Gateway MSC)

Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique publique. Le GMSC est chargé d'acheminer les appels du réseau fixe à un usager GMSC.

II.3.1.3.7. L'unité de transfert GSM (GIWU)

Le GIWU correspond à une interface à divers réseau pour les communications de données. Au cours de ces communications, la transmission de la voix et des données peut alterner.

II.3.1.4. Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) :

Le sous-système d'exploitation et de maintenance, OMC (Operating and Maintenance Center) s'intéresse au fonctionnement du réseau. Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement différent du réseau de communication GSM. On distingue l'OMC-R (Radio) relié aux BSS à travers le BSC qui exploite et maintient le sous-système radio l'OMC-S (Switching) relié au sous-système NSS à travers les MSC qui supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.

L'OMC possède les fonctionnalités suivantes :

- Ø L'accès à distance à tous les éléments qui composent le réseau GSM (BSS, MSC, VLR, HLR, EIR et AUC) ;

- ∅ La gestion des alertes et de l'état du système avec la possibilité d'effectuer différentes sortes de test permettant l'analyse des prestations et la surveillance de la qualité de fonctionnement de ce dernier ;
- ∅ Le stockage de toutes les données relatives au trafic des abonnés nécessaires à la facturation ;
- ∅ La supervision du flux du trafic dans les centrales et l'introduction de changements éventuels dans le même flux ;
- ∅ La visualisation de la configuration du réseau avec la possibilité d'effectuer des changements à partir d'endroits éloignés ;
- ∅ La gestion des abonnés et la possibilité de localiser leur position à l'intérieur de l'aire de couverture ;
- ∅ La réalisation de statistique ;

II.4. Synthèse des principales caractéristiques du GSM

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 [MHz]:

- 1) la bande de fréquence 890 - 915 [MHz] pour les communications montantes (du mobile vers la station de base).
- 2) la bande de fréquence 935 - 960 [MHz] pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 [kHz], cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs. Mais, le nombre d'utilisateurs augmentant, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 [MHz]. On a donc porté la technologie GSM 900 [MHz] vers une bande ouverte à plus haute fréquence. C'est le système DCS-1800(Digital Communication System) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service. Les communications montantes se

faisant alors entre 1710 et 1785 [MHz] et les communications descendantes entre 1805 et 1880 [MHz].

Connaissant les différents canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel, (appelé *Frequency Division Multiple Access FDMA*), en attribuant un certain nombre de fréquences porteuses par station de base. Un opérateur ne dédie pas pour autant une bande de fréquences par utilisateur, car cela conduirait à un gaspillage de ressources radio étant donné qu'un utilisateur émet par intermittence. De plus, avec un tel système, si une source parasite émet un bruit à une fréquence bien déterminée, le signal qui se trouve dans la bande de fréquence contenant le parasite sera perturbé. Pour résoudre ces problèmes, on combine le multiplexage en fréquence à un multiplexage temporel (appelé *Time Division Multiple Access ou TDMA*) consistant à diviser chaque canal de communication en trames de 8 intervalles de temps (dans le cas du GSM). Ainsi, avec le TDMA, il est par exemple possible de faire parler huit utilisateurs l'un après l'autre dans le même canal. On multiplie donc par huit le nombre de canaux disponibles par unité de temps. Le tableau II.1 : montre les caractéristiques des réseaux à technologie GSM et il compare les normes.

	<i>GSM</i>	<i>DCS-1800</i>
<i>Bande de fréquences (↑)</i>	890, 2 - 915 [MHz]	1710 - 1785 [MHz]
<i>Bande de fréquences (↓)</i>	935, 2 - 960 [MHz]	1805 - 1880 [MHz]
<i>Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA</i>	8	8
<i>Débit total par canal</i>	271 [kb/s]	271 [kb/s]
<i>Débit de la parole</i>	13 [kb/s]	13 [kb/s]
<i>Débit maximal de données</i>	12 [kb/s]	12 [kb/s]
<i>Technique de multiplexage</i>	<i>Multiplexage fréquentiel et temporel</i>	<i>Multiplexage fréquentiel et temporel</i>
<i>Rayon de cellules</i>	0, 3 à 30 [km]	0, 1 à 4 [km]
<i>Puissance des terminaux</i>	2 à 8 [W]	0, 25 et 1 [W]
<i>Sensibilité des terminaux</i>	-102 [dB]	
<i>Sensibilité de la station de base</i>	-104 [dB]	

Tableau II 1: Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800.

Tous les terminaux mobiles fabriqués actuellement sont compatibles avec les 2 normes; ces terminaux sont appelés *bi-bandes* ou *dual-band*. Sur le territoire des États-Unis, aucune des bandes de fréquences précitées n'étaient encore disponibles. C'est pourquoi le réseau à technologie GSM américain utilise des bandes autour des 1900 [MHz]. Des terminaux capables d'opérer dans les trois bandes sont appelés *tri-bandes*.

II.4 .1.Description du canal physique

Dans un réseau GSM, deux techniques de multiplexage sont mises en œuvre: le multiplexage *fréquentiel* (FDMA) et le multiplexage *temporel* (TDMA).

II.4 .2.Multiplexage fréquentiel

Dans sa version à 900 [MHz], la norme GSM occupe deux bandes de 25 [MHz]; l'une est utilisée pour la voie montante (890, 2 - 915 [MHz]), l'autre pour la voie descendante (935, 2 - 960 [MHz]). Il est également défini que chaque porteuse de cellule possède une densité spectrale confinée dans une bande de 200 [kHz] ce qui signifie que, théoriquement, on peut disposer de 124 canaux. Notons au passage que la bande de fréquences du DCS-1800 étant plus large, elle peut contenir 374 canaux. Aussi, si on indique par F_u les fréquences porteuses montantes et par F_d les fréquences porteuses descendantes, les valeurs de fréquence porteuse valent :

$$F_u (n) = 890, 2 + 0, 2 \times (n - 1) \text{ [MHz]}$$

$$F_d (n) = 935, 2 + 0, 2 \times (n - 1) \text{ [MHz]}$$

Où $1 \leq n \leq 124$.

Connaissant les canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel en attribuant un certain ensemble de fréquences porteuses par opérateur GSM, c'est le rôle du régulateur, l'ARPT en Algérie, l'opérateur choisit ensuite son plan de fréquences en allouant une ou plusieurs fréquences par station de base.

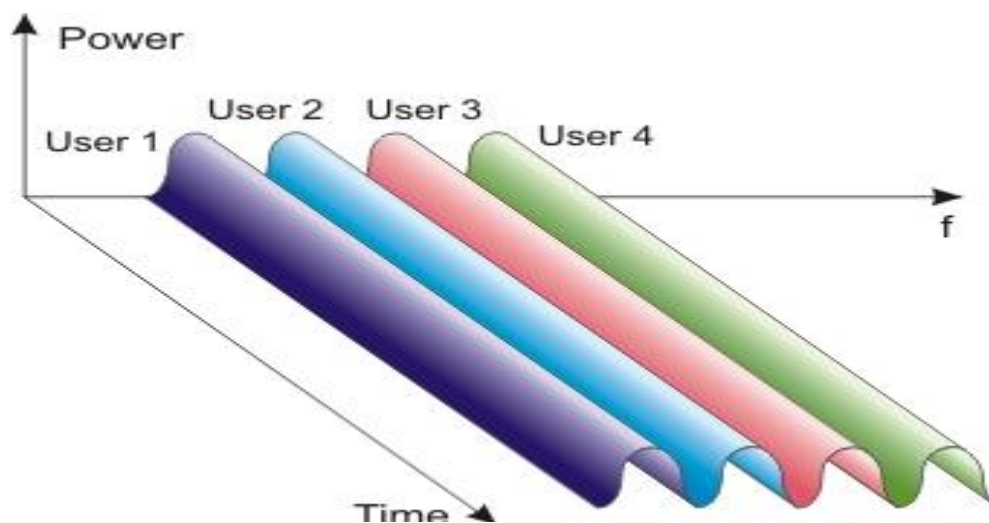


Fig.17: Frequency Division Multiple Access (FDMA).

II.4.3.La modulation

En raison de la forte variabilité de l'amplitude des signaux dans un environnement mobile, on préfère recourir à une technique de modulation angulaire pour ce type d'environnement. La technique de modulation utilisée pour porter le signal à haute fréquence est la modulation GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Comme le suggère son nom, il s'agit d'une variante d'une modulation MSK appartenant à la famille des modulations de fréquence (FM) numériques. On utilise la GMSK car, en raison de la transition rapide entre 2 fréquences ($f_c - \Delta f$ et $f_c + \Delta f$), la modulation par MSK aurait nécessité une trop large bande de fréquences.

La modulation GMSK consiste en une modulation de fréquence à deux états portant non pas sur la séquence originale mais sur une nouvelle séquence dont le bit n est produit comme le résultat de la fonction du OU exclusif (XOR) entre le bit courant et le bit précédent. Après application du XOR, le signal est filtré. La figure II.4, montre la création d'un signal modulé par GMSK.

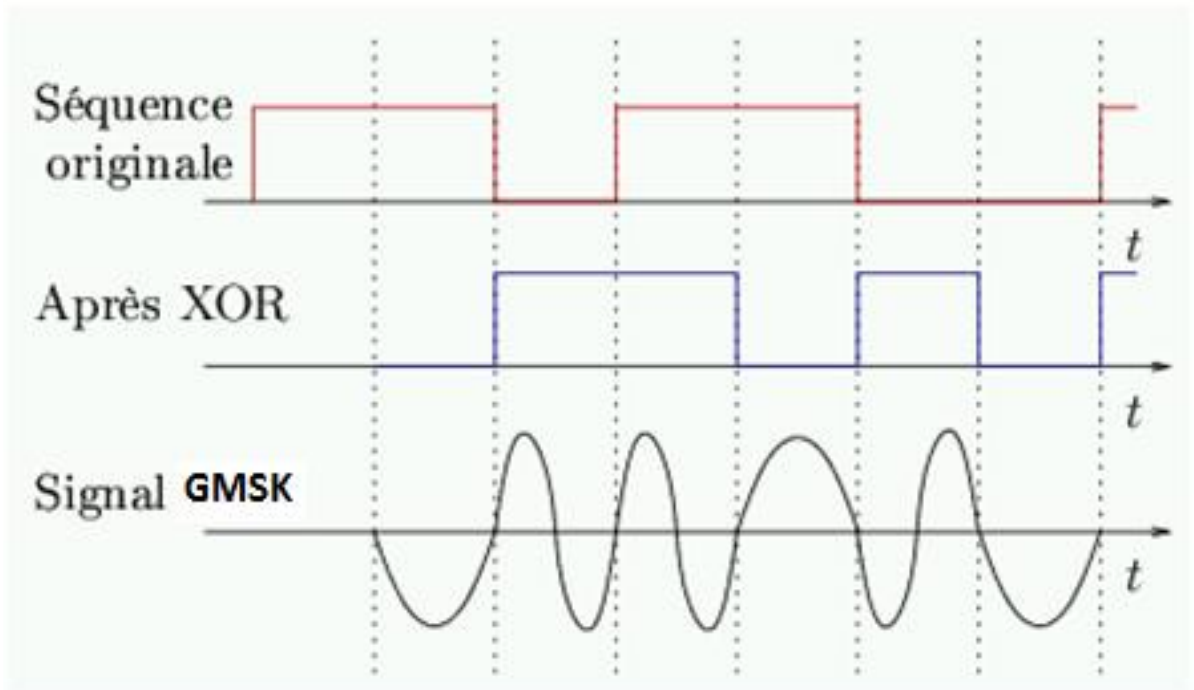


Fig.18: Création d'un signal modulé par GMSK au départ d'un train binaire.

