



Mémoire
A L'UNIVERSITÉ DE TLEMCEM
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE TELECOMMUNICATION
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS DE TLEMCEM LTT

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : “ Réseaux et Systèmes de télécommunications”

Présenté par :

ACHACHI Asma et ELHADJ MIMOUNE Chahrazad

**Etude des atténuations dans une liaison radio et Calcul du bilan de
liaison**

Soutenu en mai 2016 devant le Jury :

Mr BENDIMERAD Tarik	Professeur à l'université de Tlemcen	Président
Mr CHIKH-BLED Mohammed.K	Professeur à l'université de Tlemcen	Examineur
Mr MERAD Lotfi	MCA à l'Ecole Préparatoire ST de Tlemcen	Examineur
Mr MERIAH Sidi Mohammed	Professeur à l'université de Tlemcen	Encadrant

Table de matières

<i>Remerciements</i>	
<i>Dédicace</i>	
<i>Dédicace</i>	
<i>Résumé</i>	
<i>Liste de figures</i>	
<i>Liste de tableaux</i>	
<i>Liste de sigles</i>	
<i>Introduction général</i>	1
<i>Chapitre I : introduction à la transmission FH</i>	3
<i>I.1. Introduction</i>	3
<i>I.2. Historique</i>	3
<i>I.3. Faisceaux hertziens</i>	4
<i>I.3.1 Types de faisceaux hertziens</i>	4
<i>I.3.2 Les liaisons radioélectriques</i>	4
<i>I.3.3 Caractéristiques des faisceaux hertziens</i>	5
<i>I.3.4 Les systèmes utilisant les liaisons hertziennes</i>	6
<i>I.3.5 Les modulations utilisées en FH</i>	6
<i>I.3.5.1 Modulation pour FH analogiques</i>	7
<i>I.3.5.2 Modulation pour FH numériques</i>	7
<i>I.3.6 Les désignations fréquentielles</i>	7
<i>I.3.7 Choix des fréquences porteuses</i>	9
<i>I.3.8 Intérêts et inconvénients</i>	10
<i>I.3.9 La transmission du signal par liaison hertzienne</i>	11
<i>I.3.10 Schéma de principe d'une liaison hertzienne</i> :	12
<i>I.4. Défauts de liaison</i>	13

I.4.1	La diffraction	13
I.4.2	La réflexion	14
I.4.3	La réfraction	14
I.4.4	Atténuation par le gaz de l'atmosphère	14
I.4.5	Atténuation et transpolarisation par les hydrométéores	15
I.5.	Les causes d'erreurs	15
II.5.1.	La gigue	15
II.5.2.	Le glissement d'horloge	15
II.5.3.	Le bruit	16
II.5.4.	Bilan de liaison	16
I.6.	Les antennes	16
I.6.1	Définition.....	16
I.6.2	Les principaux caractéristiques d'une antenne.....	17
I.6.2.1	Les caractéristiques d'adaptation.....	17
I.6.2.2	Les caractéristiques de rayonnement.....	17
I.6.3	Directivité, gain et rendement d'une antenne.....	18
I.6.3.1	Directivité.....	18
I.6.3.2	Gain.....	18
I.6.3.3	Rendement	18
I.6.4	Les types des antennes	19
I.6.4.1	Le dipôle demi-onde	19
I.6.4.2	L'antenne Yagi	19
I.6.4.3	L'antenne cornet	20
I.6.4.4	Antennes à réflecteur	20
I.6.4.5	Réseaux d'antennes	22
I.6.4.6	Autres types d'antennes	22
I.7.	Conclusion.....	23
Chapitre II : l'effet de l'atténuation sur le bilan de liaison.....		24
II.1.	Introduction.....	24

II.2.	Le processus de design d'une liaison FH	24
II.3.	Planification des fréquences	25
II.4.	Condition de bon fonctionnement.....	25
II.5.	Bilan de Liaison.....	25
II.5.1.	Les unités courantes en télécommunication.....	26
II.5.2.	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.....	26
II.5.3.	Sensibilité de réception.....	27
II.5.3.1.	Définition.....	27
II.5.3.2.	Signification.....	27
II.5.4.	Le gain.....	27
II.5.5.	Surface équivalente.....	28
II.6.	Etude sur les atténuations.....	28
II.6.1.	Modèles de propagation des ondes.....	29
II.6.2.	L'utilité des modèles de propagation.....	29
II.6.2.1.	Pertes de propagation – modèle générale.....	29
II.6.2.2.	Pertes de propagation en espace libre – Formule de Friis	30
II.6.2.3.	Modes de propagation dans un environnement terrestre.....	31
II.6.2.4.	Condition pour une propagation en visibilité directe (line of sight).....	32
II.6.2.5.	Absorption dans les matériaux de construction.....	33
II.6.2.6.	Espace ouvert avec sol conducteur – modèle à deux rayons..	34
II.7.	Les zones de rayonnement d'une antenne.....	36
II.7.1.	La zone de Rayleigh.....	36
II.7.2.	La zone de Fresnel.....	36
II.7.2.1.	Méthode Deygout pour la diffraction à plusieurs obstacles.....	37
II.7.2.2.	Méthode de Bullington.....	38
II.7.3.	La zone de Fraunhofer	38
II.8.	Conclusion.....	39
Chapitre III : Application		40
III.1.	Introduction.....	40
III.2.	Les étapes pour crée une interface.....	40

III.2.1.	L'organigramme.....	40
III.2.2.	Présentation de l'interface	41
III.3.	Exemple d'application	43
III.4.	Conclusion.....	46
Conclusion générale		47
bibliographie		48
Annexe A : Le simulateur Matlab		50
A.1.	L'outil guide.....	50
A.2.	Présentation.....	50
Annexe B :Bilan de liaison		52
B.1.	L'ellipsoïde de Fresnel.....	52
B.2.	Puissance reçu.....	52

Remerciement

Nous remercions Mr. Meriah S.M Professeur à l'université de Tlemcen et responsable du laboratoire LTT pour ses conseils, directives et suggestions qui nous ont permis de mener à bien notre projet.

Je retiens à remercier également le jury d'avoir accepté l'évaluation de ce travail.

Par la même occasion, nous tenons à remercier vivement tous les enseignants de l'université d'une façon générale. Leurs dévouement, leurs disponibilités indéfectibles, leur qualités humaines et pédagogiques font qu'on leur doit plus qu'on ne saurait l'exprimer ici.

Rien n'aurait été possible sans le soutien de nos proches, merci encore à vous, rien n'a su nous motiver davantage que votre appui.

Asma et Chahrazad

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et s'insère mots, que je dédis
Ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parent ; qui ont sacrifié
leur vie pour ma réussite est m'ont éclairé le chemin
Par leurs conseils judicieux
Je n'espère qu'un jour,
Je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont
Fait pour moi, que dieu leur prêt bonheur et longue vie
Et à tous ceux et celle qui me sont chère.*

Chahrazad

Dédicace

Je dédie ce travail :

A Mes parents ; Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

A mon ange MOHAMED AYOUB.

Spécial dédicace à mon cher fiancé AYOUNI RADOUANE qui m'a bien aidé dans tout mon parcours universitaire.

A mon frère MOHAMED et mes sœurs WISSEM ET CHAHRAZED.

Et à toute la famille ACHACHI.

ASMA

Liste des figures

Figure I-1 : Historique des radiocommunications

Figure I-2 : Présentation des Relais

Figure I-3 : Schéma de principe d'une liaison hertzienne

Figure I-4 : La structure de l'antenne Yagi

Figure I- 5: Schéma de principe d'une antenne à réflecteur parabolique

Figure I-6: Configuration de l'antenne Cassegrain

Figure II.1 : processus de design d'une liaison FH

Figure II.2 : bilan de liaison

Figure II.3 : propagation dans un environnement terrestre

Figure II.4 : types d'environnement

Figure II.5 : zone de fessel cas sans obstacle

Figure II.6: exemple espace ouvert avec sol conducteur

Figure II.7 : zone de fessel cas avec obstacle

Figure II.8:profile d'un trajet avec un obstacle

Figure III-1 : organigramme

Figure III-2 : logo de Matlab

Figure III-3 : boite de dialogue

Figure III-4 : interface d'un milieu sans obstacle

Figure III-5 : interface d'un milieu avec obstacles

Figure III-6 : exemple d'application pour 1^{er} choix

Figure III-7 : exemple d'application pour 2^{ème} choix

Liste des tableaux

Tableau I.1: Désignations fréquentielles

Tableau I.2: Désignations fréquentielles ITU

Tableau I.3: les largeurs de bande

Tableau II.1: conversion des puissances

Tableau II.2 : atténuations des matériaux

Tableau III-1 : Présentation des données

Tableau III-2 : Comparaison des résultats de puissance reçu

Tableau III-3 : Comparaison des résultats du rayon

Tableau III-4 : Comparaison des valeurs de puissance reçu

Liste des sigles

ASK	Amplitude Shift Keying
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
EM	Electromagnétique
FH	Faisceaux Hertzien
FHA	Faisceaux Hertzien Analogique
FHN	Faisceaux Hertzien Numérique
FSK	Frequency-Shift Keying
GPS	Global Positioning System
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RADAR	RAdio Detection And Ranging
RF	Radio Frequency
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SHF	Super High Frequency
VHF	Very high frequency
Wi-Fi	Wireless Fidelity

Introduction général

Le domaine des télécommunications a connu une profonde évolution. Les systèmes de télécommunications, et plus particulièrement les systèmes de communications sans fil, font partie des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie. La connexion câblée traditionnelle est, dans une large mesure sinon totalement, remplacée par la connexion sans fil à une vitesse exponentielle. Les systèmes de communications sans fil sont devenus presque omniprésents dans nos vies.

Les communications sans fil utilisent le canal hertzien comme support de transmission (c'est une onde électromagnétique qui porte l'information à transmettre). Or, celui-ci est sujet d'importantes sources de perturbations pour le signal transmis et contribue à le dégrader fortement. Les évanouissements rapides, dus aux trajets multiples dans cet environnement, engendrent des fluctuations de la puissance instantanée au niveau du détecteur, affectant directement la qualité de la transmission et la capacité du lien. Le signal arrivant au récepteur n'est jamais composé d'une seule onde, mais de la superposition d'une multitude d'ondes provenant des interactions avec l'environnement (réflexions, diffractions, transmissions par les obstacles). En effet, la capacité de transport de données est simultanément liée aux limites des systèmes de transmission, aux techniques mises en place pour le partage des ressources entre les utilisateurs et aux traitements du signal reçu.

Etant support de transmission, les faisceaux hertziens permettant de relier deux points à distance éloignés mais le grand problème est de savoir comment ces deux points sont bien placés, voilà la question qui nous préoccupe dans ce travail.

Nous tenons à calculer le bilan d'une liaison de transmission par faisceau hertzien afin de s'assurer du bon fonctionnement (l'échange d'information, le transfert de fichiers et de messages).

Au cours de ce travail de projet de fin d'études, nous avons développé une interface graphique permettant le calcul du bilan de liaison dans un environnement

avec ou sans obstacles. Cet outil de calcul a été validé sur plusieurs cas d'exemples de systèmes de transmission FH tirés de la littérature.

Le manuscrit de ce mémoire est composé de trois chapitres :

Nous avons au premier chapitre étudié le système de transmission par faisceau hertzien où nous avons présenté la structure, l'organisation et défini les défauts d'une liaison de transmission par faisceau hertzien. Notre préoccupation est de montrer à nos lecteurs les principes de transmissions d'information par faisceau hertzien.

Au deuxième chapitre, nous avons expliqué l'étude d'un réseau de transmission d'information par faisceau hertzien en parlant avec détaille du bilan de liaison et des données nécessaires pour le calculé à partir des formules données.

Enfin, au troisième chapitre, nous avons développé un logiciel qui permet de calculer le bilan de liaison dans un environnement avec ou sans obstacles.

CHAPITRE I :

Introduction à la
transmission FH

I.1 Introduction:

La transmission d'information est l'échange des informations entre un terminal A et un terminal B éloignés géographiquement l'un de l'autre.

Cet échange est réalisé à l'aide des équipements spéciaux, par intermédiaire d'un réseau des télécommunications.

Dans ce chapitre, nous essayons de présenter les principales caractéristiques de la transmission des informations.

I.2 Historique :

La figure ci-dessous dresse l'historique des découvertes et inventions liées aux radiocommunications et aux antennes. Le développement des radiocommunications est basé sur la théorie de l'électromagnétisme, mise au point au XIXe siècle et améliorée au XXe siècle. Les ondes électromagnétiques, support des radiocommunications, ont été prévues de manière théorique dans le cadre des équations de Maxwell et mises en évidence expérimentalement par Hertz à la fin du XIXe siècle. Peu de temps après, les premières applications de transmission radio sont apparues. Le XXe siècle est ensuite ponctué d'innovations majeures, qui répondaient à des besoins précis. [1]

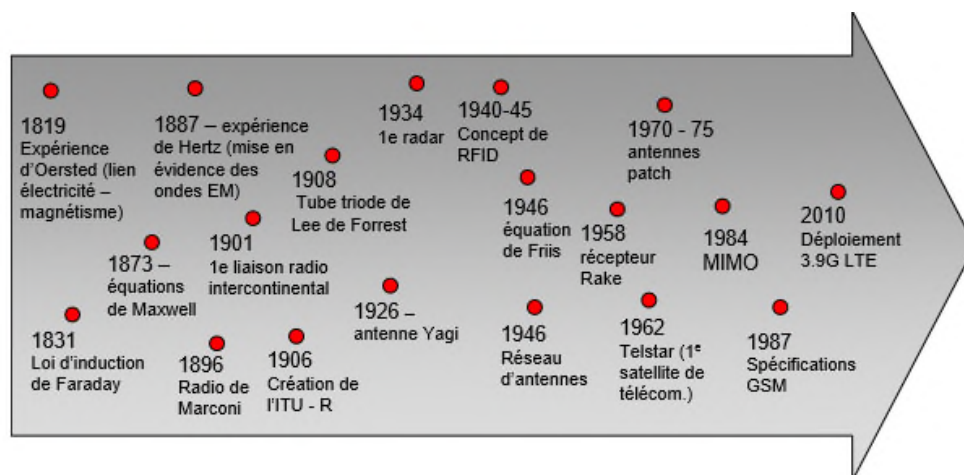


Figure I-1 : Historique des radiocommunications

I.3 Faisceaux hertziens :

Ce type de liaisons radio point à point (actuellement numériques) est utilisé pour des liaisons voix et données. Il utilise comme support les ondes radioélectriques, avec des fréquences porteuses de 1 GHz à 40 GHz très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives.

Ces ondes sont sensibles aux masquages (relief, végétation, bâtiments...), aux précipitations, aux conditions de réfractivité de l'atmosphère et présentent une sensibilité assez forte aux phénomènes de réflexion. [2]

Cependant les bilans de liaison réalisés préalablement permettent de réaliser des études de faisabilité et d'établir des liens avec des taux d'indisponibilité extrêmement faibles.

Les domaines d'applications sont multiples : Raccordement d'abonnés en zone rurale, déport de relais radio GSM, déport de relais radio publiques (Gendarmerie, Pompiers, Police, Armées). [3]

I.3.1 Types de faisceaux hertziens :

Il existe deux types de faisceaux hertziens à savoir :

- Le faisceau hertzien à visibilité directe
- Le faisceau hertzien transhorizon ou troposphérique [4]

I.3.2 Les liaisons radioélectriques :

Les liaisons radioélectriques utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre. Elles ont l'avantage de ne pas nécessiter de lourds travaux d'infrastructure. Cependant le support utilisé est commun à tout le monde. Les bandes de fréquence représentent donc une ressource rare et leur utilisation est réglementée par des organismes officiels nationaux. Etant donné que les bandes de fréquence utilisées sont imposées, le signal à transmettre sera toujours transposé en fréquence par modulation.

Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations sur des points hauts. Elle a une portée variant de 10 à 60 Km, mais la distance qui est souvent utilisée est de 50 Km.

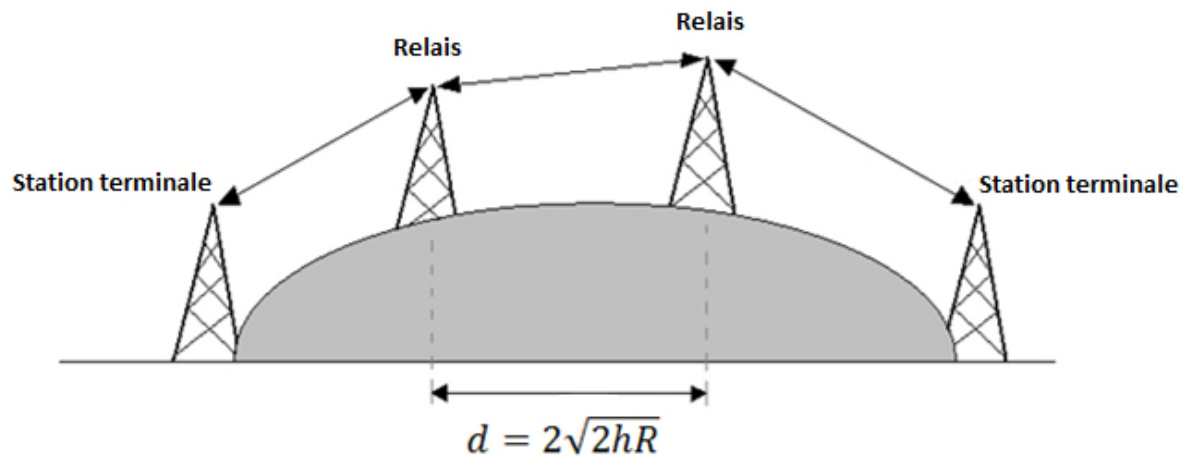


Figure I-2 : Présentation des Relais

Avec : h : hauteur des antennes

R : Rayon de la terre

Le bon fonctionnement des liaisons FH est conditionné par les caractéristiques des bonds radioélectriques entre les stations et par celle des antennes utilisées. Ces bonds sont en visibilité directe donc dégagées de tout obstacle et avec des réflexions, des phénomènes de réfraction et de diffraction négligeables. [5]

I.3.3 Caractéristiques des faisceaux hertziens:

Les faisceaux hertziens présentent certaines caractéristiques :

- La sécurité : la liaison par faisceau hertzien doit donner une sécurité, c'est ainsi qu'on l'équipe de station avec des matériels radios de très grandes fiabilité c'est-à-dire de très haute fréquence et on utilise des antennes extrêmement directives à des gains qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de dB.
- Duplex : la transmission se fait dans les deux sens (bilatérales), elles doivent se faire simultanée, donc elle suppose l'emploi de deux fréquences distinctes dans les deux sens.

- Une succession des stations relais ayant pour chaque sens de transmission des émetteurs, des récepteurs et des antennes.
- Un rapport signal bruit(S/B) élevé.
- Le réglage se fait à l'aide des appareils de mesure appropriés avec une procédure bien établie. [4]

I.3.4 Les systèmes utilisant les liaisons hertziennes:

Quelques exemples de systèmes utilisant les liaisons hertziennes, la liste qui suit n'est, bien sûr, pas exhaustive.

- Radiodiffusion (en modulation d'amplitude ou de fréquence)
- Télédiffusion (analogique ou numérique, terrestre ou par satellite)
- Radiocommunications : Talkie-walkie, liaison VHF pour avions ou bateaux
- Faisceaux hertziens.
- Téléphonie : téléphone DECT (réseau de téléphones sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise), téléphone mobile.
- Internet : Liaison Wi-Fi (réseau Internet sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise). [6]

I.3.5 Les modulations utilisées en FH :

Les équipements radio analogiques et numériques sont différents fondamentalement par le type de modulation qu'ils utilisent. Pendant que les FHA utilisent la modulation de fréquence, les FHN utilisent les modulations par sauts de phase ou multi états (multi niveaux) où modulation sur fréquence porteuse. [5]

I.3.5.1 Modulation pour FH analogiques :

En modulation d'amplitude, l'information utile est véhiculée par l'amplitude du signal porteur. Or en réception, les éléments traversés par le signal présentent parfois des non linéarités en amplitude, ce qui altère la qualité du signal après démodulation. En plus cet inconvénient, en modulation d'amplitude, la propagation de la porteuse dans l'atmosphère entraîne des variations du niveau de réception d'où après la démodulation, le signal présente des parasites. En tenant compte de ces

phénomènes, le choix s'est porté sur la modulation de fréquence pour les FHA car cette modulation ne présente par les défauts ci-dessus cités et en plus les modulations et démodulations de fréquence sont de réalisations plus faciles. [5]

I.3.5.2 Modulation pour FH numériques :

Les modulations analogiques, mise au point pour adapter le signal analogique à son support de transmission ne peuvent pas être utilisés pour les signaux numériques. Il a été conçu pour ces signaux un type particulier de modulation dit modulation numériques ou modulation sur fréquence porteuse: ASK, FSK et PSK. Mais, c'est la modulation à saut de phase (PSK) ou modulation multi états qui est généralement utilisées. Aujourd'hui on trouve généralement le QPSK qui tend à être la norme pour la modulation sur fréquence porteuse. Cependant, pour mieux conserver la bande passante, la modulation QAM est aussi utilisée. Dans la modulation multi états, une porteuse SHF est également utilisée. Elle est sinusoïdale et peut donc être définie en termes d'amplitude, de fréquence ou de phase modulée par rapport à la phase ou à l'amplitude.

Dans un train binaire, lorsqu'il y a changement entre deux éléments binaires successifs, on procède à un changement d'état. Le signal binaire généralement à un rythme ou horloge. L'idéal serait d'avoir une modulation cohérente, mais, à des débits élevés, il est difficile de conserver la cohérence. La modulation est alors de types non cohérent.

En général, les FHN à moyenne et grande capacité utilisent une modulation 4 états de phase avec modulation d'une fréquence intermédiaire de 70 MHz ou de 140 MHz. Mais aujourd'hui la limite supérieure est connue seulement par le type de système de transmission. [5]

I.3.6 Les désignations fréquentielles:

Le spectre électromagnétique est divisé en plusieurs régions comme le montre le tableau I.1. Durant la 2^{ème} guerre mondiale, des lettres ont été utilisées pour désigner les différentes bandes fréquentielles pour les applications RADAR. Ces désignations sont toujours utilisées. Les identifiants des bandes peuvent être utilisés pour référencer un ou plusieurs intervalles de fréquences. [7]

Bande	Désignation	Intervalle de fréquence
Extremely low frequency	ELF	<3 kHz
Very low frequency	VLF	3–30 kHz
Low frequency	LF	30–300 kHz
Medium frequency	MF	300 kHz–3 MHz
High frequency	HF	3–30 MHz
Very high frequency	VHF	30–300 MHz
Ultra-high frequency	UHF	300 MHz–3 GHz
Super-high frequency	SHF	3–30 GHz
Extra-high frequency	EHF	30–300 GHz

Tableau I.1: Désignations fréquentielles

Le tableau I.2 montre les désignations des bandes nominales et celles des bandes RADAR officielles comme le recommande l'ITU. La modélisation de la propagation RF est caractérisée par le nombre important des modèles qui sont en développement continu.

La majorité des modèles qui existent sont de natures empiriques, malgré qu'ils soient basés sur la physique. Le type complexe des environnements rend difficile (ou impossible) la création des modèles exactes. [7]

Notation	Intervalle de fréquence nominal	ITU—Région 2
HF	3–30 MHz	
VHF	30–300 MHz	138–145, 216–225 MHz
UHF	300–1000 MHz	420–450, 890–942 MHz
L	1–2 GHz	1215–1400 MHz
S	2–4 GHz	2.3–2.5, 2.7–3.7 GHz
C	4–8 GHz	5.25–5.925 GHz
X	8–12 GHz	8.5–10.68 GHz
Ku	12–18 GHz	13.4–14, 15.7–17.7 GHz
K	18–27 GHz	24.05–24.25 GHz
Ka	27–40 GHz	33.4–36 GHz
R	26.5–40 GHz	
Q	33–50 GHz	
V	40–75 GHz	
W	75–110 GHz	

Tableau I.2: Désignations fréquentielles ITU

I.3.7 Choix des fréquences porteuses:

Le domaine des faisceaux hertziens s'étend de 250 Mhz à environ 22 GHz dans ce domaine, seules certaines bandes de fréquences bien définies ont été attribuées aux faisceaux hertziens terrestres. La partie inférieure du domaine n'offre que des bandes relativement étroites et ne convient qu'à des systèmes de faibles capacités. La plupart de faisceau hertzien se situe au-dessus de 17 GHz.

Toutefois, à partir de 12 GHz, l'absorption due à la pluie conduit à un affaiblissement croissant. Ce domaine ne convient pratiquement qu'à des faisceaux numériques.

Par convention internationale (UIT-R), les bandes attribuées ont été divisées en canaux pour les deux sens de transmissions de chaque bond de faisceau hertzien dans un réseau dense (plan de fréquence) est une opération qui doit tenir compte :

- Des couplages parasites possibles entre antennes situées sur le même support.