Au bout du compte, il faut une largeur de 200 [kHz] par fréquence porteuse. Sachant que le débit atteint 270 [kb/s], on atteint un rapport du débit à largeur de bande appelé *efficacité spectrale*, proche de 1. Cette valeur est typique pour des environnements mobiles, ce qui signifie que, pour doubler le débit, il n'y a d'autre solution que de doubler la largeur de bande[W. PIRARD]

II.4.4. Multiplexage temporel

Tant pour des questions d'interférences électromagnétiques que pour des raisons d'augmentation de capacité, le multiplexage fréquentiel se double d'un multiplexage temporel. Le multiplexage temporel consiste à diviser chaque canal de communication en 8 intervalles de temps de 0, 577 [ms] chacun.

II.4.4.1. Time Division Multiple Access ou TDMA

Ceci signifie que plusieurs mobiles vont pouvoir utiliser la même fréquence d'émission et la même fréquence de réception. Pour qu'ils ne se perturbent pas, on va leur attribuer la fréquence à tour de rôle.

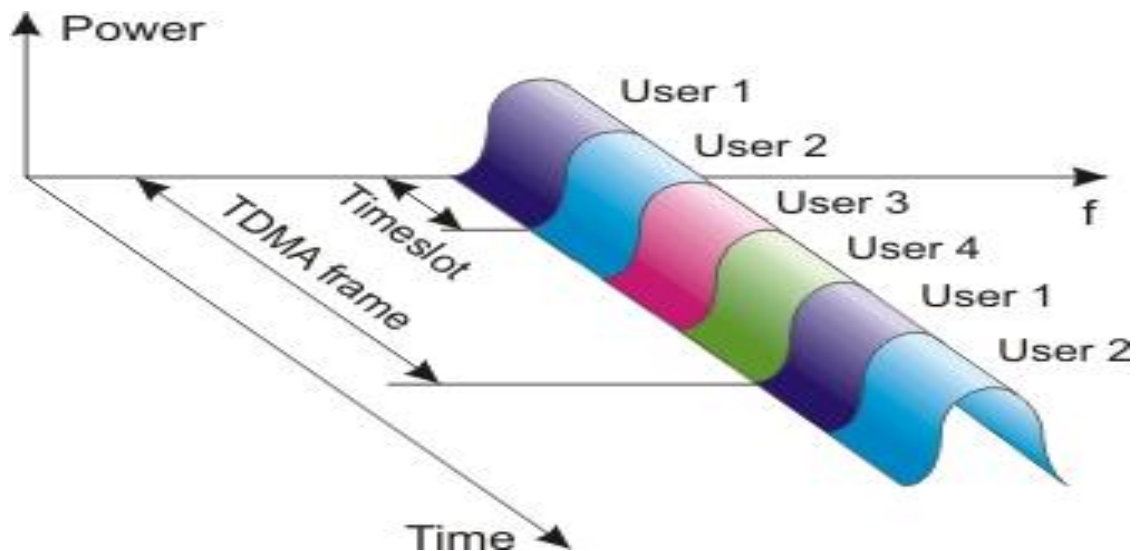


Fig.19: Time Division Multiple Access (TDMA).

Définition de la [Trame] ; On définit dès lors une trame élémentaire de 8 intervalles pour une durée de $8 \times 0,577 = 4,615$ [ms].

Comme il est exclus de transmettre toutes les informations en une seule fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames. Cette hiérarchie est dessinée à la figure qui suit.

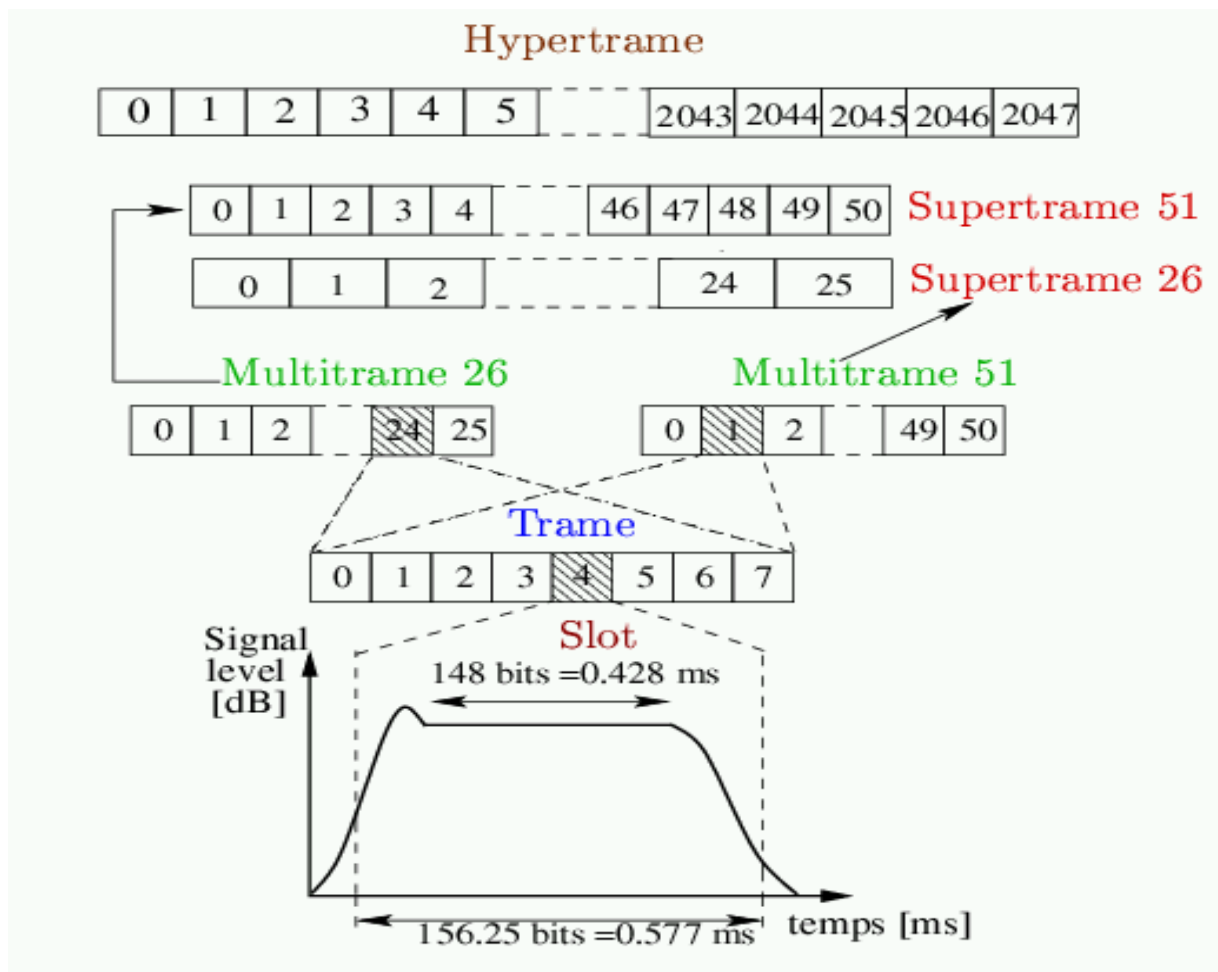


Fig.20: Organisation des multiples de trames.

Les trames sont regroupées comme suit:

- 1 *multi-trame* de type 26 = 26 trames TDMA élémentaires et 1 multi-trame de type 51 = 51 trames TDMA élémentaires,
- 1 *super-trame* de type 26 = 26 multi-trame et 1 super-trame de type 51 = 51 multi-trame
- 1 *hyper-trame* = 2048 super-trames = 2.715.648 trames.

II.4.5. Mécanismes de protection contre les interférences radioélectriques

Le canal d'une communication avec un mobile est changeant et sujet à perturbations. Plusieurs mécanismes sont donc mis en œuvre pour réduire l'impact des interférences.

II.4.5.1. Le saut de fréquences ou Frequency Hopping

Pour protéger les canaux d'une source radio parasite, la fréquence porteuse utilisée pour transmettre une salve de données fluctue au cours du temps. C'est le principe du saut de fréquence ou du *Frequency Hopping* (FH); il est illustré à la figure. Ainsi, si à un moment déterminé, une bande de fréquences est sujette à fortes perturbations, seule une petite quantité de données sera perturbée.

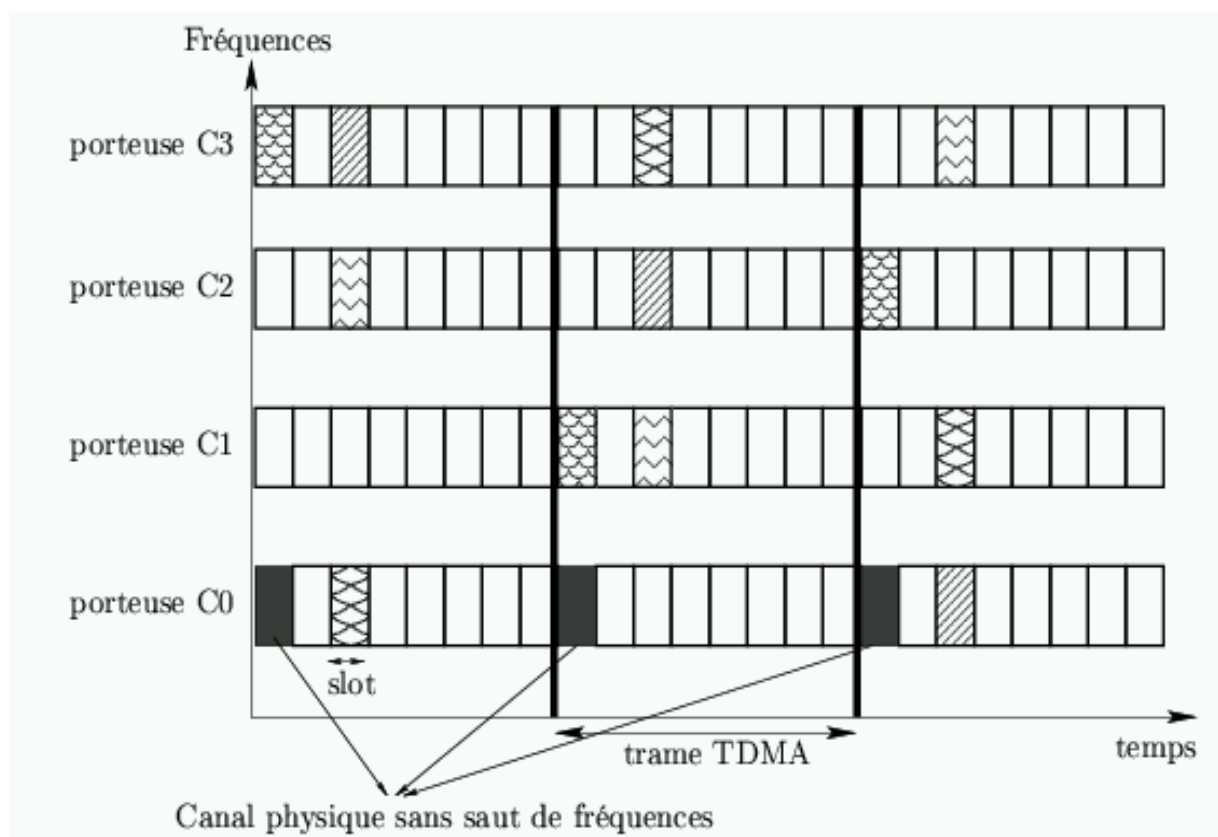


Fig.21 : Principe du saut de fréquence

La norme GSM définit un parcours de fréquence cyclique ou pseudo-aléatoire, comprenant au plus 64 fréquences porteuses. Habituellement, un algorithme standardisé

génère une suite pseudo-aléatoire de nombres s_i compris dans une liste de N fréquences disponibles pour les sauts.