- d'interfaces entre faisceau voisin due à l'imparfaite directivité des antennes
- De la possibilité d'altérer la polarisation (horizontale ou verticale) dans les canaux adjacents.
- De la sélectivité des récepteurs.
- D'un souci d'utilisation optimale du domaine fréquentiel disponible. [4]

I.3.8 Intérêts et inconvénients:

L'intérêt principal des liaisons hertziennes est qu'elles ne nécessitent pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur de l'information.

En plus :

- Installation facile et rapide.
- Débits élevés.

C'est le moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles: piétons, automobiles, bateaux, trains, avions, fusées, satellites, etc...

Les liaisons hertziennes sont intéressantes dans le cas de la diffusion (radio diffusion et télédiffusion), où l'on a un émetteur et plusieurs récepteurs. En effet pour couvrir une ville, il est plus simple et moins cher d'installer un émetteur et une antenne chez chaque particulier, plutôt que de relier par câble chaque particulier.

Les inconvénients principaux des liaisons hertziennes (par rapport aux autres supports) sont aussi liés à l'absence de support physique :

- Exploitation sous licences, sur certaines fréquences.
- Coûts des licences.
- Liaison sensible aux hydrométéores, notamment lors de fortes pluies. [4][8]

Comment faire pour que tout le monde puisse communiquer en même temps ?

Ce problème n'existe pas par rapport à une liaison filaire : chacun son câble ! Dans le cas des liaisons hertziennes, ceci impose une gestion stricte des fréquences: Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée. [6]

Comment garantir la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur ?

N'importe quel «espion» peut intercepter une communication puisque l'information est transmise en «espace libre».

Cet inconvénient est corrigé par l'utilisation de cryptage de l'information entre l'émetteur et le récepteur. [6]

I.3.9 La transmission du signal par liaison hertzienne :

Pour transmettre un signal par liaison hertzienne, une solution (faussement) simple pourrait être de transmettre le signal directement, en reliant directement le générateur d'information à une antenne. On réaliserait alors ce qu'on appelle une liaison en bande de base. Ceci n'est jamais réalisé en pratique.

En effet, les signaux transmis généralement sont des signaux audio, vidéo ou numériques. Ces informations ont un spectre basse fréquence et assez étendu.

Ils ne peuvent donc être transmis directement pour les raisons suivantes :

- le canal hertzien a une atténuation qui varie fortement avec la fréquence et coupe les basses fréquences.
- Les antennes devraient avoir des dimensions gigantesques pour avoir des performances honorables (plus la fréquence est haute et plus les antennes sont petites).
- Une fois qu'un générateur émettrait, il perturberait toutes les autres liaisons.[6]

Le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation. L'opération de modulation transforme le signal, à l'origine en bande de base, en signal à bande étroite, dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. Les modulations utilisées sont :

- À 4 ou 16 états (QPSK, 4 QAM, 16QAM...) pour les signaux **PDH**
- À 64 ou 128 états (64 QAM, 128 QAM...) pour les signaux **SDH**

Le tableau suivant résume les largeurs de bande nécessaires en fonction des débits rencontrés dans le hertzien et le type de modulation utilisée :

Norme	PDH	PDH	PDH	PDH	SDH
Débit	2*2 Mbits/s	4*2 Mbits/s	8*2 Mbits/s	16*2Mbits/s	155 Mbits/s
4 états	3.5 Mhz	7 Mhz	14 Mhz	28 Mhz	-
16 états	1.75 Mhz	3.5 Mhz	7 Mhz	14 Mhz	-
64 états	-	-	-	-	56 Mhz
128 états	-	-	-	-	28 Mhz

Tableau I.3: les largeurs de bande

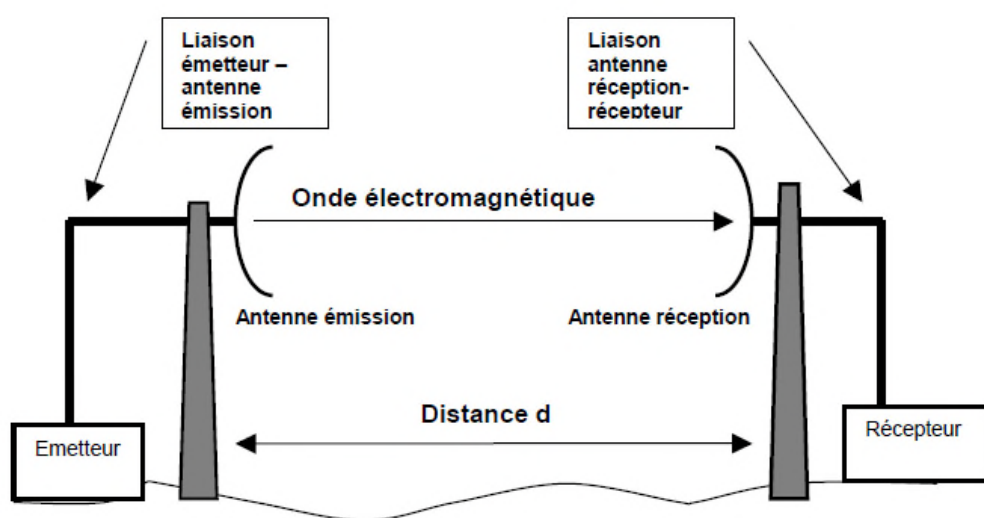
C'est pour ces raisons que les liaisons hertziennes sont réalisées à des fréquences élevées de telle manière que la bande occupée par le message à transmettre soit très inférieure à la fréquence de l'onde porteuse. [9]

On retiendra:

Pour transmettre un signal par liaison hertzienne, il faut « accrocher » le signal basse fréquence (le message à transmettre) à une onde de haute fréquence (la porteuse). C'est l'opération de modulation. [6]

I.3.10 Schéma de principe d'une liaison hertzienne:

Le schéma de principe d'une liaison hertzienne est dans le cas général le suivant :

**Figure I-3 :** Schéma de principe d'une liaison hertzienne

Emetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise P_E . Ici P_E sera exprimée en dBm ou dBW.

Ordre de grandeur : de quelques mW (0dBm) à plusieurs kW (> 30dBW).

Liaison émetteur- antenne émission : elle est généralement réalisée en câble coaxial.

A plus haute fréquence (> quelques GHz), elle peut être réalisé en guide d'onde.

Elle est caractérisée par son atténuation LE (dB).

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas (LE = 0dB)

Antenne émission : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne GE (dBi)

Distance d : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. On peut montrer que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation AEL (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$A_{EL} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad [dB] \quad (I.1)$$

Liaison antenne réception- récepteur : comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation LR (dB).

Antenne réception : Elle est caractérisée par son gain d'antenne GR (dBi).

Récepteur : Le paramètre qui nous intéresse ici est PR, puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm. [10]

I.4 Défauts de liaison :

I.4.1 La diffraction :

Sur le plan économique on a intérêt à ce que les antennes soient les plus possibles de la terre, donc à ce que le rayon passe près du sol. Il faut donc trouver une règle donnant le dégagement minimum nécessaire sur un bond hertzien pour que la diffraction du rayon sur les obstacles éventuels soit négligeable.

Les études sur diffraction montrent que la puissance reçue en espace libre varie en fonction de la distance du rayon à l'obstacle pour être sûr d'avoir une puissance réception suffisante, on cherche à obtenir un dégagement du rayon au-dessus de

l'obstacle de sorte que si M est un point de l'espace au-dessus de l'obstacle, E et R étant les extrémités de la bande. Le dégagement est caractérisé par : [4]

$$EM + MR = ER + \lambda/2 \quad (1.2)$$

I.4.2 La réflexion :

Les réfractions sur le sol pouvant 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'épanouissement est le rapport exprimé en décibels, entre la puissance reçue calculée à l'espace libre et la puissance reçue au moment de l'évanouissement. [4]

I.4.3 La réfraction :

L'établissement d'un projet de faisceau hertzien nécessite la connaissance de la valeur moyenne et des variations possibles de la courbe 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. [4]

I.4.4 Atténuation par le gaz de l'atmosphère :

L'oxygène et la vapeur d'eau absorbent une partie de l'énergie du rayon. Cette absorption est de l'ordre de quelque centimètre de décibels par km pour les fréquences inférieure à 15 GHz. L'absorption croît avec la fréquence. A 20 GHz par exemple l'absorption due à l'oxygène est e 0.02 dB/km, celle due à la vapeur d'eau (7.5g/cm³) est égale à 0.09 dB/km et on a 0.11dB/km.

L'oxygène a une raie d'absorption à 118.74 GHz et une série de raies 50 et 70 GHz

Au-delà de 20 GHz l'absorption croît brutalement car une raie de résonance de la molécule d'eau existe à 22.23 GHz, deux autre raies d'absorption pour la vapeur d'eau se présentent aux fréquences de 183.3 GHz et 225.4 GHz. [4]

I.4.5 Atténuation et transpolarisation par les hydrométéores :

La transpolarisation ou dépolarisation résulte du mécanisme par lequel une partie de l'énergie rayonné avec une certaine polarisation se trouve après propulsion 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 donnant 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. [4]

I.5 Les causes d'erreurs :

I.5.1. La gigue :

On peut définir la gigue comme étant le déplacement d'un signal par rapport à sa position idéale dans le temps. Elle peut être provoquée par les multiplexeurs, les régénérateurs ou le dérapage lié à la propagation radioélectrique et aux intempéries notamment les fortes variations de températures. [8]

I.5.2. Le glissement d'horloge :

C'est un problème de rythme que se produit à l'interface de deux réseaux pilotés par des horloges différentes. [8]

I.5.3. Le bruit :

On appelle bruit, toute perturbation affectant un signal, le bruit dégrade le signal utile et introduit des erreurs, on l'évalue généralement en mesurant le rapport signal sur bruit (S/B ou C/N en anglais). [8]

I.5.4. Le bilan:

Dans une liaison sans fil le signal envoyé par l'émetteur est, atténué et la fraction arrive au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et de l'amplificateur. Le signal est donc dégradé, en outre, divers éléments introduisent une puissance de bruit qui va également dégrader les performances. La grandeur intéressante pour l'évaluation de ces performances est le rapport signal à bruit. [8]

I.6 Les antennes :

I.6.1 Définition :

L'antenne est un transformateur d'énergie :

A l'**émission** elle transforme une énergie électrique fournie par un générateur en énergie électromagnétique en tout point de l'espace. En particulier, il est intéressant de connaître cette énergie très loin de l'antenne d'émission.

A la **réception** l'antenne transforme l'énergie électromagnétique caractérisée par le champ électromagnétique autour d'elle en énergie électrique.

Il y a réciprocité entre le comportement d'une antenne à l'émission et celui à la réception. Cela veut dire principalement que les caractéristiques d'une antenne à la réception peuvent se déduire de celle d'une antenne à l'émission et réciproquement.

L'antenne étant un système résonant (onde stationnaire), il faut faire en sorte que l'impédance qu'elle ramène face à la ligne (son impédance d'entrée) soit adaptée à celle-ci. La ligne est alors en onde progressive, toute la puissance est transmise à l'antenne.

L'antenne sert alors de transformateur d'impédance entre l'espace libre et la ligne de transmission. La puissance rayonnée ne dépend que de la puissance acceptée et des pertes de l'antenne. [11]

I.6.2 Les principaux caractéristiques d'une antenne:

Pour une antenne il y a deux grandes catégories de caractéristiques qui sont soit à mesurer ou à calculer :

I.6.2.1 Les caractéristiques d'adaptation :

Pour rayonner de l'énergie l'antenne doit d'abord en avoir accepté le maximum du générateur dans toute la bande de fréquence utile. L'antenne est alors un dipôle électrique (au sens des circuits) qui doit être adapté au générateur. [11]

I.6.2.2 Les caractéristiques de rayonnement :

Lorsque l'antenne a accepté l'énergie du générateur, elle doit la rayonner aux pertes près. La façon de rayonner cette énergie dépend de la valeur des courants induits sur l'antenne. L'antenne devra avoir la capacité de concentrer l'énergie dans des directions voulues. Par exemple pour une liaison point - point, l'antenne devra être très directive ; par contre pour une liaison point - multipoint elle sera de préférence omnidirectionnelle en azimut pour arroser uniformément toutes les antennes réceptrices situées autour d'elles.

Le champ électromagnétique émis à grande distance est donc caractéristique par son amplitude de l'énergie envoyée dans chaque direction par l'antenne. Sa phase donnera des renseignements supplémentaires sur les interférences possibles, mais une caractéristique importante est sa polarisation, c'est-à-dire la façon dont est orienté dans l'espace le champ électromagnétique. [11]

I.6.3 Directivité, gain et rendement d'une antenne :

Ces 3 grandeurs permettent de caractériser la façon dont une antenne convertit la puissance électrique incidente en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction particulière. Le gain et la directivité permettent de comparer les performances d'une antenne par rapport à l'antenne de référence qui est l'antenne isotrope. [1]

II.6.3.1. Directivité

La directivité $D(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope. [1]

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_R} \quad (1.3)$$

II.6.3.2. Gain

Le gain $G(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, ϕ_0) . Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_E} \quad \longrightarrow \quad G = 4\pi \frac{P(\theta_0, \phi_0)}{P_E} \quad (1.4)$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB. Le gain est généralement exprimé en dB ou en dBi car une antenne isotrope est utilisée comme référence. On trouve aussi parfois le gain exprimé en dBd, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence. [1]

II.6.3.3. Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée P_E sous forme de puissance rayonnée P_R . On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. [1]

$$P_R = \eta \cdot P_E \quad \longrightarrow \quad G = \eta \cdot D \quad (1.5)$$

I.6.4 Les types des antennes

II.6.4.1. Le dipôle demi-onde :

Un dipôle $\frac{1}{2}\lambda$ ou dipôle demi-onde est une antenne formée par deux conducteurs de longueur totale égale à une demi-longueur d'onde $\frac{1}{2}\lambda$ avec une alimentation au milieu.

L'antenne quart d'onde (une antenne de longueur $\frac{1}{4}\lambda$) est généralement placée au-dessus d'un plan conducteur parfait (donc réflecteur parfait) ce qui permet au système d'apparaître comme une antenne demi-onde. La taille de l'antenne demi-onde peut être réduite en maintenant la taille électrique à $\frac{1}{2}\lambda$, ceci aura un effet négligeable sur le gain. Ce type d'antennes a une résistance de rayonnement d'environ 73Ω , pour une antenne demi-onde idéale alimentée du milieu, son impédance d'entrée est égale à la résistance de rayonnement. Le même dipôle peut être alimenté de l'extrémité ce qui augmente l'impédance d'entrée (elle devient d'environ 3000Ω), dans ce cas un circuit d'adaptation sera nécessaire à cause duquel l'efficacité de l'antenne peut être réduite. [12]

II.6.4.2. L'antenne Yagi :

L'antenne Yagi se compose de 3 parties distinctes:

- L'élément principal (élément rayonnant).
- Un réflecteur à l'arrière de l'élément principal.
- des directeurs de longueur décroissante l'une de l'autre.

L'antenne Yagi est une antenne directive qui génère une onde polarisée linéairement. La structure de l'antenne Yagi est montrée dans la figure I-4. [13]

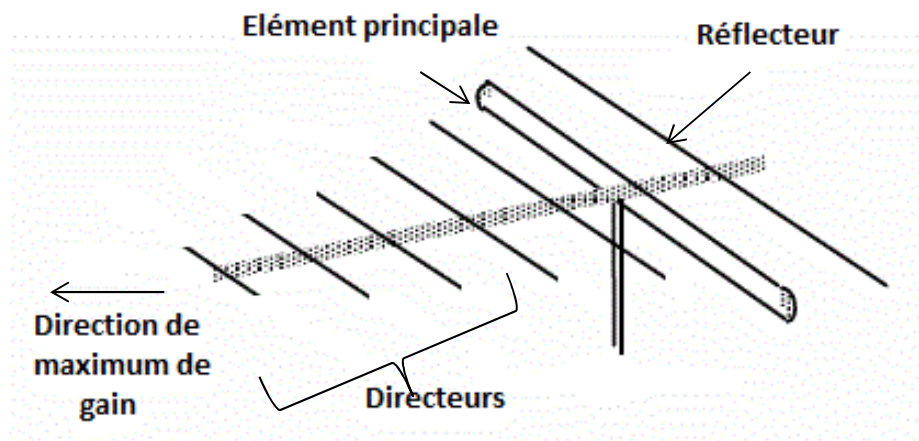


Figure I-4 : La structure de l'antenne Yagi

II.6.4.3. L'antenne cornet :

L'antenne cornet peut être traitée comme une extrémité ouverte d'un guide d'onde. Il utilise le principe d'ouverture rayonnante, la forme de cornet assurant simplement l'adaptation progressive de l'onde électromagnétique entre le point de couplage et la surface de rayonnement.

Ce type d'antennes peut être utilisé comme standard de gain ou de calibration grâce à leur gain prédictible. [14]

II.6.4.4. Antennes à réflecteur :

Les antennes à réflecteur incluent les réflecteurs paraboliques et l'antenne Cassegrain. L'antenne à réflecteur parabolique est constituée d'une antenne placée au foyer du paraboloïde, nommée source focale ou source primaire. Celle-ci possède un diagramme de rayonnement qui lui est propre, qualifié de rayonnement primaire. L'association de cette source primaire et du paraboloïde forme l'antenne à réflecteur, caractérisée par un diagramme de rayonnement secondaire. L'antenne de diffusion TV est un exemple d'une antenne à réflecteur parabolique. Le schéma de principe d'une telle antenne est représenté sur la figure I-5. [15]

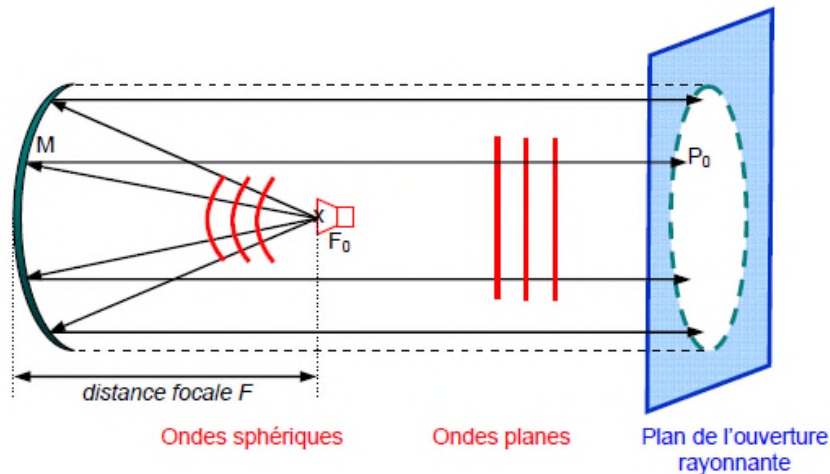


Figure I- 5: Schéma de principe d'une antenne à réflecteur parabolique

L'antenne Cassegrain est montrée dans la figure I.6. Ce type d'antennes utilise un réflecteur parabolique mais son alimentation se situe au milieu de la parabole d'où le signal sera rayonné à un réflecteur secondaire fixé au point focal du réflecteur principal. Le réflecteur secondaire illumine donc le réflecteur principal duquel se produit le diagramme de rayonnement. L'avantage de ce type d'antenne est que l'unité d'émission/réception peut être placée sur l'antenne sans avoir besoins de câbles ou de guides d'onde, leur taille peut être illimitée, le contraire des réflecteurs paraboliques classique.

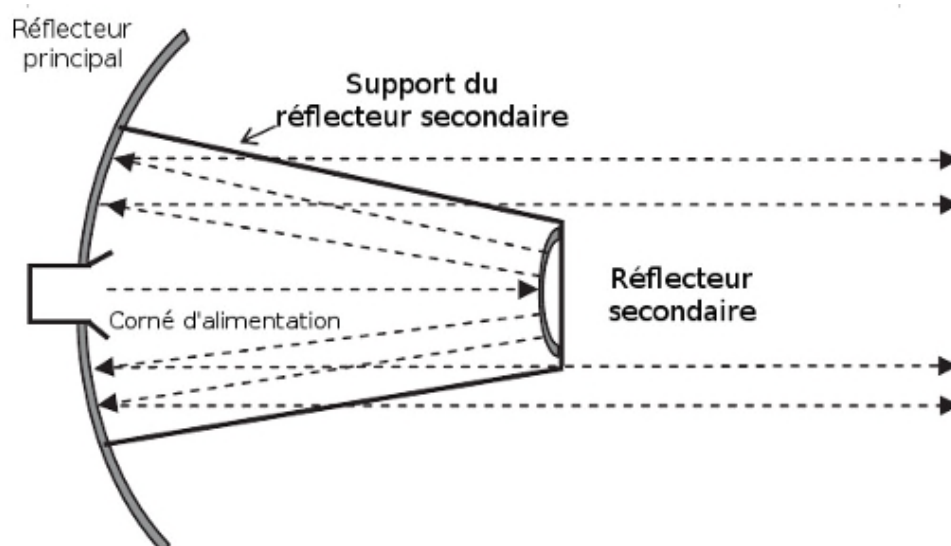


Figure I-6: Configuration de l'antenne Cassegrain

Ce type d'antennes est largement utilisé pour les communications sol-espace tant qu'il y a besoins d'une très grande sensibilité, cette antenne se dirige vers le ciel (donc il y a absence de bruits due au sol). Le réflecteur secondaire avec son support cause des blocages et des diffractions. [12]

II.6.4.5. Réseaux d'antennes :

Les réseaux d'antennes ont été initialement développées pour les larges bases terrestres de radars de poursuite, grâce auxquels le lobe principal peut être concentré sur chacune des cibles dans le domaine de vision du système rapidement, successivement et sans avoir besoins d'un repositionnement physique de l'ouverture. Le théorème fondamental pour l'étude des antennes réseaux, constituées de l'assemblage de plusieurs éléments rayonnants identiques, contrôlés en amplitude et phase, mais alimentés à partir d'une source commune. Ce type d'antennes est devenu largement utilisé dans les applications modernes telles que les antennes intelligentes dans les récepteurs GPS et les stations de base de la téléphonie cellulaire. Un autre avantage que présente cette configuration d'antennes est l'amélioration du fonctionnement des récepteurs en annulant les interférences venues d'une direction spécifique en utilisant des algorithmes adaptatifs. [16]

II.6.4.6. Autres types d'antennes :

Il y a plusieurs types d'antennes, certains ne seront même pas être mentionnés. Les antennes à champ magnétique sont largement utilisées pour les avantages qu'elles présentent bien que la plupart des antennes sont à champ électrique tant qu'elles interceptent la composante du champ électrique et la convertissent en une différence de potentiel qui est transmise au récepteur. D'une manière équivalente, il est possible de détecter le champ magnétique au lieu du champ électrique. L'antenne boucle de ferrite dans les petites radios AM est un exemple d'antennes à champ magnétique. La longueur d'onde de la radio diffusion AM est très grande, c'est la raison pour laquelle la fabrication d'une antenne à champ électrique pour ce type de services n'est pas pratique même pour des performances très réduites. Les grandes antennes filaires peuvent être remarquées dans les anciennes radios AM. [12]

Les antennes lentilles des dispositifs ayant pour support les ondes électromagnétiques et sont constituées d'une source primaire et d'un système focalisant diélectrique. [17]

Les antennes Patch sont utilisées si une petite diminution dans l'efficacité passe indétectable par le système de transmission. Les antennes Patch sont largement utilisées dans les réseaux d'antennes. Ce type d'antennes est largement utilisé pour la téléphonie cellulaire et les applications du domaine aérien. [7]

I.7 Conclusion :

Dans un premier temps nous avons commencé par faire une étude générale de la transmission par onde radioélectrique, partie dans laquelle le principe d'émission et réception des signaux par les antennes a été élucidé. Nous n'avons pu aborder l'essentiel de notre travail sans auparavant relater les principes de fonctionnement des antennes, indispensables à la mise en place du support hertzien et les divers défaut de propagation dont il faut nécessairement prendre en compte lors des calculs de déploiement des sites.

CHAPITRE II :

L'effet de l'atténuation sur le bilan de liaison

II.1. Introduction :

Avant d'installer un système de radiocommunication ou une liaison hertzienne, il est nécessaire d'effectuer le calcul du bilan de liaison. En effet ce calcul permet de déterminer si le niveau de puissance reçue par le récepteur sera suffisant pour que la liaison fonctionne correctement.

Le but de bilan de liaison est de calculer par étapes servant à déterminer la qualité d'une liaison. Les détails fluctuent selon la nature du média, hertzien, ligne, fibre optique, et le type de signaux et de modulation, mais le principe est le même. C'est le calcul global qui relie l'ensemble des domaines : radioélectricité, traitement du signal, protocoles, etc...