La configuration des sauts se fait au moyen de paramètres tels que:

- ∅ le *Cell Allocation* (CA), la liste des numéros des fréquences utilisées dans une cellule,
- ∅ le *Mobile Allocation* (MA), la liste des numéros des fréquences disponibles pour les sauts,
- ∅ le *Hopping Sequence Number* (HSN), une valeur comprise entre 0 et 63, servant à initialiser le générateur pseudo-aléatoire, et
- ∅ le *Mobile Allocation Index Offset* (MAIO), une valeur comprise entre 0 et 63 qui indique quel décalage doit être utilisé. Cette valeur de décalage est convenue à l'initialisation de l'appel et elle diffère d'un mobile à l'autre.

L'opérateur choisit le nombre de fréquences à prendre pour chaque numéro de trame élémentaire (appelée *slot*). Néanmoins, il doit tenir compte de la nécessité d'un mobile entrant dans le réseau de pouvoir communiquer. Pour cela, on fixe la fréquence porteuse de certains *slots* dans le sens de la station de base vers le mobile. Ce canal a pour fonction essentielle de permettre au mobile de se rattacher à la station de base la plus favorable. Il s'agit par exemple du *slot* 0 pour lequel on fixe une fréquence et on n'autorise le saut que sur 3 fréquences (pour les appels en cours sur le *slot* 0) au lieu de 4 pour les autres *slots*.

I.4.5.2. Décalage temporel des envois

Pour permettre le basculement d'un mobile du mode réception en mode émission, la norme GSM prévoit un décalage de 3 slots. Plus précisément, le mobile émet des informations 3 slots après réception des signaux envoyés par la station de base.

Malgré tout, les informations envoyées par les différents mobiles autour d'une même fréquence porteuse entre en collision au droit de la station de base si la distance entre les mobiles et l'antenne est fort différente d'un mobile à l'autre. Pour éviter des collisions, certains mobiles (les plus distants) doivent avancer le moment de l'envoi. La durée de l'avance temporelle de l'envoi est appelée Timing Advance (TA). Elle est fournie dynamiquement par la station de base.

II.4.5.3. Le codage

Pour protéger les informations des erreurs qui peuvent se produire lors des communications radio et ainsi réduire le taux d'erreur sur bit, trois techniques de codage sont appliqués:

- Ø Un *codage en bloc* qui ajoute un bit de parité au bloc et qui permet la détection d'un nombre impair d'erreurs.
- Ø Un *codage récurrent*, L'information n'est plus sectionnée en parties indépendantes mais certains bits de redondance sont placés régulièrement dans le code.
- Ø On effectue également un *entrelacement par blocs* de 464 bits. Cet entrelacement consiste à répartir les blocs selon une méthode définie. Ainsi, si le canal perturbe une suite de bits consécutifs, l'altération sera diffusée sur un grand nombre de blocs plutôt que sur la totalité d'un bloc; les blocs affectés pourront alors être corrigés grâce aux bits redondants.

II.5. Présentation des interfaces

Les interfaces sont des protocoles permettant de communiquer entre chaque structure du réseau GSM. Elles sont des éléments essentiels définis dans la norme GSM car ce sont des interfaces qui déterminent les interconnexions réseaux au niveau international.

L'interface Air

L'interface Air encore appelée l'interface Um ou interface Radio est localisé entre le terminal c'est à dire la station mobile MS et la station de base BTS. C'est elle qui permet à tout mobile de communiquer dans la totalité du réseau GSM.

L'interface A-bis

L'interface A-bis est localisée entre la station de base BTS et le contrôleur de station de base BSC. Elle permet le transfert des communications à savoir des voies de trafic et des voies de commande. Les différentes fonctions mises en œuvre sur l'interface sont :

- Ø Le trafic de parole et de données ;
- Ø La signalisation entre BTS et BSC (gestion des voies) ;
- Ø Le transport d'information de synchronisation vers la BTS.

L'interface A-ter

L'interface A-ter est localisée entre le contrôleur de station de base BSC et le transcodeur TRAU. Il n'est pas représenté le plus souvent dans les réseaux car il ne relie pas deux sous système.

L'interface X.25

L'interface X.25 relie le BSC au centre d'exploitation et de maintenance (OMC).

L'interface B

C'est l'interface liant le MSC et le VLR. A travers lui sont véhiculées plusieurs données. Elle est utilisée lorsque le VLR réclame des données au MSC. Pour l'authentification des données mobiles, l'attribution des codes, l'enregistrement d'abonnés mobiles itinérants, la recherche des paramètres d'abonnés mobiles pendant l'établissement d'un appel. Il n'est pas généralement normalisé car le VLR et le MSC sont souvent confondus.

L'interface C

C'est l'interface qui lie le MSC (ou GMSC) au VLR. Il est utilisé pour interroger le HLR par rapport aux informations d'acheminement de signalisation pour les appels entrants. Les fonctions de recherche du numéro du MSRN par le GMSC dans le HLR et la transmission de l'information d'acheminement du HLR vers le GMSC sont effectuées par le MAP de l'interface C.

L'interface D

L'interface D sert à relier le VLR et le HLR. C'est l'interface sur laquelle la gestion des informations d'abonnés et de localisation s'effectue. Mais aussi les services supplémentaires véhiculent dans cette interface. Son importance est aussitôt reconnue car elle permet à un MSC/VLR de dialoguer avec le HLR de tout autre réseau étranger. Sa conformité permet son itinérant international. Le transfert de paramètres d'authentification, le transfert du MSRN du HLR au VLR sont tant de fonctions réalisées par le MAP à son niveau.

L'interface E

C'est l'interface reliant deux MSC. Elle sert à réaliser l'établissement d'un appel entre les deux, à gérer aussi l'exécution des « handover ». On la retrouve dans les grands réseaux.

L'interface F

C'est l'interface reliant le MSC et l'EIR. Il est utilisé pour vérifier l'identité du terminal. Cette identité, représentée par le numéro d'IMEI, se trouve dans la base de donnée de l'EIR.

L'interface G

L'interface G est celle qui lie deux VLR. Elle sert au transfert des informations d'abonnés entre eux pendant un enregistrement de localisation.

L'interface H

Elle est située entre le HLR et l'AUC Elle est utilisée pour interroger l'AC par rapport aux données d'authentification des mobiles.

II.6. Conclusion

Le concept GSM n'est pas compliqué mais il est nécessaire de comprendre tous les éléments le constituant. Dans ce chapitre, nous avons présenté le model GSM dans sa totalité à commencer par son architecture générale et l'interaction entre ses différents composants jusqu'à présenter les différents services offerts par le réseau. La mise en œuvre de solutions de couverture reste le souci majeur des opérateurs qui tendent à réaliser un compromis entre couverture, capacité et interférence et ce en utilisant des règles d'ingénierie de planification.

CHAPITRE III

Affaiblissement due à la pluie dans le bilan de liaison

III. Introduction

Le présent chapitre portant sur la partie pratique de l'étude d'une liaison point à point du réseau de transmission (Mobilis) de la wilaya de Tizi-Ouzou, consiste à la réalisation d'un bilan de liaison entre la puissance transmise P_t et la puissance reçue P_r dans une liaison FH (Faisceaux Hertzien), et cela en présence des perturbations météorologiques cas des précipitations. Ce rapport de puissance nous mènera à une comparaison des résultats obtenus en ciel clair. En outre cette étude nous permettra d'établir un lien entre le taux de précipitation et le rapport de puissance cité auparavant en calculant l'affaiblissement du signal dans la liaison point à point FH.

III.1. Réseau de transmission (Mobilis) de Tizi-Ouzou

Dans le cadre d'un stage que j'ai effectué auprès de l'opérateur ATM Mobilis, nous avons mené en premier, une étude sur le fonctionnement du réseau de transmission entre les différents sites gérés par le MSC de Tizi-Ouzou. L'ensemble des sites existants jusqu'à nos jours sur le territoire de la wilaya est donné par le schéma synoptique présenté par la (figure.22 : réseau de transmission T.O). La région est couverte par environ 110 stations BTS gérées par deux BSC et un MSC, un BSC au niveau de la wilaya de BOUIRA et l'autre au niveau de Tizi-Ouzou qui sont à leur tour gérés par le MSC, Tizi-Ouzou ville, nous signalerons aussi au passage que le réseau de transmission comporte neuf sites hubs.