II.2. Le processus de design d'une liaison FH :

Le schéma suivant résume tout le processus de design d'une liaison FH : [8]

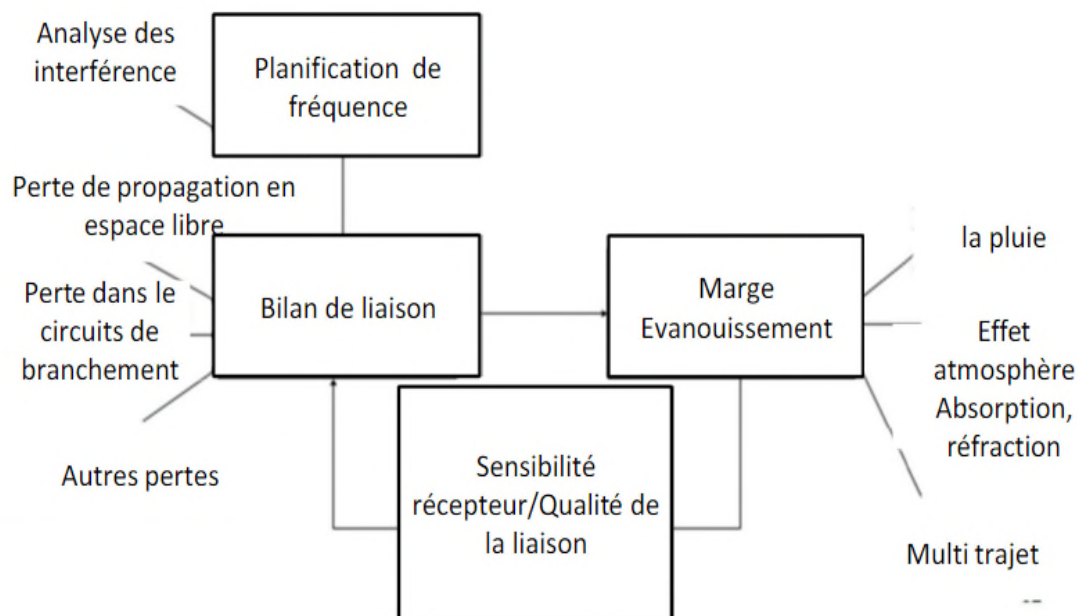


Figure II.1 : processus de design d'une liaison FH

II.3. Planification des fréquences :

L'objectif de la planification des fréquences est d'attribuer des fréquences à un réseau en utilisant les fréquences possible et d'une manière telle que la qualité et la disponibilité de liaison radio soient moins affectée par les interférences.

Le choix d'une fréquence dépend de la longueur de la liaison, la topographie du terrain et des effets atmosphériques, condition climatique de débit ... [8]

II.4. Condition de bon fonctionnement :

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieur à la sensibilité du récepteur.

De plus, on prendra généralement une marge (on essayera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc...) [8]

II.5. Bilan de Liaison :

Il s'agit d'additionner tous les éléments de gain (augmentation) ou de perte (diminution) dans la puissance du signal radio entre chaque extrémité, du genre: "Je gagne 10 ici, je perds 5 là, je gagne encore 2 ici et je perds 30 dans le câble final ..."

Puis évaluer si ce qui reste, en terme de puissance, entre le départ et l'arrivée est suffisant.

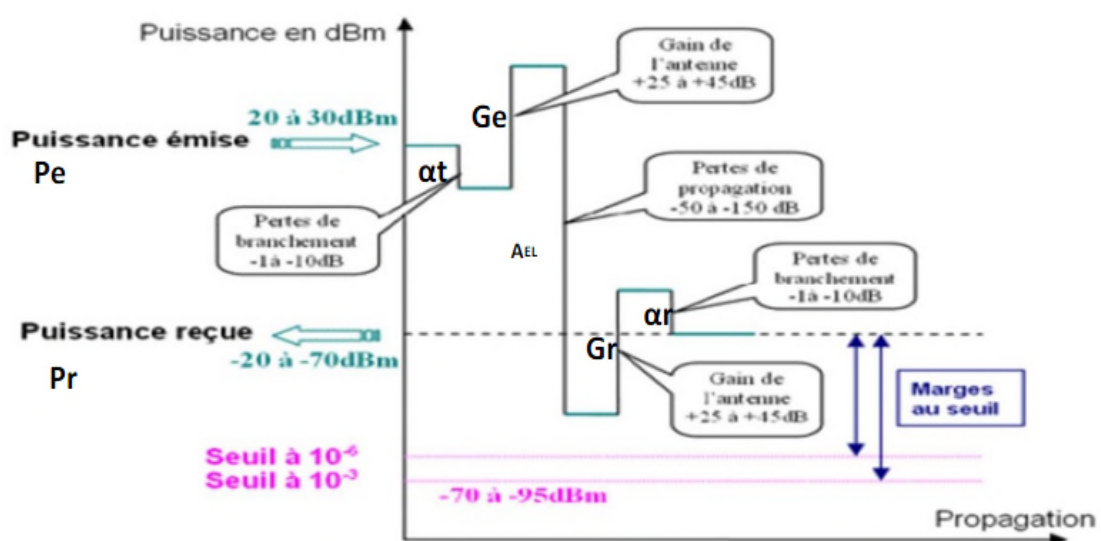


Figure II.2 : bilan de liaison

La figure ci-dessus explique par les ordres de grandeurs des gains et des atténuations successives subies par le signal entre le modulateur et le démodulateur d'un faisceau hertzien. [18]

II.5.1. Les unités courantes en télécommunication.

La puissance s'exprime en Watt, mais pour l'aspect technique le dB n'est pas dénué d'intérêt ! Pour exprimer la puissance grâce au dB il faut définir une puissance de référence (le W ou le mW), ce qui donne les unités courantes dans le domaine des radiocommunications : le dBm et le dBW. [19]

$$\text{dBm} = 10 \log_{10} (P/1\text{mW})$$

$$\text{dBW} = 10 \log_{10} (P/1\text{W})$$

Puissance	Valeur en dBm	Valeur en dBw
1W	+ 30	0
1mW	0	-30
1 μ W	-30	-60
1nW	-60	-90
1pW	-90	-120

Tableau II.1: conversion des puissances

II.5.2. Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente:

La P.I.R.E (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente), est une caractéristique importante d'un émetteur. Elle correspond à la puissance émise par l'émetteur, augmentée du gain d'antenne.

$$PIRE_{(W)} = Pe_{(W)} * Ge \quad (\text{Attention } Ge \text{ ici n'est pas en dBi}) \quad (\text{II.1})$$

On l'exprime souvent en dBw ou dBm :

$$PIRE_{(\text{dBm ou dBw})} = Pe_{(\text{dBm ou dBw})} + Ge_{(\text{dBi})} \quad (\text{II.2})$$

Dans la direction optimale du lobe principale, on a donc la densité de puissance suivante :

$$P(r) = \frac{P_{ire}}{4\pi r^2} \quad (\text{II.3})$$

Quand on utilise une antenne directive (par exemple une antenne parabolique), il est clair qu'on va chercher à orienter de manière optimale pour avoir : [20]

$$G(\theta, \varphi) = G_0$$

II.5.3. Sensibilité de réception :

Nous nous contenterons ici d'en donner une définition et une signification pratique.

II.5.3.1. Définition :

La sensibilité d'un récepteur est l'amplitude du signal qu'il faut appliquer à son entrée pour obtenir à la sortie du démodulateur un rapport signal/bruit déterminé (transmission analogique) ou un taux d'erreur donné en transmission numérique (10^{-3} ou 10^{-6}). [21]

II.5.3.2. Signification :

C'est la puissance minimale en dessous de laquelle la qualité de la liaison est dégradée :

Craquements importants « friture » pour une liaison audio, image dégradée en transmission vidéo « neige », taux d'erreur important en transmission numérique (« pixellisation » ou « figeage » de l'image en TV vidéo numérique). [21]

II.5.4. Le gain :

Le gain isotrope de l'antenne parabolique dépend principalement de son diamètre et de la fréquence d'utilisation (la longueur d'onde) mais aussi, dans une moindre mesure de l'efficacité du système d'illumination de la parabole par la source (coefficient K) et de la précision de réalisation du réflecteur. [22]

On utilise la formule suivante :

$$G = 10 \operatorname{Log} \left(K \left[\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right]^2 \right) \quad (\text{II.4})$$

Ou : K : est le rendement du système d'illumination (source) : en moyen K=0.55.

D : diamètre du réflecteur parabolique.

λ : Longueur d'onde d'utilisateur.

Remarque : D et λ exprimé en même unité.

II.5.5. Surface équivalente :

Soit une antenne de réception captant une onde dont la densité de puissance vaut $P(r, \theta, \varphi)$ et délivrant une puissance P_r .

La surface équivalente ou la surface de captation de l'antenne est définie par :

$$A_{eq} = \frac{P_r}{p} \quad [m^2] \quad (II.5)$$

Connaissant la surface équivalente d'une antenne et la densité de puissance reçue ; on trouve immédiatement la puissance reçue. On montre qu'en raison de la réciprocité la surface équivalente est liée au gain de l'antenne de réception : [20]

$$A_{eq}(\theta, \varphi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r(\theta, \varphi) \quad [m^2] \quad (II.6)$$

II.6. Etude sur les atténuations :

Les performances d'un système de télécommunication basé sur un canal hertzien nécessite une connaissance de la façon dont se propage les ondes électromagnétiques, et notamment la perte de propagation (l'atténuation de la puissance par unité de surface d'une onde EM). En effet, sans une détermination précise de la perte de propagation, il n'est pas possible de déterminer la couverture radio d'un émetteur (distance max séparant l'émetteur d'un récepteur pour permettre une réception avec une qualité suffisante), ni l'interférence pouvant exister entre plusieurs émetteurs partageant des bandes de fréquence communes.

Cependant, hormis quelques cas canoniques (comme un espace libre, ou un environnement ouvert au-dessus d'un plan conducteur), il est difficile de déterminer précisément par calcul analytique la perte de propagation.

L'utilisation de ce type de méthodes précises suppose une très grande quantité de données et un temps de calcul considérable. [23]

II.6.1. Modèles de propagation des ondes

Les modèles de propagation des ondes sont des modèles mathématiques qui permettent de prédire l'impact d'un émetteur sur une certaine zone de réception soit la puissance du signal reçu.

Ces modèles sont utilisés pour planifier la couverture d'un réseau radio, mobile (GSM, UMTS,...), broadcast (radio, TV). [24]

II.6.2. L'utilité des modèles de propagation :

- Estimer la portée d'un émetteur radio.
- Déterminer la qualité du signal reçu en fonction de la distance et de l'environnement.
- Calculer le niveau d'interférence lorsque plusieurs émetteurs co-existent.
- Déterminer et configurer les équipements nécessaires pour assurer une couverture radio, une capacité et une qualité de service suffisante.

Un modèle de propagation permet de déterminer la perte de propagation L , qui relie la puissance reçue P_R et la puissance émise P_E , à partir de la fréquence, de la distance et des caractéristiques de l'environnement de propagation. [23]

$$P_R = P_E - L(f, d, \text{environnement}) \quad (\text{II.7})$$

On peut distinguer plusieurs types de modèles:

II.6.2.1. Pertes de propagation – modèle générale

En se propageant, la puissance d'une onde électromagnétique diminue. Cette atténuation est appelée Perte de Propagation L .

Dans la plupart des cas, celui-ci est difficile à déterminer avec précision, en raison de la complexité des environnements de propagation terrestre et des effets physiques. [23]

II.6.2.2. Pertes de propagation en espace libre – Formule de Friis :

Soit une antenne de gain G_E excitée par une puissance électrique P_E générant une onde sphérique dans un milieu homogène, isotrope, libre de tout obstacle, la puissance rayonnée par celle-ci décroît avec le carré de la distance r : [23]

$$P_{ray} = \frac{P_E G_E}{4\pi r^2} \quad (II.8)$$

La formule de Friis donne la puissance électrique reçue par une antenne de gain G_R .

$$P_r = \frac{P_E G_E G_R}{\left(4\pi \frac{d}{\lambda}\right)^2} = \frac{P_{IRE} \cdot G_R}{\left(\frac{4\pi}{c} \cdot d \cdot f\right)^2} \quad (II.9)$$

Si on exprime les puissances en dBm et les gains en dBi la formule de Friis devient :

$$P_r = P_e + G_e + G_r - L \quad (II.10)$$

Avec :

P_r : Puissance reçue (dBm)

P_e : Puissance transmise (dBm)

G_e : Gain d'antenne émission (dBi)

G_r : Gain d'antenne réception (dBi)

L : Les atténuations (dB)

Remarque :

Les pertes de feeder=atténuation d'émetteur + atténuation du récepteur

La transmission en espace libre conduit à un affaiblissement géométrique dépendant uniquement de la fréquence et de la distance

Free space Path Loss : $L_0(d, f) = \left(\frac{4\pi}{c} \cdot d \cdot f\right)^2$ (II.11)

$L_0(dB) = 32.4 + 20 \cdot \log(d(Km)) + 20 \cdot \log(f(MHz))$ (II.12)

II.6.2.3. Modes de propagation dans un environnement terrestre

Le signal reçu est une combinaison de 4 modes de bases.

Il a généralement effectué de nombreux trajets avant d'arriver au récepteur (phénomènes de propagation multi trajets ou multi-path)



Figure II.3 : propagation dans un environnement terrestre

La relation de Friis s'applique rarement dans un environnement réel (non prise en compte de l'effet des obstacles et la non stationnarité des canaux) donc on utilise des modèles précis qui dépendent de l'environnement:

- Propagation en milieu rural (macrocellules): zone quasi ouverte, large, réflexion sur le sol, présence de montagnes, forêts, lacs, mers. Dimension > 10 km
- Propagation en milieu urbain (micro et picocellules): réflexions, diffractions multiples, obstacles de géométries complexes et dimensions variables, multitrajets, modification des plans de polarisation, canal fortement non stationnaire. Dimension : quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres.
- Propagation en milieu indoor : mêmes caractéristiques que le milieu urbain, pénétration à travers des murs, dimension limitée à quelques dizaines de mètres. [23]

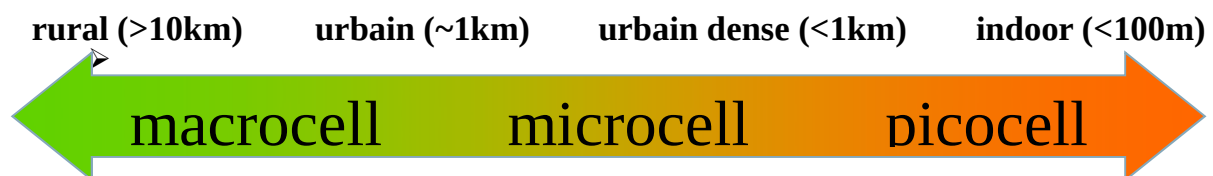


Figure II.4 : types d'environnement

II.6.2.4. Condition pour une propagation en visibilité directe (line of sight) :

Deux antennes sont dites en visibilité directe si elle respecte la règle du dégagement du premier ellipsoïde.

Aucun obstacle ne doit se trouver à l'intérieur de cette ellipse.

$$r = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \lambda \quad (\text{II.13})$$

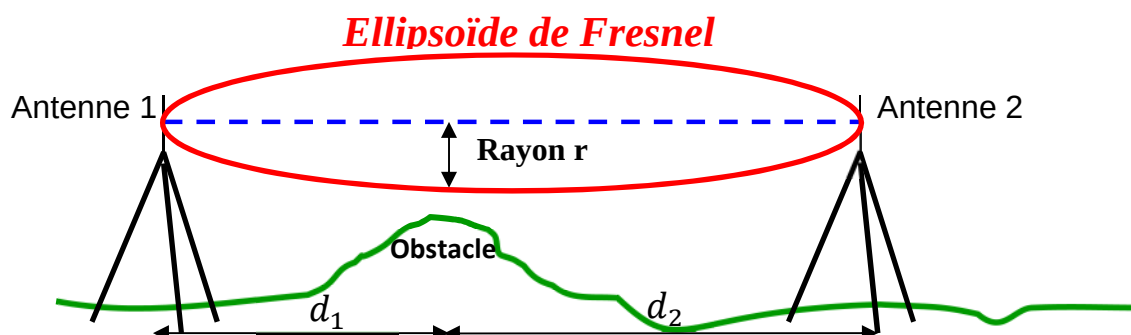


Figure II.5: zone de fresnel cas sans obstacle

Soit 2 antennes séparées de 1 km, avec un obstacle à mi-chemin. A 2 GHz, le dégagement nécessaire autour de la ligne de visée est de 6m. [23]

II.6.2.5. Absorption dans les matériaux de construction

La traversée de matériaux non conducteurs conduit à une atténuation d'une onde électromagnétique.

Les coefficients d'atténuation (en dB) dépendent de la nature du matériau, de son épaisseur et de la fréquence.

Atténuations typiques de matériaux de construction (1800 MHz):

Plaque de bois ou placo-platre	3 dB
vitre	2 dB
Béton poreux	6.5 dB
Vitre renforcée	8 dB
cloison de 10cm de béton	9.5 dB
Mur de béton épais (25cm)	13 dB
Mur de béton épais (25cm)+grande vitre	11 dB
Mur de béton épais (> 20 cm)	15 dB
dalle	23 dB
Mur métallique	30 dB

Tableau II.2 : atténuations des matériaux

II.6.2.6. Espace ouvert avec sol conducteur – modèle à deux rayons

La relation de Friis ne permet pas de prendre en compte l'effet du sol à l'origine d'une réflexion.

Dans la figure II.5 on représente un exemple de modèle analytique, permettant de déterminer la perte de propagation entre 2 antennes en visibilité directe, placée au dessus d'un sol homogène, parfaitement plat, sans aspérités, et conducteur. La réflexion de l'onde EM sur le sol conduit à l'apparition d'une onde réfléchi qui va interférer avec l'onde directe, et donc la puissance reçue sera modifier en fonction de la fréquence, de la distance de séparation et de la hauteur des antennes [23]

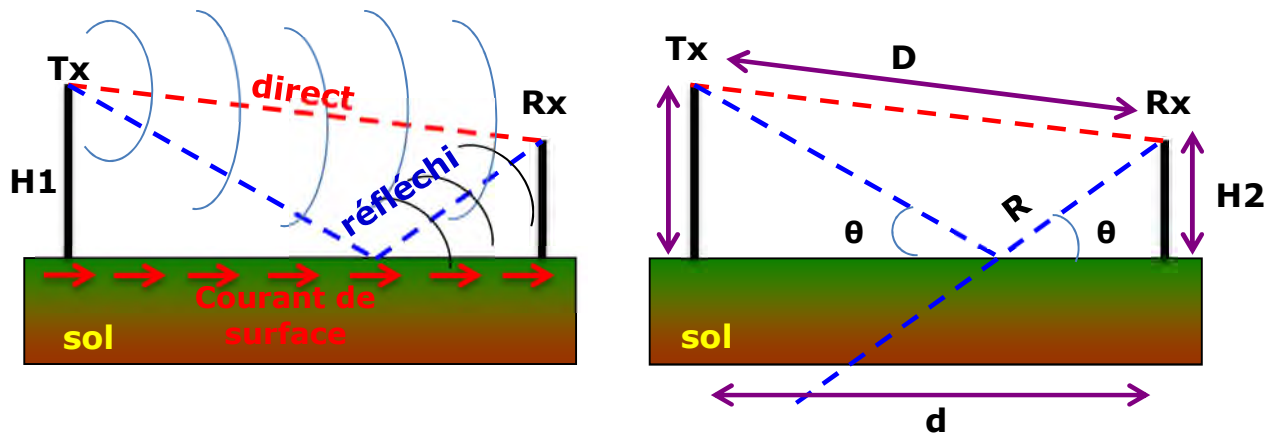


Figure II.6: exemple espace ouvert avec sol conducteur

$$L_p = \frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} \approx \left| \frac{e^{-j\beta D}}{2\beta D} \cdot (F_{Tx} + F_{Rx} \cdot (\Gamma + (1 - \Gamma)A) e^{(-j\phi)}) \right|^2 \quad (II.14)$$

Avec :

F_{Tx}, F_{Rx} : terme tenant compte du diagramme de rayonnement des antennes Tx et Rx le long des rayons direct et réfléchi

Γ : coefficient du réflexion du sol

A : Contribution des ondes de surface

ϕ : Déphasage du rayon réfléchi par rapport au rayon direct.

$$\begin{cases} \theta = \arctan\left(\frac{H_1+H_2}{d}\right) \\ D = \sqrt{d^2 + (H_1 - H_2)^2} \\ R = \sqrt{d^2 + (H_1 + H_2)^2} \end{cases} \Longrightarrow \phi = \beta \cdot (R - D) \quad (\text{II.15})$$

Calcul du coefficient de réflexion : il dépend de l'angle d'incidence et des propriétés électriques du sol :

$$\Gamma(\theta) = \frac{\sin \theta - X}{\sin \theta + X} \quad (\text{II.16})$$

➤ Pour une polarisation verticale :

$$X = \frac{\sqrt{\varepsilon_g - \cos^2 \theta}}{\varepsilon_g} \quad (\text{II.17})$$

➤ Pour une polarisation horizontale :

$$X = \sqrt{\varepsilon_g - \cos^2 \theta} \quad (\text{II.18})$$

➤ Constante diélectrique du sol :

$$\varepsilon_g = \varepsilon_r - j \frac{\sigma}{\varepsilon_0 2\pi f} \quad (\text{II.19})$$

Avec :

ε_r : Constante diélectrique du sol (entre 3 et 25 suivant l'humidité du sol)

$\varepsilon_0 = 8.85 \text{ e-12}$

σ : Conductivité du sol (entre 0.0001 et 0.005 S/m suivant l'humidité du sol)

La contribution des ondes de surface dépend de la fréquence, des paramètres électriques du sol, de la polarisation et de l'angle d'incidence.

$$A = \frac{-1}{1 + j\beta d(X + \sin\theta)^2} \quad (\text{II.20})$$

Approximation d'un rayon rasant :

θ petit et $d \approx D$

$\Gamma \approx -1$

$A \approx -1/(j\beta dX)^2$

$$L_P \approx \left| \frac{H_1 H_2}{H^2} + \frac{1}{d^2} \right|^2 \quad (\text{II.21})$$

II.7. Les zones de rayonnement d'une antenne:

II.7.1. La zone de Rayleigh :

La Zone de Rayleigh ou zone de champ proche, où la densité surfacique de puissance est à peu près constante mais difficilement calculable : [19]

$$d < \frac{D^2}{2\lambda} \quad (\text{II.22})$$

II.7.2. La zone de Fresnel :

L'ellipsoïde de Fresnel est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (bâtiment, arbre...) à la propagation d'une onde radio. Il est calculé à partir de la diffraction de l'onde par un émetteur pour les longueurs d'onde VHF, UHF ou hyperfréquences. Cette méthode permet d'évaluer le rayon à l'intérieur duquel se produit l'atténuation le long du trajet de l'onde et de calculer les pertes.

$$r = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \lambda} \quad [m] \quad (\text{II.23})$$

Où toutes les dimensions sont exprimées en mètres.

La grandeur r correspond à la valeur strictement minimale pour laquelle l'espace entourant le rayon direct joignant les deux antennes est dégagé de tout obstacle. [19]

Remarque : r est maximum pour $d_1 = d_2$

II.7.2.1. Méthode Deygout pour la diffraction à plusieurs obstacles :

L'effet de diffraction est utilisé dans l'ordre de quantifier l'atténuation due à une obstruction du chemin direct entre Tx et Rx par 2 obstacles. Un obstacle primaire obtenu par le ratio de dégagement maximum v_1 par rapport à la ligne de visibilité entre Tx et Rx., et si cet obstacle primaire existe ($v_1 > 0$), un obstacle secondaire obtenu par le ratio de dégagement maximum v_2 par rapport à la ligne de visibilité entre Tx et l'obstacle primaire et entre ce dernier et Rx.,

Selon la théorie du Fresnel, l'atténuation due à un obstacle tranchant situé dans le trajet du signal sera calculée en utilisant les intégrales du Fresnel.

Une approximation de la perte due à la diffraction s'exprime de la façon suivante :

$$L_d = 6,6 + 20 \cdot \log \left| (v - 0,1) + \sqrt{1 + (v - 0,1)^2} \right| \quad (\text{II.24})$$

Où :

$$v = \sqrt{\frac{h}{r}} \quad (\text{II.25})$$

Le rapport h/r , rapport du « dégagement » ou clearance en anglais, correspond à la hauteur algébrique de l'obstacle en dessus de la ligne de visée, divisée par le rayon de l'ellipsoïde de Fresnel situé à une distance d de Tx.