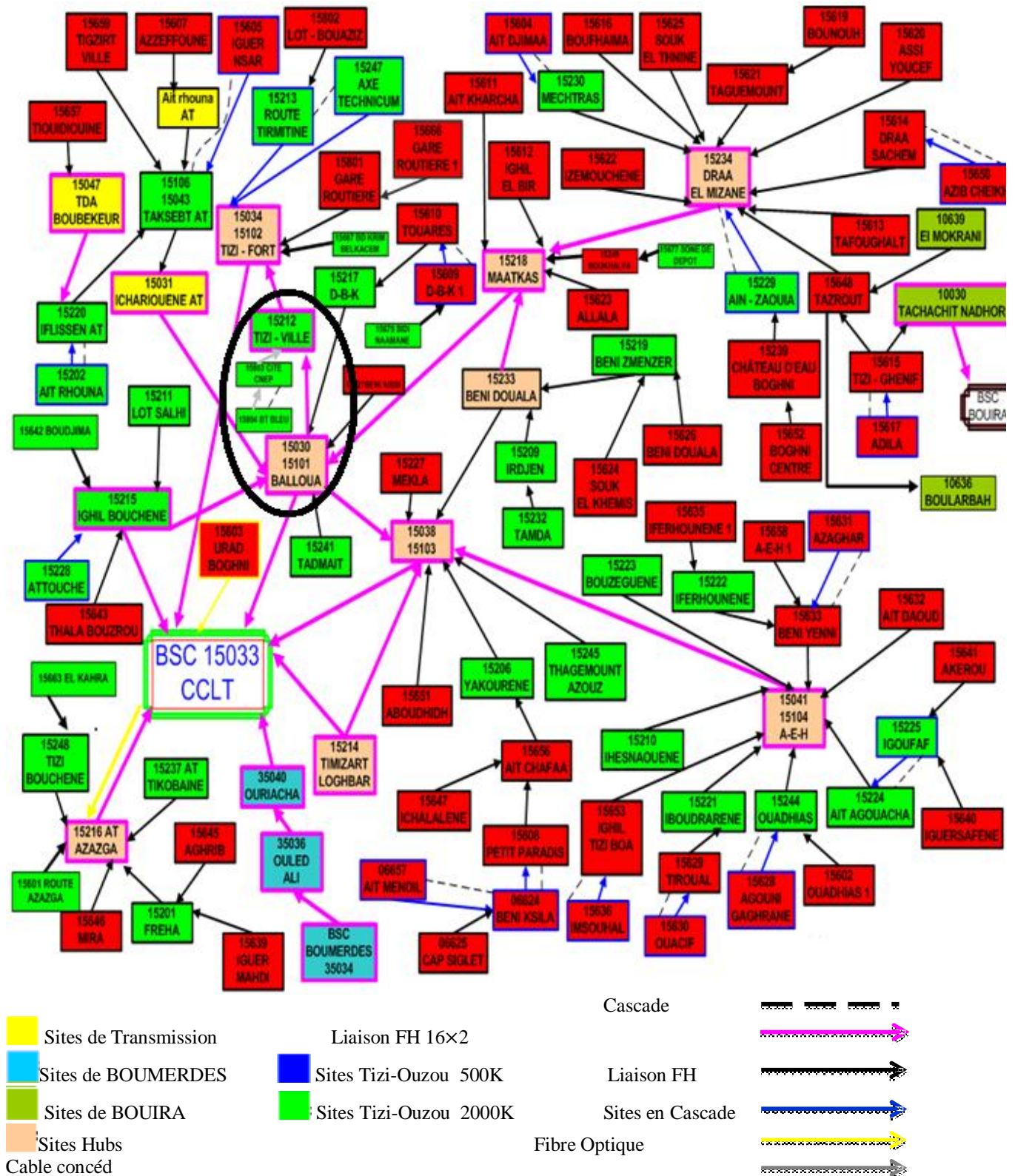


Fig.22 : Réseau de Transmission Tizi-Ouzou

III.1.1. L'interconnexion entre les différents sites du réseau

Le transfert de données entre les différents éléments du réseau sont assurés par des liaisons MIC (Modulation par Impulsion Codée) a 2Mb/s. lorsque deux éléments du réseau sont proches l'un de l'autre, les transmissions sont assurées par des liens physique utilisant des paires de cuivre, des câbles coaxiaux, ou de la fibre optique. C'est le cas généralement des

liaisons entre BSC-MSC-VLR-HLR qui se trouvent dans des centres communs.

La fibre optique est utilisée seulement pour deux liaisons, l'une reliant le BSC de la Nouvelle-ville de Tizi-Ouzou à celui de la ville d'Azzazga et l'autre relie le site de Boghni à celui même de la Nouvelle-ville. Par sa faible atténuation du signal et une large bande passante, ainsi que ses caractéristiques de transmission du signal que présente la fibre optique en font le support idéal des transmissions haut débit, Néanmoins des contraintes de pose et de couts élevés restent à prendre en compte pour l'opérateur, ce qui a mener le groupe ATM Mobilis de Tizi-Ouzou a se contenter de deux liaison à fibre optiques a défaut de ne pas pouvoir utiliser les faisceaux hertziens. Le réseau Mobilis utilise en général des liaisons FH entre BTS et BSC. Les ingénieurs ont opté pour ce genre de support de transmission car il est ; le plus pratique, simple, maniable et présente des équipements moins chères permettant une meilleures adaptabilité au sol que connaît les régions montagneuses de Kabylie.

III.1.2. Les sites Hubs

On définit les sites hubs comme étant des relais GSM sur lesquels transitent plusieurs BTS permettant leurs connexions avec le BSC voir la (figure.23). Un site hub peut relier a la BSC au minimum 3 sites, et au maximum 16 sites c'est-à-dire 16 MIC.

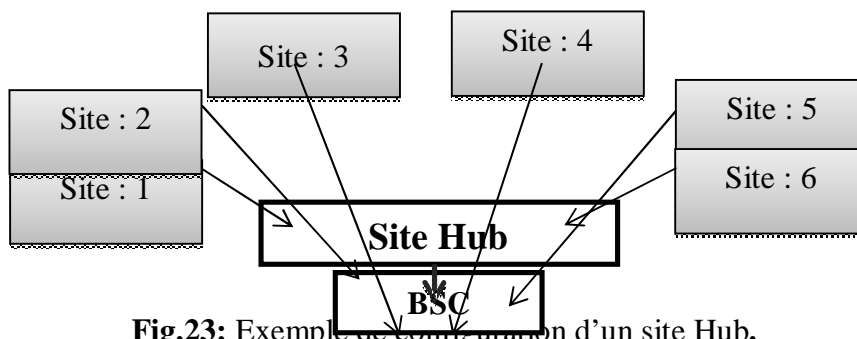


Fig.23: Exemple de configuration d'un site Hub.

III.2.Choix de la liaison FH

Notre choix c'est rapidement porté sur la liaison reliant le site de (Tizi-Ouzou ville, 15212) a celui de (BELLOUA, 15030), comme le MSC de T.O constitue le nœud principale ou aboutissent toutes les liaisons de transmissions de la wilaya d'une part et en visibilité directe avec le site stratégique de (BELLOUA) d'autre part, on aura aussi besoin d'un pluviomètre afin de pouvoir estimer le taux de précipitations, la présence d'une station météorologiques a la faculté de Génie Electrique(UMMTO) au travers du parcours reliant les deux sites reste un avantages qui facilitera ainsi l'étude. Néanmoins, le problème majeur reste l'altitude des deux sites qui et d'environ 150 mètres pour le (MSC Tizi-Ouzou) et de 650 mètres pour le site (BELLOUA), qui correspond à une différence d'altitude de 500 mètres qui est une valeur considérable au quelle il faudra remédier, voir la figure suivante

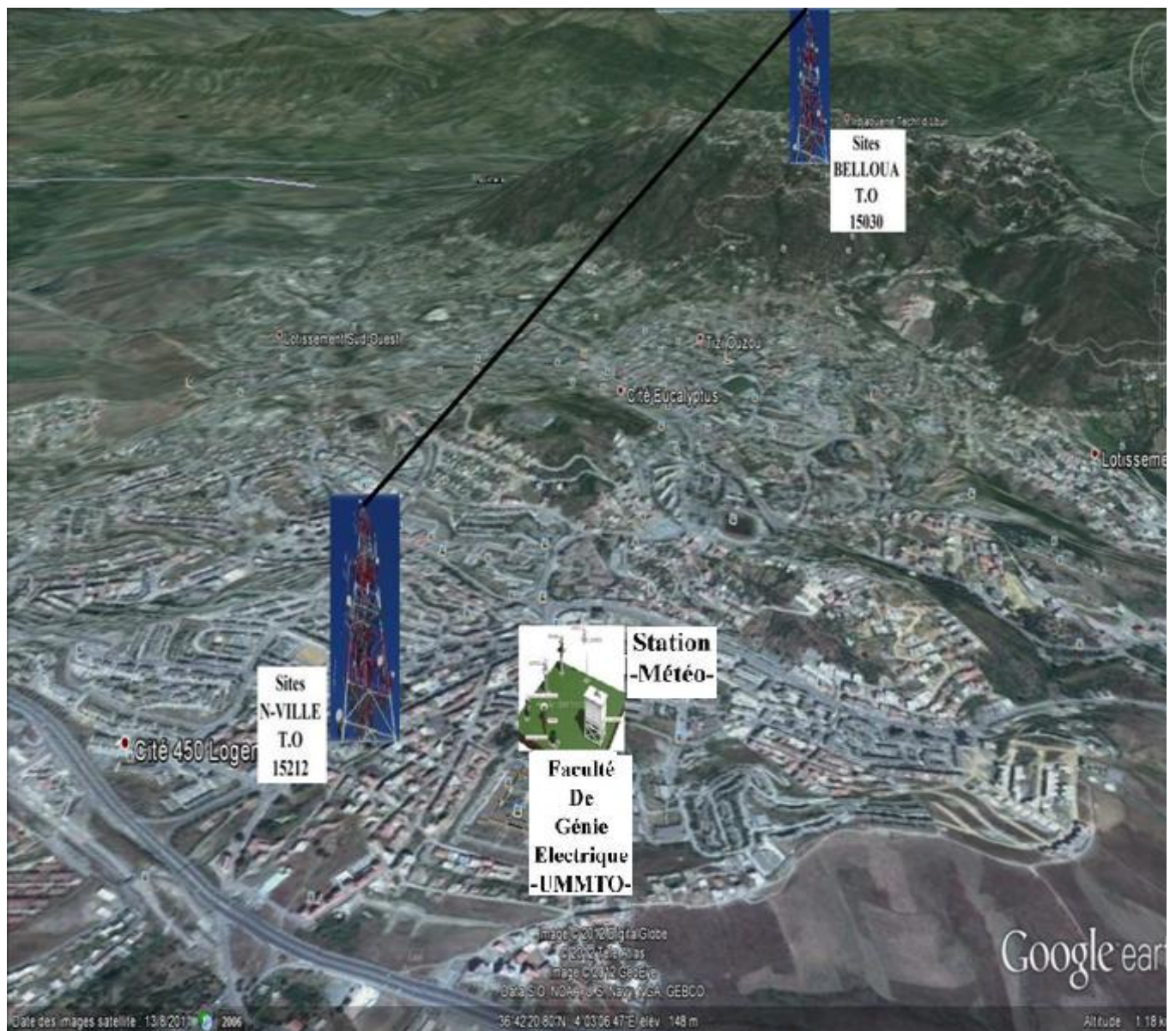


Fig.24 : Illustration de la liaison FH (BELLOUA _ Tizi-Ouzou ville) avec positionnement des aériennes et de la station météo a l'aide l'outil Google earth

III.2.1 Configuration de la liaison

La liaison entre le site : BELLOUA ←————→ Tizi-Ouzou Ville

Il s'agit d'une liaison 16×2 secourue (1+1), elle contient un deuxième canal distinct, en cas de panne, l'un des chemins reste toujours disponible et permet le dépannage sans interruption de la liaison car elle relie des sites très important dans le réseau ou tout simplement on les appelle des sites hubs. Les deux sites sont de même configuration, autrement dit même équipement Mini-Link. Davantage d'informations et de données techniques concernant la liaison sont données dans le tableau qui suit :

BELLOUAOU 15030	VERS LE SITE DE :	Tizi-Ouzou ville15212
TRANSMISSION	Bearing (°)	179
	Calculated Rx Level (dBm) Radio 1	-42.7
	Actual Rx Level (dBm) Radio 1	
	Antenna Height (m.a.g.l.)	20
	Distance (Km)	4.1
	System configuration	1+1
	Traffic Capacity	16×2
Radio and Antenna	Number of Radios	2
	Radio module	ML23 GHz
	Radio index (sub-band)	58
	Radio 1 address	TZ21
	Far End Radio address	TZ11
	Tx power Primary/backup (dBm)	20
	Software Atténuation	0
	Tx frequency (MHz)	23 387.00
	Rx frequency (MHz)	22 379.00
	Channel number	A1
	Antenna size (m)	0.3
	Polarisation (H/V)	V
	Radio cable length (m)	110

Tableau.2 : Les différents paramètres de ; Transmission, Radio et Puissance
Référence : the MINI-LINK E Technical Data Manual et L'Autorité de régulation de la poste et des télécommunications (ARPT).