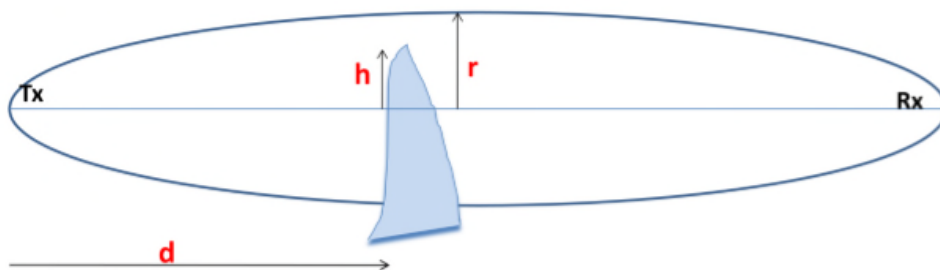


Figure II.7 : zone de fresnel avec obstacle

Plusieurs méthodes permettent de calculer la valeur de L_d suivant qu'on a un obstacle ou plusieurs imposés par le profil du trajet. Par exemple, Deygout a proposé en 1966 cette méthode de calcul qui prend en considération deux obstacles : un premier obstacle obtenu à partir du rapport v_1 maximal et un second obstacle correspondant à v_2 . Dans ce cas, l'atténuation sur le trajet donnée par cette méthode vaut : [25]

$$L'_d = L_d(v_1) + L_d(v_2) \quad (\text{II.26})$$

II.7.2.2. Méthode de Bullington :

Si la ligne de visée est bloquée par un unique obstacle, d'une hauteur h_m , on définit le paramètre de diffraction v comme suit :

$$v = h_m \left(\sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_T} + \frac{1}{d_R} \right)} \right) \quad (\text{II.27})$$

où d_T et d_R sont les distances respectives de Tx et Rx à l'obstacle (figure II.7).

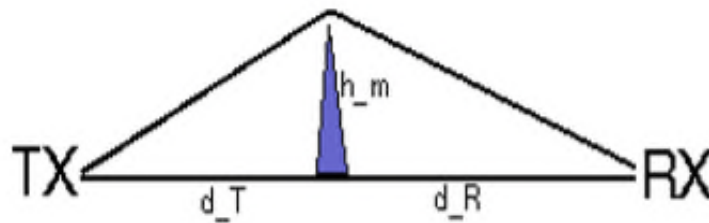


Figure II.8:profile d'un trajet avec un obstacle

La perte en espace libre s'exprime : [25]

$$A_D = 0 \text{ si } v < 0 \quad (\text{II.28})$$

$$A_D = 6 + 9v + 1,27v^2 \quad (\text{II.29})$$

$$A_D = 13 + 20\log(v) \text{ si } v > 2,4 \quad (\text{II.30})$$

II.7.3. La zone de Fraunhofer :

La zone de Fraunhofer ou zone de champ lointain, elle est définie par les distances d telles que : $d > \frac{2D^2}{\lambda}$

Où D : est la dimension la plus grande d'une antenne.

λ : est la longueur d'onde.

Dans cette région l'onde devient approximativement plane et le gain de l'antenne devient dépendant uniquement des angles et ne varie pas en fonction de la distance. [19]

II.8. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté le formalisme de calcul du bilan de liaison, ainsi que les différentes atténuations qui peuvent intervenir au cours d'une liaison radiofréquence.

Ce calcul nous a permis de déterminer la puissance reçue par le récepteur, et de dire si le niveau de puissance reçue par le récepteur sera suffisant pour que la liaison fonctionne correctement.

CHAPITRE III :

Application

III.1. Introduction :

Après avoir finalisé la partie théorique, nous passons dans ce chapitre à l'implémentation de notre application.

Nous commençons tout d'abord par la définition de notre environnement logiciel. Nous enchaînons par la présentation du travail réalisé, et nous terminons par une partie tests et comparaisons de nos résultats.

III.2. Les étapes pour crée une interface :

III.2.1. L'organigramme :

L'interface réalisée est basée sur l'organigramme donné par la figure III.1

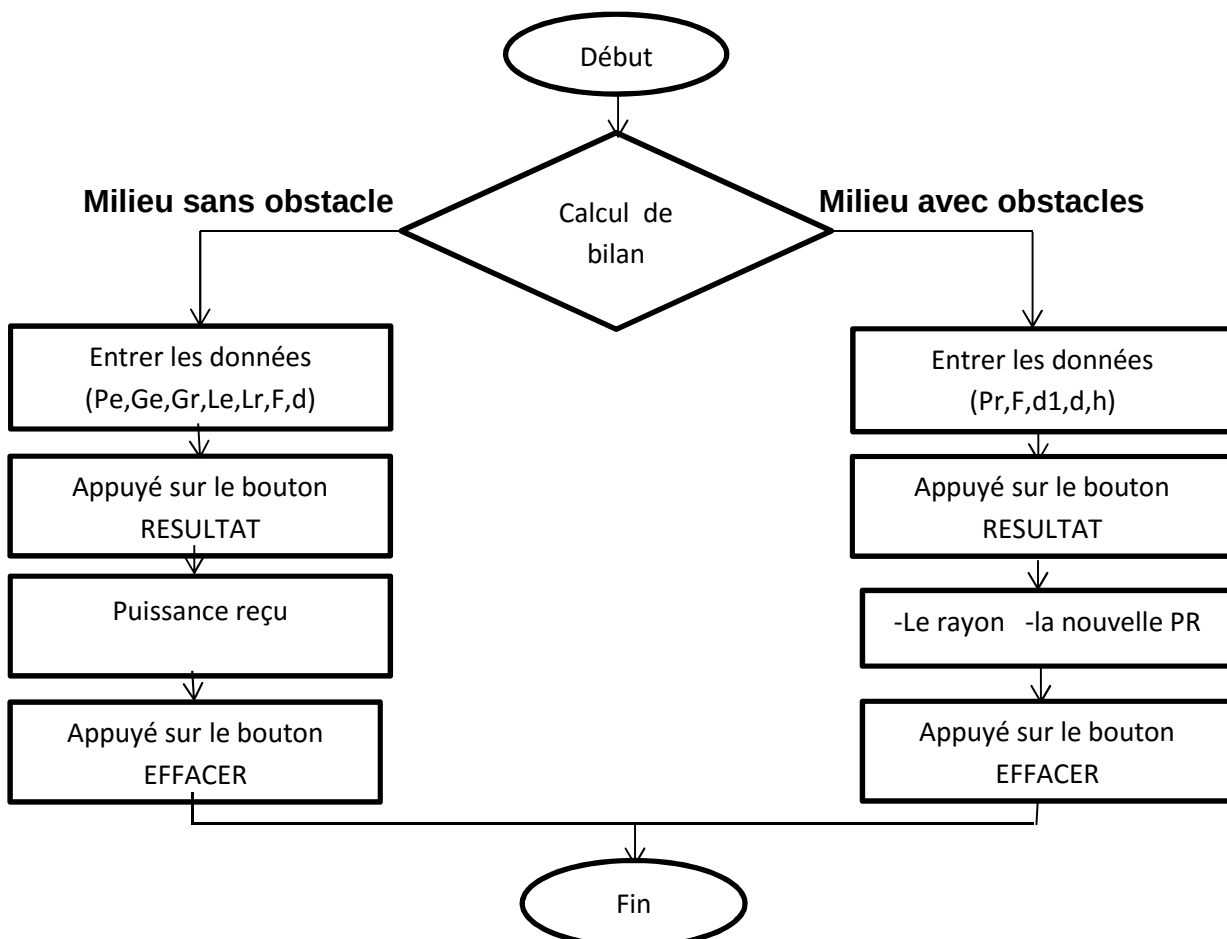


Figure III-1 : organigramme

III.2.2. Présentation de l'interface :

Nous avons utilisé comme outil de programmation le simulateur Matlab, il permet de réaliser des interfaces graphiques (GUI : Graphical User Interface) en disposant à l'aide de la souris des éléments graphiques (boutons, images, champs de texte, menu déroulants,...). En effet, il aide l'opérateur à calculer le bilan de liaison dans un milieu avec et sans obstacles.

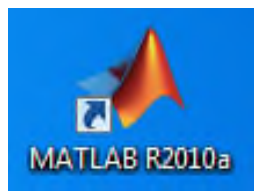


Figure III-2 : logo de Matlab

Après avoir lancé l'application, une boîte de dialogue va apparaître à l'écran (figure III-3) pour choisir entre un milieu sans obstacle ou un milieu avec obstacles.

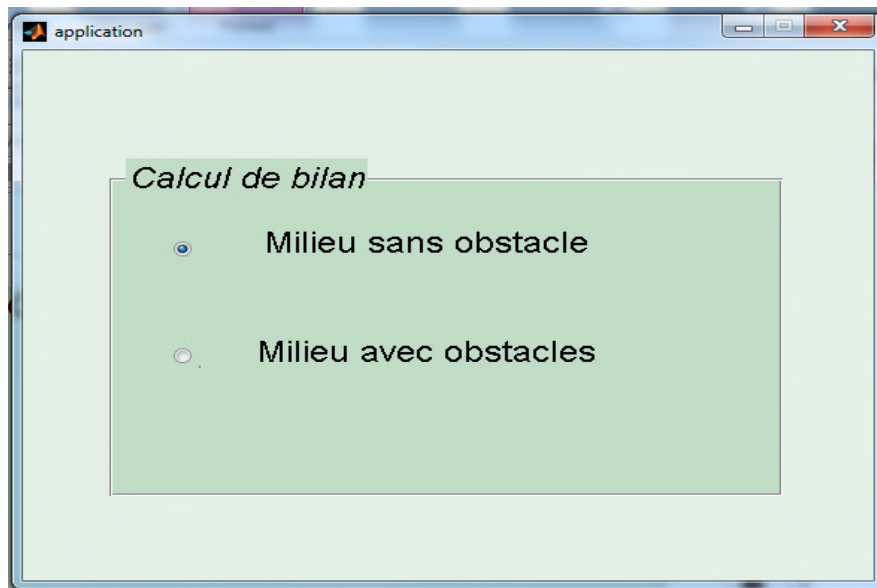


Figure III-3 : boite de dialogue

- 1^{er} choix « Milieu sans obstacle » : on obtient une nouvelle interface graphique Figure III-4 qui permet de calculer la puissance reçue.

En utilisant les équations (II.11) et (II.10) pour le calcul de la puissance reçue, on est amené alors à saisir les paramètres de l'équation de Friis à savoir :

- Au niveau de l'émetteur : la puissance d'émission, le gain de l'antenne émettrice.
- Au niveau du récepteur : sa sensibilité, le gain de l'antenne réceptrice.
- Les pertes de Feeder.
- La distance entre l'émetteur et le récepteur.
- La fréquence

The image shows a software window titled "bilan" with a light green background. At the top, there is a header "Milieu sans obstacle". Below this, there are six input fields arranged in two columns. The left column contains "Puissance d'émission" (unit dBm), "Gain d'émission" (unit dBi), and "Pertes de Feeder" (unit dB). The right column contains "Gain de récepteur" (unit dBi), "Distance" (unit m), and "Fréquence" (unit MHz). Below these fields is a section labeled "Résultat" which contains a single input field for "Puissance reçue" (unit dBm). At the bottom of the window, there are two buttons: "Calculer" and "Effacer".

Figure III-4 : interface d'un milieu sans obstacle

- 2^{ème} choix « Milieu avec obstacle » : on obtient une nouvelle interface graphique.

Nous représentons dans la figure III-5 l'interface graphique pour calculer la valeur du rayon de la zone de Fresnel à partir de l'équation (II.23) et la nouvelle puissance

reçue qui égal à la différence entre valeur de la puissance reçue obtenu dans le cas sans obstacle (l'équation de Friis) et les pertes d'obstacle, pour cela on a choisis la méthode de **Deygout** pour la diffraction à plusieurs obstacles vu que les estimations faites par cette méthode sont plus précises que celles de **Bullington** que nous avons présenté dans le chapitre II.

The screenshot shows a software window titled "zone" with a light green background. At the top, a label "Milieu avec obstacles" is centered. Below it, there are five input fields, each with a teal label and a unit: "Fréquence" (MHz), "Puissance reçu" (dBm), "Distance" (m), "Distance d1" (m), and "Hauteur obstacle" (m). In the center, a diagram illustrates signal propagation over a cityscape with buildings and trees. A curved line represents the Fresnel zone, with labels d for the total distance and r for the radius. Below the diagram, a "Résultat" box contains two output fields: "Rayon de la zone de Fresnel" (m) and "Nouvelle puissance reçu" (dBm). At the bottom, there are two buttons: "Calculer" and "Effacer".

Figure III-5 : interface d'un milieu avec obstacles

III.3. Exemples d'application :

On désire installer une liaison 4×2 Mbit/s sur une distance de 15 km dans la région de Nice [27]. On suppose que l'on utilise la même antenne en émission et en réception. On a :

Données	fréquence minimale (Mhz)	fréquence maximale (Mhz)	distance (m)	Puissance d'émission (dBm)	Atténuation d'émetteur (dB)	Atténuation du récepteur (dB)
Valeurs	8028	8497	15000	21	1	1

Tableau III-1 : Présentation des données

➤ **Calcul de puissance reçu (cas sans obstacle) :**

Puisque on a utilisé la même antenne alors le gain d'émission est égal au gain de réception, on varie cette valeur et on note les résultats dans le tableau III-2.

On utilise pour résoudre cet exercice notre interface graphique (figure III-4) :

On remplit les cases et on a appuyé sur RESULTAT :

Figure III-6 : exemple d'application pour 1^{er} choix

Pour vider les cases pour une nouvelle opération on appuie sur EFFACER, on varie la valeur du gain et on note les résultats dans le tableau suivant :

Gain (dBm)	Puissance reçue (Résultat Annexe B)	Puissance reçue (Nos résultats)
28	-59	-59.0445
31.2	-52.6	-52.6445
33.3	-48.4	-48.4445
36	-43	-43.0445
40	-35	-35.0445

Tableau III-2 : Comparaison des résultats de puissance reçue

➤ Calcul de rayon et de la puissance (cas avec obstacle)

Milieu avec obstacles

Fréquence: 8028 MHz

Puissance reçu: -59.0445 dBm

Distance: 15000 m

Distance d1: 3000 m

Hauteur obstacle: 5 m

Résultat:

Rayon de la zone de Fresnel: 9.47027 m

Nouvelle puissance reçu: -71.0823 dBm

Calculer Effacer

Figure III-7 : exemple d'application pour 2^{ème} choix

On note les résultats dans le tableau III-3 :

Distance(m)	Rayon(m) (Résultat Annexe B)	Rayon(m) (Notre résultat)
15000	9.47	9.47027

Tableau III-3 : Comparaison des résultats du rayon

Remarque :

D'après les tableaux (Tableau III-2 et Tableau III-3) on remarque que nous avons obtenu les mêmes valeurs que celle de l'exemple de la littérature [27].

➤ Calcul de la nouvelle puissance reçu (cas avec obstacles) :

Dans l'interface graphique du milieu avec obstacles figure III-7, on a calculé la nouvelle valeur de puissance reçu en présence de l'obstacle. Pour chaque cas de

l'exemple dans un milieu sans obstacle. Les résultats de simulation sont illustrés dans le tableau III-4.

Puissance reçu (dBm)	
Milieu sans obstacle	Milieu avec obstacle
-59.0445	-71.0823
-52.6445	-64.6823
-48.4445	-60.4823
-43.0445	-55.0823
-35.0445	-47.0823

Tableau III-4 : Comparaison des valeurs de puissance reçu

Remarque :

On constate une nette diminution de la puissance reçu dans chaque cas étudié, ce qui montre l'effet de l'obstacle sur la puissance reçu,

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons calculé le bilan de liaison. Autrement dit, nous avons calculé la puissance reçu dans un milieu avec et sans obstacles, et nous avons déterminé la valeur du rayon de la zone de Fresnel. À l'aide du l'outil Matlab on a pu déterminer l'effet des atténuations sur la puissance reçu.

Conclusion général

Au cours de ce projet de fin d'étude, nous avons développé outil de calcul de bilan de liaison dans un environnement avec et sans obstacles.

L'étude des différentes atténuations nous a permis d'introduire un formalisme rigoureux du bilan de liaison permettant un calcul efficace de la puissance reçue par le récepteur. Ces pertes sont dépendantes de la fréquence, de la taille et de la géométrie des obstacles et de la nature des matériaux. Les résultats obtenus ont été comparés et validés avec la littérature.

L'interface graphique réalisé au cours de ce projet de fin d'étude peut être encore améliorée en introduisant d'autres types d'atténuations et peut être étendu à d'autres applications de liaison radio.

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'enrichir notre connaissance dans le domaine des systèmes de télécommunication.

Bibliographie

- 1 : Alexandre Boyer, antennes & outils et modeles pour la transmission, Octobre 2014
- 2 : Leon Beya Kalamba, inter connexion entre 2 réseaux cellulaires des normes GSM par faisceau hertziens
- 3 :Danielle Andre, rapport enquête faisceau hertzien, 2011
- 4 :Anael Nlandu, Etude d'un réseau de transmission d'information par faisceau hertzien entre deux ports de la province du bas- Congo. Cas de port de Matadi et Boma en RDC, 2012
- 5 : Parent Category, Informatique et réseaux les faisceaux hertziens
- 6 : L.Reynier, Liaisons hertziennes
- 7 :John S. Seybold, Ph.D., INTRODUCTION TORF PROPAGATION, 2005
- 8 : larbi DOUBAJI, faisceau hertzien
- 9 : Bivodgoss, cours de FH, 7 avril 2011
- 10 : Louis REYNIER - TS SE, Bilan de liaison – Application SFH 53
- 11 : Abdramane Ouangraoua, Réseau de Transmission par faisceau Hertzien pour un réseau CDMA,2008
- 12 : BELLIL Moulay Idriss, Développement d'un outil de calcul du bilan de liaison pour système de transmission par Faisceau Hertzien, juin 2015
- 13 : Electronique radioamateur , antenne yagi, copyrigh 1995-2014
- 14 : https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne_cornet
- 15 : Thierry monediere et Monsieur Marc thevenot, Caractérisation des performances d'antennes à réflecteurs paraboliques illuminées par une source focale BIE
- 16 : COURS 5 et 6-2 .pdf sur les antennes
- 17 : Frédérique Le Louër , Optimisation de forme d'antennes lentilles intégrées aux ondes millimétriques, 2009
- 18 : http://www.traitement-signal.com/bilan_de_liaison.php
- 19 : J. M. MATHIEU, Le bilan de liaison et la qualité du signal radioélectrique reçu

20 : Cours faisceau hertzien master 2

21 : Sahli Omar et Zemam Youssef, Etude de la liaison BTS/BSC du réseau GSM, mai 2013

22 : Guillaume vill emaud, cours de propagation et ligne

23 : Alexandre Boyer, BE Dimensionnement d'interface radio pour réseau cellulaire

24 : http://www.emetteurs.ch/wiki/index.php/Mod%C3%A8les_de_propagation_des_ondes

25 : Bouezzedine Montaha, planification d'un réseau cellulaire UMTS

26 : Jérôme Briot , introduction à la programmation de l'interface graphique sous matlab, 1 juin 2007

27 : Nizar, correction TD généralité sur la télécommunication, 23 septembre 2013

Annexe A : Le simulateur Matlab [26]

A.1. L'outil guide :

Depuis la version 5.0 (1997), MATLAB possède un outil dédié à la création des interfaces graphiques appelé GUIDE (pour Graphical User Interface Development Environment).

A.2. Présentation :

Le GUIDE est un constructeur d'interface graphique qui regroupe tous les outils dont le programmeur a besoin pour créer une interface graphique de façon intuitive.

Il s'ouvre, soit en cliquant sur l'icône , soit en tapant guide dans le Command Window de MATLAB.

Le placement des objets est réalisé par sélection dans une boîte à outils. Leur mise en place et leur dimensionnement se font à l'aide de la souris.

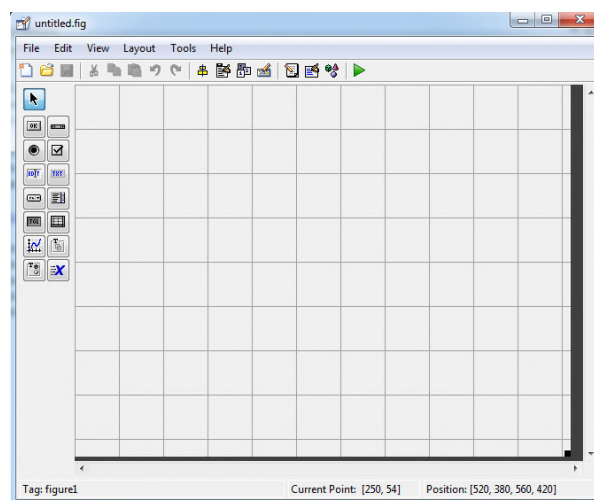


Figure A-1 : L'interface graphique

Un double-clic sur un objet permet de faire apparaître le Property Inspector où les propriétés des objets sont facilement éditables. Leurs modifications et la visualisation de ces modifications sont immédiates.

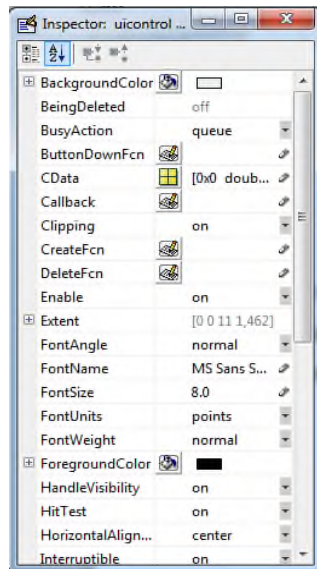


Figure A-1 : Les propriétés des objets

Le GUIDE possède également des outils pour gérer l'alignement des objets et pour créer des barres d'outils ou des menus.

Une fois l'interface graphique terminée, son enregistrement donne deux fichiers portant le même nom mais dont les deux extensions sont .fig et .m.

Le fichier .fig contient la définition des objets graphiques (positions et propriétés). Ce fichier peut être ouvert ultérieurement avec le GUIDE pour modifier les objets graphiques.

Le fichier .m contient les lignes de code qui assurent le fonctionnement de l'interface graphique (actions des objets). Ce fichier peut être édité dans le MATLAB Editor pour y ajouter des actions à la main. C'est ce fichier qui doit être lancé pour utiliser l'interface graphique.

Annexe B : Bilan de liaison [27]

B.1. L'ellipsoïde de Fresnel :

L'ellipsoïde de Fresnel est l'espace défini par la relation :

$$r = \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{d_1 + d_2} * \lambda} \quad [m]$$

Où toutes les dimensions sont exprimées en mètres. La grandeur r correspond à la valeur strictement minimale pour laquelle l'espace entourant le rayon direct joignant les deux antennes est dégagé de tout obstacle.

Remarque : r est maximum pour $d_1=d_2$.

- Calculez la longueur d'onde correspondant à la fréquence d'émission minimale et maximale. Quelle valeur retiendrons nous pour effectuer les calculs numériques sur l'ellipsoïde de Fresnel ? Pourquoi ?

$\lambda = c/f$ avec c : vitesse de la lumière = $3*10^8$ m/s

et f : fréquence d'émission.

Pour la fréquence minimale $\lambda = 3.10^8 / 8028.10^6 = 37,36$ mm

Pour la fréquence maximale $\lambda = 3.10^8 / 8497.10^6 = 35,30$ mm

Nous devons calculer la valeur maximale de r , afin d'être sûr que la liaison fonctionne dans tous les cas. Il faut donc effectuer les calculs avec la valeur maximale de λ , soit $\lambda_{max} = 37,36$ mm.

- A 3km de l'extrémité 1, un arbre est situé à 5m du rayon direct :
Effectuons le calcul de d pour $d_1=3$ km et $d_2= d-d_1= 12$ km.
Le calcul donne $r = 9,470$ m.

B.2. Puissance reçu :

On désire installer une liaison 4×2 Mbit/s sur une distance de 15 km dans la région de Nice. On suppose que l'on utilise la même antenne en émission et en réception (ce n'est pas une contrainte du produit, mais une simplification des calculs).

$$PR \text{ (dBm)} = PE \text{ (dBm)} - LE \text{ (dB)} + GE \text{ (dBi)} - AEL \text{ (dB)} + GR \text{ (dBi)} - LR \text{ (dB)}$$

L'atténuation sera maximale (pire cas), lorsque λ est minimale. On prendra donc le canal correspondant à la fréquence la plus haute ($f = 8497.10^6$) soit $\lambda = 35,30$ mm.

Le calcul donne $AEL = 134,5$ dB

Pour chaque jeu d'antenne, déterminez la puissance reçue, la marge brute (le nombre de dB au-dessus du seuil de sensibilité à 10^{-3}) et la marge sur la liaison exprimée en dB par km. Vous synthétiserez tous les résultats dans un tableau.

La puissance reçue est égale à $PR = PE - LE + GE - AEL + GR - LR$

Avec $PE = 21$ dBm, $(LE + LR) = 1,50$ dB (pertes feeder), $GE = GR = G$ est fonction du diamètre de l'antenne, $AEL = 134,5$ dB. $PR = 21 - 1,50 + 2.G - 134,5 = -115 + 2.G$

Gain d'antenne (dBi)	28	31.2	33.3	36	40
Puissance reçu (dBm)	-59	-52.6	-48.4	-43	-35

Tableau B-1 : Résultat de calcul