III.2.2. Calcul du bilan de liaison et le rapport de puissance

Par le biais des équipements radio, matériel et logiciel de l'opérateur ATM Mobilis et grâce à l'interface MINI-LINK installé sur pc qui permet de superviser l'intégralité du réseau de transmission avec des paramètres tel que :

- Tx : représente les niveaux de puissance de transmission des radios en dbm.
- Rx : représente les niveaux de puissance de réception des radios en dbm.

Ainsi que l'équipement radio Nera utiliser au sein d'Algérie télécom permettant de réaliser des courbes en temps réelle des puissances Tx et Rx .Ces deux paramètres qui sont les plus importants dans notre étude nous ont permis d'aboutir à la réalisation de la courbe des puissances à l'émission et la réception en fonction du temps :

Ø Ciel clair :

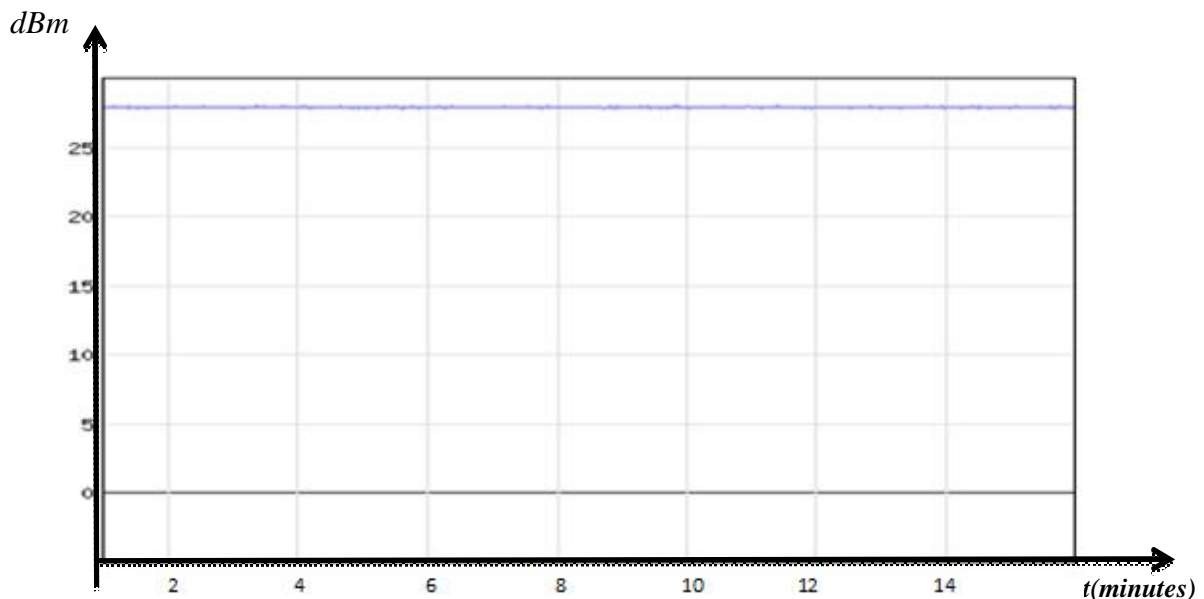


Fig.25 : Niveaux d'émission (Tx) des radios en dbm en temps clair.

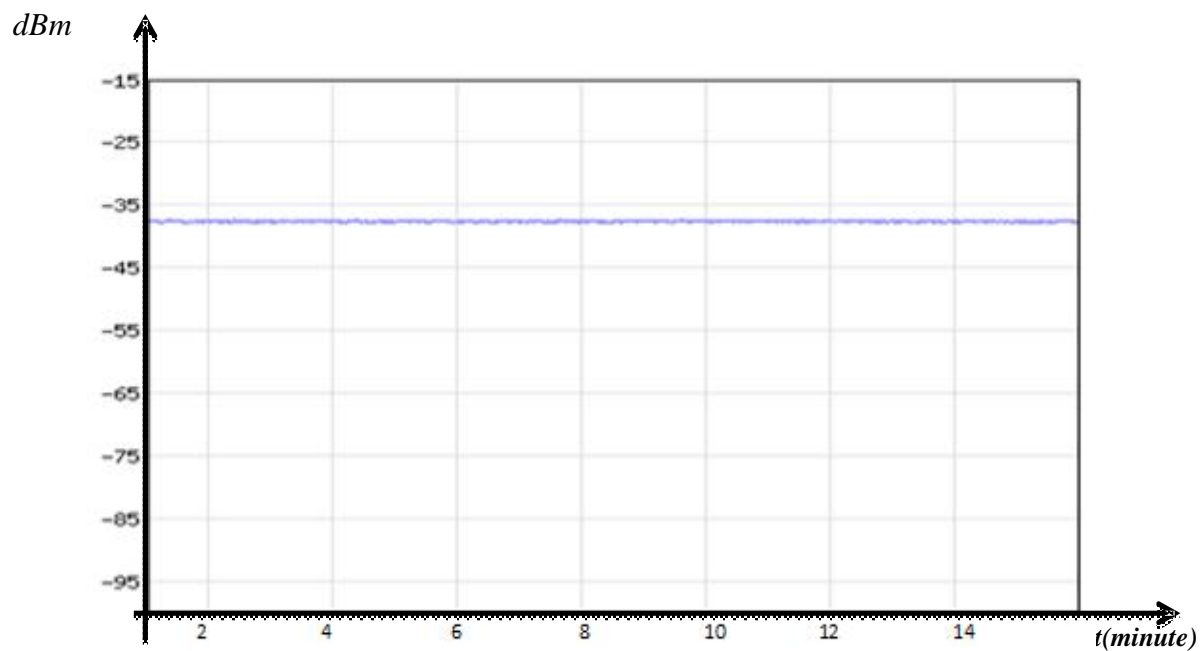


Fig.26 : Niveaux de réception (Rx) des radios en dbm en temps clair.

La deuxième partie auxquelles il fallait parvenir été d'arriver à réaliser les courbes de puissances à l'émission et à la réception avec présence des perturbations météorologique et cela c'est fait en la journée du 13 mai 2012 par un temps orageux et par moment pluvieux nous somme arriver recueillir des données au niveau du pluviomètre qui indiquer un taux de 0,7 mm/h de 7h10 à 8h35 du

Temps pluvieux:

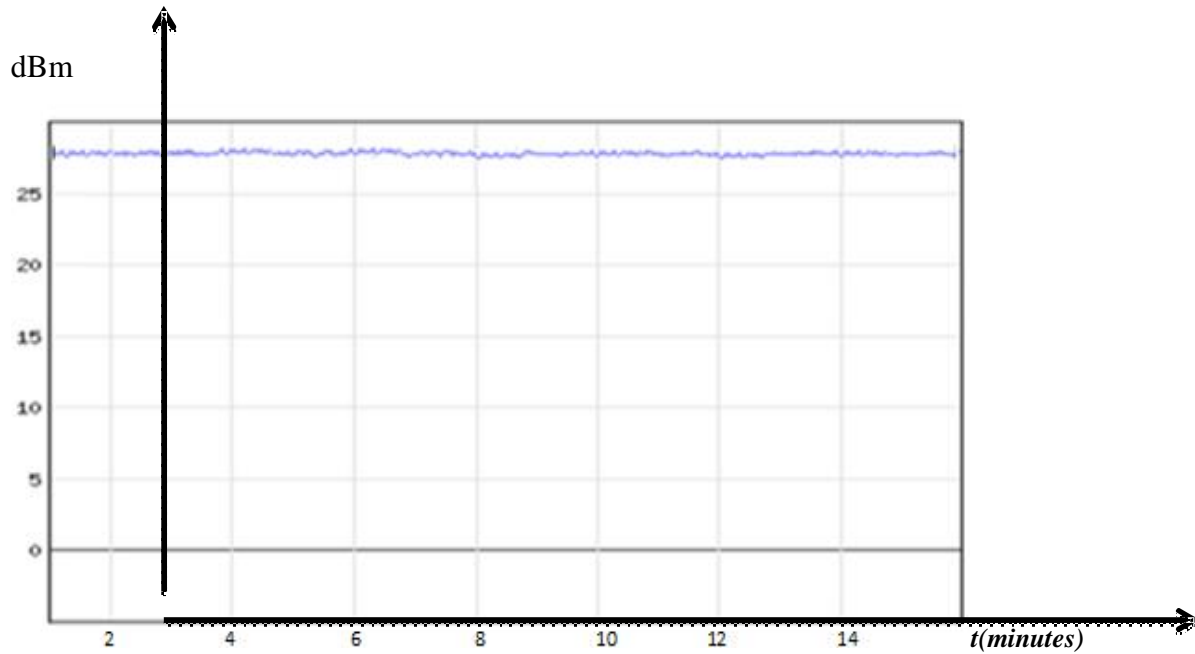


Fig.27 : Niveaux d'émission (Tx) des radios en dbm, présence de précipitations.

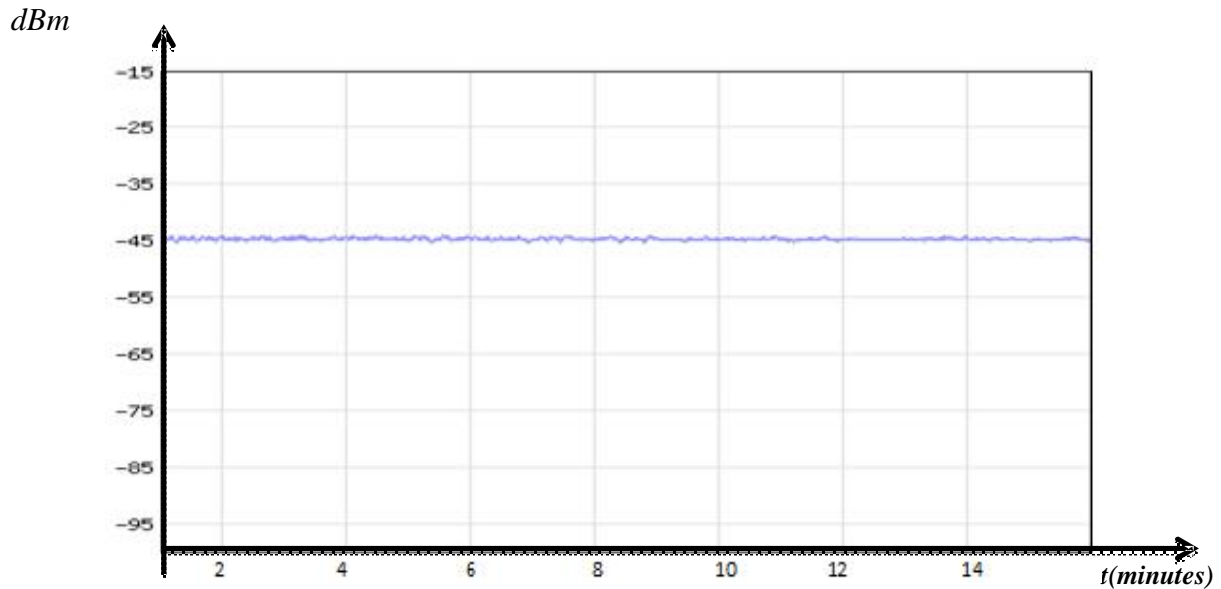


Fig.28 : Niveaux de réception (Rx) des radios en dbm, présence de précipitations.

On peut remarquer après analyse des courbes précédentes en raison des deux conditions météo l'influence sur la variation du signal reçu dans la liaison FH, on constate un affaiblissement brusque dans la puissance reçu en temps pluvieux d'environ (7dBm), puis une stabilisation autour de la valeur (-45 dBm). Partant du principe que le calcul du bilan de liaison passe tout d'abord par déterminer la puissance à l'émission et à la réception afin d'évaluer le facteur d'affaiblissement par la formule :

$$P_r = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2} P_t \quad (\text{III.1})$$

Qu'on peut écrire aussi de la façon suivante en :

$$P_{r(\text{clair})} = k * P_t * \eta_{(\text{clair})} \quad (\text{III.2})$$

Avec

$k =$

$G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$: Coefficient regroupant le gain des deux antennes $G_t G_r$ (émission/ réception) plus le facteur d'affaiblissement $\frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$ en visibilité directe.

$\eta_{(\text{clair})}$: Facteur d'atténuation total dans la liaison en temps clair.

$P_{r(\text{clair})}$: Puissance reçue par l'antenne en temps clair.

Ø Calcul du facteur d'atténuation total $\eta_{(\text{clair})}$ existant dans la liaison en temps clair :

Calcul du gain d'antenne : En faisant appel à la formule de calcul des gains d'antenne cité au

premier chapitre qui est de : $G = g \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2}$ avec $g = 0,6$. D'après le

tableau précédent (III.1) nous avons :

$D = 4100\text{m}$, distance émetteur/récepteur

$d = 0,3\text{m}$: diamètre des antennes.

On travaille sur une fréquence aux alentours des 23Ghz on a alors :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{23 * 10^9} = 0,013 \text{ m}$$

On obtient : $\lambda = 0,013 \text{ m}$

Ø Le gain :

$$G = 0,6 * \frac{3,14^2 * 0,3^2}{0,013^2} = 3150.$$

Le gain des antennes est alors de :

$$G = 35\text{dB}$$

Calcul du coefficient k:

$$k = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2} = (3150)^2 * \frac{0,013^2}{(4^2 * 3,14^2 * 4100^2)} = 6,32 * 10^{-7}$$

Le coefficient : $k = -2\text{dB}$

Ø Facteur d'atténuation total dans la liaison $\eta_{(\text{clair})}$ en temps clair :

$$P_t = 28 \text{ dBm} = -2\text{dB} = 0,631\text{watt}$$

$$P_{r(\text{clair-théorique})} = G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} P_t = (3150)^2 * \frac{0.013^2}{(4^2 * 3.14^2 * 0.3^2)} * (0.631) = 4 * 10^{-7} \quad (\text{III.3})$$

$$P_{r(\text{clair-théorique})} = 4 * 10^{-7} = -34\text{dBm} = -64\text{dB}$$

On déduit directement du graphe la valeur de : $P_{r(\text{clair-pratique})} = -38\text{dBm}$

Ce qui nous donne :

$$\eta_{(\text{clair})_{\text{dB}}} = P_{r(\text{clair-pratique})} - P_{r(\text{clair-théorique})} = -34\text{dBm} - (-38\text{dBm}) = 4\text{dB} \quad (\text{III.4})$$

Le facteur d'atténuation total de la liaison en temps clair est : $\eta_{(\text{clair})_{\text{dB}}} = 4\text{dB}$

Par le même principe précédent et la formule (III.2) on introduit facteur d'atténuation due à la pluie $\eta_{(\text{pluie})}$ on alors :

$$P_{r(\text{pluie})} = k * P_t * \eta_{(\text{clair})} * \eta_{(\text{pluie})} \quad (\text{III.5})$$

$$\eta_{(\text{clair})_{\text{dB}}} = P_{r(\text{pluie-pratique})_{\text{dB}}} - k_{\text{dB}} - P_{t_{\text{dB}}} - \eta_{(\text{clair})_{\text{dB}}} \quad (\text{III.6})$$

$$\eta_{(\text{clair})_{\text{dB}}} = -75\text{dB} - (-62\text{dB}) - (-2\text{dB}) - (4\text{dB}) = -15\text{dB}$$

L'affaiblissement engendré par les précipitations dans la liaison est de 15dB.

III.2.3. Discussion

Afin de comparer la valeur obtenu en affaiblissement dû à la pluie a celle sur le graphique de (l'UIT-R) qui correspond à la valeur de l'atténuation en (dB/km) suivant le taux de précipitations nous avons calculer l'atténuation linéique qui est de :

$$\eta_{(\text{clair})_{\text{dB/km}}} = \frac{15}{4.1} = 3.65 \text{ dB/km}$$

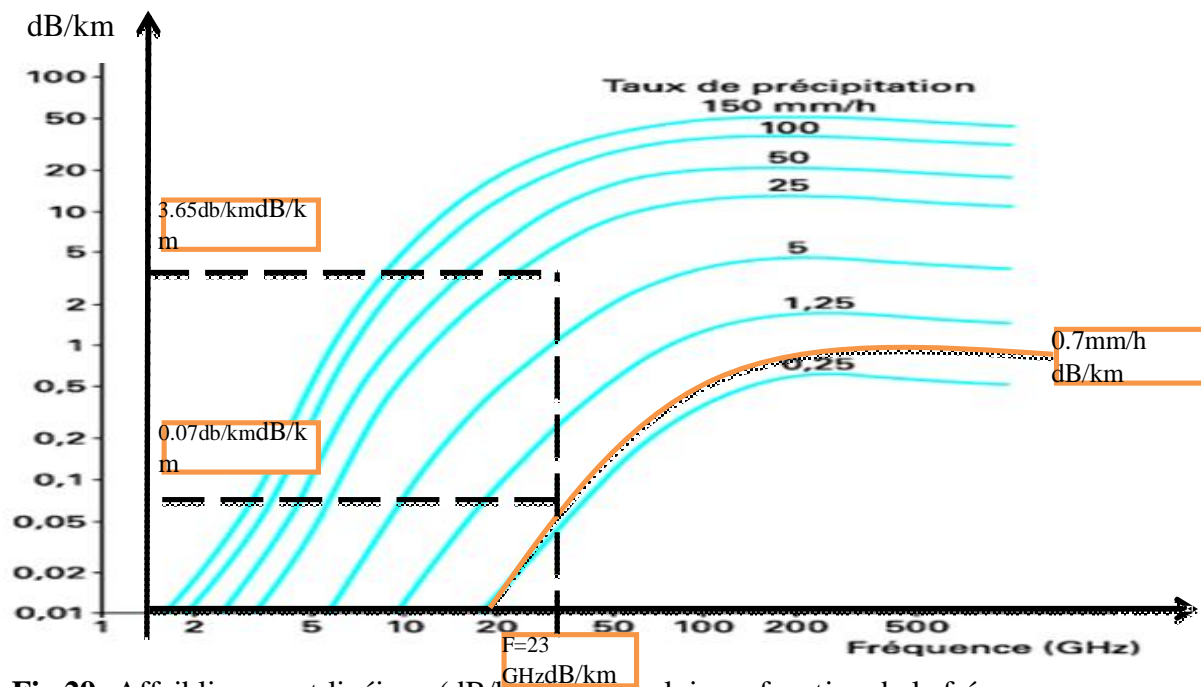


Fig.29 :Affaiblissement linéique (dB/km) du a la pluie en fonction de la fréquence pour différents taux de précipitation avec représentation de la valeur obtenu après calcul.

la valeur obtenu dans notre cas et celle proposée par le modèle de (l'UIT-R) ne sont pas conforme ,on peut expliquer alors la différence des résultats obtenue du faite que la liaison considéré par (l'UIT-R) et beaucoup plus un modèle de simulation idéale contrairement à celle choisie pour notre étude qui est une liaison tout d'abord en zone dense en terme d'habitations et d'immeubles dans une extrémité et de l'autre côté une zone beaucoup plus rural entouré d'une végétation considérableavec une altitude plus importante qui fait que les résultats obtenus ne soit pas aussi proche que le modèle cité auparavant dans la figure.29

III.3.Conclusion

On peut dire que les mesures des puissances électromagnétiques dans une bande de fréquence sensible à la pluie, permettent d'estimer les précipitations suivant l'évaluation des mesures d'affaiblissement des ondes radioélectriques émises depuis et vers des antennes radio GSM. Ces mesures permettent d'estimer l'affaiblissement du signal traversant la zone de pluie et de se rendre compte des intensités de pluie présente sur la liaison.

Par ailleurs il serait plus intéressant de mettre à notre disposition un nombre de pluviomètres plus important tout au long du trajet de la liaison vu que la pluie est un phénomène très variable dans le temps et dans l'espace, et afin de disposer des données

fiables, il faudrait arriver à les recueillir sur une période très longue, l'association d'un radar à une batterie de pluviomètres constitue la solution idéale pour l'étude.

Le premier travail que nous avons élaboré dans cette thèse a démontré que la méthode d'estimation des taux de précipitation avec des antennes radio GSM reste un projet réalisable et ambitieux, afin d'améliorer les résultats il serait important de pouvoir arriver à généraliser la démarche de l'étude sur l'ensemble des liaisons existante au niveau de la région.

CONCLUSION GÉNÉRALE

A l'heure où le marché des télécommunications haut débit est en pleine expansion, les liaisons radios atmosphériques s'installent dans les réseaux de télécommunications et s'affirment comme une technologie d'accès au dernier kilomètre ayant la capacité de la fibre optique en termes de débit associée à une efficacité économique plus importante.

L'objectif général recherché par notre travail était de mieux comprendre le fonctionnement d'une liaison de télécommunication point à point d'un réseau de téléphonie mobile GSM et les phénomènes interagissant avec le signal transmis dans le canal radio. Nous avons aussi développé un bilan de liaison dans le but d'arriver à mieux cerner l'influence de la pluie sur l'atténuation du signal radio et calculer l'affaiblissement dû aux précipitations.

Néanmoins il est à noter que l'utilisation des données de pluie n'est pas la même au sein de la communauté des ingénieurs en radiocommunications que chez les spécialistes de la météorologie. Les informations sur les données de pluie fournies par la plupart des services nationaux de météorologie représentent généralement des moyennes sur des grandes surfaces et sur un temps très long, c'est pourquoi les données pluviométriques collectées par les météorologistes ne peuvent pas être utilisées directement telles quelles par les ingénieurs en télécommunications. Ceci qui explique que malgré l'existence de banques de données dans les services météorologiques, les spécialistes en propagation continuent d'entreprendre des campagnes de mesures afin d'avoir une description plus fine de la structure de la pluie et de ses effets sur la propagation des ondes radioélectriques[F. MOUPFOUMA].

Finalement par les résultats obtenus dans notre étude nous avons pu qu'affirmer la contrainte précédente engendrée par la non-conformité des données météorologiques applicables au domaine des télécommunications qui représente des informations sur des distances et durées moyennes et qui mène à priori au besoin de collecte des données plus précises et sur une longue durée.

Le premier travail que nous avons élaboré dans cette thèse était d'arriver à démontrer que la méthode d'estimation des taux de précipitation avec des antennes radio GSM reste un projet réalisable et ambitieux, afin d'améliorer les résultats il serait important de pouvoir arriver à généraliser la démarche de l'étude sur l'ensemble des liaisons existantes au niveau de la région. Ceci serait une entreprise d'un travail de recherche avec plus de précisions et de techniques sur une longue durée qui pourraient peut-être maîtriser au mieux l'estimation des

précipitations et par voie de conséquence aller vers une meilleure maîtrise de la technique future des télécommunications.

Glossaire

A

Authentification : Fonction cryptographique qui consiste à identifier une personne. Cette fonction peut être assurée par différentes implémentations dont PGP par exemple.

AuC : Authentiquassions Center. Centre d'authentification (lié à un HLR) utilisé dans les réseaux GSM.

B

BSC : Base Station Controller. Station qui contrôle les communications d'un groupe de cellules dans un réseau de communications GSM. Elle concentre le trafic de plusieurs BTS.

BTS : Base Transceiver Station. Station de base d'un réseau GSM. Elle permet notamment d'émettre et de recevoir un signal radio.

C

CA : Certification Authority ou Cell Allocation. L'autorité de certification est une entité d'un système transactionnel électronique sécurisé. Généralement, cette autorité délivre et vérifie des certificats. Dans la terminologie GSM, il s'agit de la liste des numéros de fréquences utilisées dans une cellule.

CDMA : Code Division Multiple Access. Technologie de transmission numérique permettant la transmission de plusieurs flux simultanés par répartition de code. Cette technologie permet une utilisation permanente de la totalité de la bande de fréquences allouée à l'ensemble des utilisateurs. La technologie prévoit un mécanisme d'accès aux ressources.

Cellule : En radiocommunications, zone géographique élémentaire d'un réseau radiocellulaire à laquelle on affecte un ensemble de fréquences non réutilisables dans les zones contiguës. C'est également le nom donné à un paquet ATM qui a une taille de 53 bytes dont 48 sont destinées à recevoir les données d'un utilisateur.

CFU : Call Forwarding Unconditional. Numéro de téléphone vers lequel tout appel est redirigé à la demande de l'abonné appelé.

Chiffrement : Terme qui désigne l'action de chiffrer un texte, des informations ou des données. Le chiffrement consiste à transformer un texte de sorte qu'il faille une clé pour comprendre le message.

CLIP: Calling Line Identification Presentation. Service complémentaire de téléphonie qui consiste à afficher le numéro du correspondant sur le terminal.

CLIR: Calling Line Identification Restriction. Service complémentaire de téléphonie qui empêche que le numéro du correspondant n'apparaisse sur le terminal d'un utilisateur.

Concentrateur : Organe permettant de concentrer le trafic et pouvant posséder une intelligence capable de gérer diverses commutations et divers protocoles.

D

DCS : Digital Communication System. Un système GSM porté de la bande de fréquences des 900 [MHz] vers 1800 [MHz]. Le système DCS-1800 a plus de canaux (374) mais les protocoles et services sont quasi identiques.

E

EIR: Equipment Identity Register. Identifiant destiné à permettre de désactiver un téléphone mobile (GSM) qui aurait été volé.

F

FDMA: Frequency Division Multiple Access. Technique de répartition de ressources par multiplexage fréquentiel. Cette technique prévoit un mécanisme d'accès aux ressources.

FH : Faisceaux Hertiens

FH : Frequency Hopping. Technique du saut de fréquences qui consiste à modifier la fréquence porteuse d'un signal modulé en suivant une liste prédéterminée.

FM : Frequency Modulation. Modulation de fréquences. Technique par laquelle on module la fréquence instantanée d'une porteuse au moyen du signal modulant à transmettre.

G

GMSC: Gateway Mobile Switching Center. Centre de commutation pour mobile semblable à un MSC. Il est placé en bordure de réseau d'un opérateur GSM de manière à permettre l'interconnexion avec d'autres réseaux.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying. Nom de la technique de modulation numérique utilisée pour la transmission radio des mobiles GSM.

GSM: Global System for Mobile Communications. Standard de téléphonie mobile adopté en Europe, en Asie et en Australie.

H

Handover : Terme désignant le mécanisme par lequel un mobile peut transférer sa connexion d'une station de base vers une autre ou, sur la même station, d'un canal radio vers un autre.

HLR : Home Location Register. Base de données centrale d'un réseau GSM contenant toutes les informations relatives aux abonnés du réseau (profil, position actuelle, ...).

Hypertrame : L'unité temporelle la plus longue de la hiérarchie GSM. Elle totalise 3 heures, 28 minutes, 53 secondes et 760 millisecondes. Elle est composée de 2048 super-frames, composées elles-mêmes de 1326 multi-frames.

I

IMEI : International Mobile station Equipment Identity. Numéro unique identifiant un terminal GSM; il est indépendant du numéro d'abonné et il permet de désactiver un équipement volé.

IMSI : International Mobile Subscriber Identity. Numéro international unique d'un abonné GSM.

ISDN : Integrated Services Digital Network Désigne le réseau téléphonique numérique RNIS.

M

MCC: Mobile Country Code. Nombre à 3 chiffres identifiant un pays (Belgique = 206, France = 208).

MNC : Mobile Network Code. Un nombre à 2 chiffres utilisé par identifier un PLMN.

MSC : Mobile Switching Center. Centre de commutation pour mobile. Cet équipement réalise la commutation des appels d'une ou plusieurs cellules.

MSISDN : Mobile Subscriber ISDN. Numéro d'abonné au réseau GSM. Il est possible d'avoir plusieurs numéros (pour des services différents) au sein d'une seule carte SIM.

MSK : Minimum Shift Keying. Technique de modulation numérique consistant à effectuer une fonction XOR entre 2 bits successifs préalablement à une modulation de fréquence à 2 états.

N

NSS: Network Switching Center. Sous-système d'un réseau de téléphonie mobile. C'est la partie qui prend principalement en charge la commutation des appels, la signalisation et l'identification.

P

PIN : Personal Identification Number. Code (mot de passe) nécessaire à chaque connexion d'un GSM au réseau.

PLMN: Public Land Mobile Network. Il s'agit du réseau GSM, DCS ou PCS d'un opérateur dans un pays. Le "Network Color Code" identifie un PLMN dans un pays.

PUK : PIN Unblocking Key. Code nécessaire au déverrouillage d'une carte SIM.

R

Roaming : Nom anglais pour désigner le fait qu'un utilisateur de GSM peut se déplacer d'une cellule à l'autre ou d'un réseau à un autre sans rupture de connexion. L'abonné qui utilise sa carte SIM est facturé par son opérateur. Cette opération est rendue possible grâce aux accords de roaming conclus entre les différents opérateurs.

RTC : Réseau Téléphonique Commuté. Terme technique désignant le réseau téléphonique fixe.

RX : Réception, en procédure de télégraphie terme utilisé en radiotéléphonie

S

SIM: Subscriber Identity Module. Micro-processeur implanté dans une carte. Par extension, on parle de la carte SIM. Elle est insérée dans un GSM pour réaliser une série de fonctions et contenir une mini-base de données.

SMS : Short Message Service. Système permettant l'envoi de messages comprenant au plus 160 caractères (de 7 bits), soit 140 bytes, à un téléphone GSM.

T

TDMA: Time Division Multiple Access. Technique de répartition de ressources par multiplexage temporel. Cette technique prévoit un mécanisme d'accès.

TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity. Numéro attribué temporairement à un utilisateur GSM en fonction de sa localisation.

Trame : En traitement d'images, la trame est la grille d'échantillonnage. On considère généralement la trame carrée mais la trame peut aussi être rectangulaire ou hexagonale. Dans le cas du format entrelacé, la trame désigne une image ne contenant que les lignes paires ou impaires de l'image. En télécommunications, trame désigne un ensemble d'informations numériques temporelles constituant un tout.

Transcodage : Aussi appelé transrating. Il s'agit d'un procédé de changement du débit d'un signal comprimé.

TX : [émission](#) ou [transmission](#), en radiocommunication (radioamateur, citizen band)

V

VLR : Visitor Location Register. Registre local d'une zone comprenant plusieurs cellules d'un réseau GSM. Ce registre contient l'identité des utilisateurs présents dans la zone.

X

X25 : Série de protocoles, définis par l'ITU, destinés à la transmission de données. Leur utilisation est aujourd'hui largement supplantée par l'utilisation des protocoles à technologie Internet.

BIBLIOGRAPHIE

C. Bettstetter, C. Hartmann: GSM, 3rd edition, 2008.

F. MOUPFOUMA RPE/ETP 38-40 rue du Général Leclerc « ETUDE DES PRECIPITATIONS ET DE LEURS EFFETS SUR LES LIAISONS HERTZIENNES EN VISIBILITE ET PAR SATELLITE DANS LES REGIONS TROPICALES.

J. Lavergnat, M. Sylvain : "Propagation des ondes radioélectriques", Collection Pédagogique des Télécommunications, MASSON, 1997.*

L. Boithias : "Propagation des ondes radioélectriques", Dunod 1983

M.TAHANOUT, THESE: ETUDE D'UN EMETTEUR DE RADAR FM-CW POUR L'OBSERVATION DE LA BASSE ATMOSPHERE : Mise au point d'un générateur de chip à 3 GHz

M. Henry A. Kassiba :Mini Manuel d'Électromagnétisme Electrostatique Magnétostatique

M.NICOLAS :Ondes et Electromagnétisme Edition Dunod.

M. Van Droogenbroeck :Principes de base du fonctionnement du réseau GSM, 2004

Organisme : International Communication Union – Radiocommunication sector (ITU-R)

P.LASSUDRIE-DUCHESNE, L.CASTANET « Propagation des ondes radioélectriques à travers l'atmosphère » : Référence E1163 | Date de publication : 10 mai 2008 |

W. PIRARD : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE TELEPHONIE MOBILE GSM.

WEBOGRAPHIE

http://www.memoireonline.com/02/11/4244/m_Installation-et-maintenance-dune-BTS.html

<http://www.scribd.com/doc/42781111/34/Absorption-par-l-atmosphere>

<http://dc357.4shared.com/doc/UyURnvKj/preview.html>

<http://www.scribd.com/doc/51421837/3/Architecture>

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/electromagnetisme-propagation-42277210/propagation-des-ondes-radioelectriques-a-travers-l-atmosphere-e1163/>

<http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&mlink=rhome&lang=en>

ANNEXE

I. Description de la basse atmosphère

Par définition, l'atmosphère est la couche gazeuse qui enveloppe notre planète. Elle se compose essentiellement de 78% d'azote, de 21% d'oxygène et d'autres gaz à proportions plus réduites tels que l'ozone, le gaz carbonique, la vapeur d'eau et divers polluants. Elle s'étend de la surface terrestre jusqu'à un millier de kilomètres d'altitude [Triplet et Roche, 1977]. Dans l'atmosphère, la pression atmosphérique décroît avec l'altitude, en moyenne, de façon exponentielle et la température accuse différentes variations en fonction de l'altitude. La Fig. 1 illustre de telles variations obtenues, en moyenne, pendant la journée. Ceci permet de décomposer l'atmosphère en cinq couches principales qui sont la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, la thermosphère et l'exosphère. A quelques dizaines de milliers de kilomètres, se trouve la magnétosphère qui résultant de l'interaction du champ magnétique avec le vent solaire, est la couche la plus haute de l'atmosphère et joue le rôle de bouclier magnétique vis à vis des particules mortelles du rayonnement solaire. Dans ce qui suit, nous nous intéressons particulièrement à la troposphère. Celle-ci est la plus basse des couches de l'atmosphère. Son épaisseur est d'environ seize km à l'équateur et de huit km aux pôles.

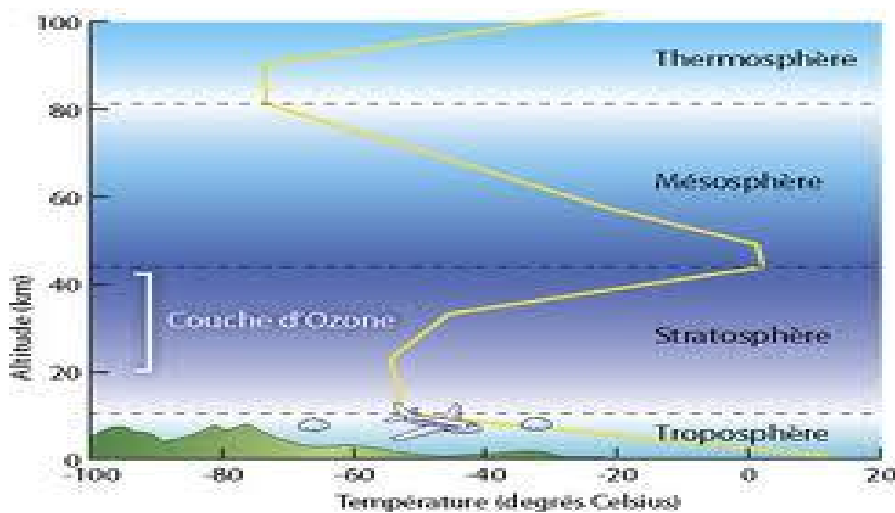


Fig. 1. Subdivision de l'atmosphère.

II. Définition et réglementation

Le domaine des radiocommunications est réglementé par l'Union internationale des télécommunications (UIT) qui a établi un règlement des radiocommunications dans lequel on peut lire la définition suivante :

Ondes radioélectriques ou ondes hertziennes : « ondes électromagnétiques dont la fréquence est par convention inférieure à 3 000 GHz, se propageant dans l'espace sans guide artificiel » ; elles sont comprises entre 9 kHz et 3 000 GHz qui correspond à des longueurs d'onde de 33 km à 0,1 mm1.

Les ondes de fréquence inférieure à 9 kHz sont des ondes radio, mais ne sont pas réglementées.

Les ondes de fréquence supérieure à 3 000 GHz sont classées dans les ondes infrarouges car la technologie associée à leur utilisation est actuellement de type optique et non électrique, cependant cette frontière est artificielle car il n'y a pas de différence de nature entre les ondes radio, les ondes lumineuses et les autres ondes électromagnétiques (ex: micro-onde, radar, etc.).

II.1. Terminologie officielle

Une onde radio est classée en fonction de sa [fréquence](#) exprimée en [Hz](#) ou cycles par seconde; l'ensemble de ces fréquences constitue le spectre radiofréquence. Le spectre est divisé conventionnellement en bandes d'une [décade](#), dont les appellations internationales sont normalisées. Les appellations francophones équivalentes sont parfois également utilisées dans les textes français.

S'agissant des ondes radioélectriques, le terme « [ondes](#) hertziennes » en est un synonyme. Selon la définition de l'[UIT](#), le terme « hertzien⁴ » ne couvre que les signaux transmis par [rayonnement](#) — il s'agit là du [rayonnement électromagnétique](#) — c'est-à-dire sans support matériel⁵, par exemple aussi bien la télévision terrestre que par satellite et tous les autres modes de transmission sans fil dans le spectre de fréquence de ces ondes^{6,7}.

II.2. Bande de fréquences radio

ULF (ultra low frequency)	UBF (ultra basse fréquence)	300 Hz à 3 000 Hz	1 000 km à 100 km		Détection de phénomènes naturels
VLF (very low frequency)	TBF (très basse fréquence)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	Communication avec les sous-marins, Implants médicaux, Recherches scientifiques...
LF (low frequency)	BF (basse fréquence)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	grandes ondes ou ondes longues ou kilométriques	Radionavigation, Radiodiffusion GO, Radio-identification
MF (medium frequency)	MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	petites ondes ou ondes moyennes ou hectométriques	Radio AM, Service maritime, Appareil de recherche de victimes d'avalanche
HF (high frequency)	HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ondes courtes ou décamétriques	Organisations diverses, Militaire, Radiodiffusion, Maritime, Aéronautique, Radioamateur, Météo, Radio de catastrophe...
VHF (very high frequency)	THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ondes ultra-courtes ou métriques	Radio FM, Aéronautique, Maritime, Radioamateur, Gendarmerie nationale, Pompiers, SAMU,
UHF (ultra high frequency)	UHF (ultra haute fréquence)	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	ondes décimétriques	Réseaux privés, militaire, GSM, GPS, Wi-Fi, Télévision, Radioamateur
SHF (super high frequency)	SHF (super haute fréquence)	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	ondes centimétriques	Réseaux privés, Micro-onde, radiodiffusion par satellite (TV), radar météorologique, Radioamateur
EHF (extremely high frequency)	EHF (extrêmement haute fréquence)	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	ondes millimétriques	Réseaux privés, Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo
Térahertz	Térahertz	300 GHz à 3 000 GHz	1 mm à 100 µm	ondes submillimétriques	

III.1. Caractéristiques des liaisons radio GSM pour la région de Tizi-Ouzou

		To SITE	15033	15031	15241A	15038	15217C	15218C	15215F
Transmission	Bearing (°)		179	24	277	128	268.85°	216	66,39°
	Calculated Rx Level (dBm) Radio 1		-42,7	-48,6	-36	-38,2	-48,6	-34,6	-39,0
	Actual Rx Level (dBm) Radio 1								

	Antenna Height (m.a.g.l.)	20	30	30	25	20	12	15
	Distance (Km)	4,1	11,5	13,45	17,05	7,48	11,44	7,53
	System configuration	1+1	1+1	1+0	1+1	1+0	1+1	1+1
	Traffic Capacity	16x2	16x2	2X2	16x2	8x2	16X2	17X2
Radio and antenna	Number of Radios	2	2	1	2	1	2	2
	Radio module	ML 23Ghz	ML 15 Ghz	ML 15Ghz	ML 15Ghz	ML 15Ghz	ML 15Ghz	ML 23Ghz
	Radio index (sub-band)	58	26	26	26	26	26	58
	Radio 1 address	TZ21	TZ35	TZ33	TZ36	TZ32	TZ3C	TZ3L
	Far End Radio address	TZ11	TZ45	TZ43	TZ46	TZ42	TZ4C	TZ4L
	Tx power Primary/backup (dBm)	20	18	18	18	12	18	20
	Software Attenuation	0	0	0.0	0	0	0	0
	Tx frequency (MHz)	23 387,00	15 040,00	15 083,75	15 096,00	15 047,00	15 040,00	23387,00
	Rx frequency (MHz)	22 379,00	14 620,00	14 663,75	14 676,00	14 627,00	14 620,00	22379,00
	Channel number	A1	A1	D15	A3	B1	A1	A1
	Antenna size (m)	0,3	0,6	1,2	1,2	0,6	1,2	0,6
	Polarisation (H/V)	V	V	V	V	H	V	V
	Radio cable length (m)	110	130	65	120	60	100	120
Indoor equipm.	Access Module Magazine (AMM)	4U	-	-	-	-	-	2U-3
	SAU Exp 1/address	TZ03	-	-	TZ04	-	-	-
	SMU type	16x2	16X2	-	16X2	8x2	16X2	16X2
	MMU type	34+2	34+2	2X2	34+2	2x2-34+2	34+2	34+2
DXX	DXX type/address	-	-	-	-	-	-	-
Power	Power consumption per hop (W)	120	120	60	120	60	120	60
	Power consumption Fan unit (W)	-	-	-	-	-	-	-
	Total power consumption (W)	120	120	60	120	60	120	60

VI. Donnes des puissances (émission/réception) prise à partir de la liaison point à point

*26/06/2012 heure du début 10h-03m-57s
Entre chaque prise un intervalle de 5secondes*

ANTENNE 1		ANTENNE2	
TX(dBm)	RX	TX	RX(dBm)
20	41,2		41,3
20	41,2	23	41,5
20	41,8	23	41,5
20	41,8	23	41,5
20	42	23	41,7
20	42	23	41,7
20	41,5	23	41,5
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,7
20	41,8	23	41,5
20	41,6	23	41,5
20	41,5	23	41,5
20	41,5	23	41,7
20	41,3	23	41,5
20	41,4	23	41,5
20	41,8	23	41,5
20	41,8	23	41,3
20	41,2	23	41,2
20	41,2	23	41,2
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,3
20	42	23	41,3
20	42	23	41,3
20	41,6	23	41,9
20	41,6	23	41,9
20	41,1	23	41,6
20	41,2	23	41,6
20	41,5	23	41,1
20	41,5	23	41,1
20	41,5	23	41,3
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,5
20	41,8	23	41
20	41,8	23	41
20	41,4	23	41

20	41,5	23	41,6
20	41,6	23	41,9
20	41,6	23	41,9
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,7	23	41,6
20	41,7	23	41,6
20	41,3	23	41,6
20	41,3	23	41,2
20	41,4	23	41,5
20	41,3	23	41,5
20	41,3	23	41,1
20	41,3	23	41,1
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,2
20	41,5	23	41,2
20	41,5	23	41,2
20	41,7	23	41,6
20	41,7	23	41,6
20	41,9	23	41,6
20	41,9	23	41,5
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,9
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41	23	41,6
20	41,1	23	41,6
20	41,1	23	41,8
20	41	23	41,8
20	41	23	41,2
20	41,7	23	41,2
20	41,7	23	41,2
20	41,7	23	41,3
20	41,8	23	41,9
20	41,8	23	41,9
20	41,8	23	41,9
20	41,3	23	41,9
20	41,3	23	41,9
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6

20	41,7	23	41,6
20	41,7	23	41,6
20	41,3	23	41,6
20	41,3	23	41,2
20	41,4	23	41,5
20	41,3	23	41,5
20	41,3	23	41,1
20	41,3	23	41,1
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,2
20	41,5	23	41,2
20	41,5	23	41,2
20	41,7	23	41,6
20	41,7	23	41,6
20	41,9	23	41,6
20	41,9	23	41,5
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,9
20	41,6	23	41,5
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41	23	41,6
20	41,1	23	41,6
20	41,1	23	41,8
20	41	23	41,8
20	41	23	41,2
20	41,7	23	41,2
20	41,7	23	41,2
20	41,7	23	41,3
20	41,8	23	41,9
20	41,8	23	41,9
20	41,8	23	41,9
20	41,3	23	41,9
20	41,3	23	41,9
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,6
20	41,6	23	41,3
20	41,6	23	41,3
20	41,3	23	41,3
20	41,3	23	41,6
20	40,9	23	41,6
20	40,9	23	41,2

