



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO



-----  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
-----

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention

Du diplôme de Licence

*Département:* Télécommunication

*Parcours:* Télécommunication et Multimédia

*Par :* **RAZAFINDRAKOTO Tahiana Claude**

**« SIMULATION D'OPTIMISATION DE PARAMETRE  
FH DE TELMA SELON : MENTUM ELLIPSE »**

Soutenu le 31 Mars 2017 à 14h30 devant la commission d'Examen composée de :

Président :

M. RAKOTONDRAINA Tahina Ezéchiel

Examinateurs :

M. BOTO ANDRIANANDRASANA Jean Espérant

M. RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste

M. RAVONIMANANTSOA Ndaohialy Danà

Directeur de mémoire :

M. RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre

Encadreur Professionnel :

M.RAKOTONDRAASOA Ny Ando

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu pour tous les bienfaits qu'il m'a accordé dans ma vie et durant mes années d'étude. Je le remercie profondément pour la santé, l'intelligence, la sagesse qu'il m'a offert, qu'il m'offre et qu'il m'offrira encore.

Je remercie, Monsieur ANDRIANAHAISON YVON Dieudonné, Professeur Titulaire, responsable de domaine de la science de l'ingénieur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo pour m'avoir accueilli au sein de l'établissement pour parfaire mes études.

J'offre ma gratitude à Monsieur RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre, Assistant d'Enseignement et de Recherche, pour m'avoir consacré du temps, de l'effort, de l'attention afin de parfaire la réalisation de mon travail.

Je tiens à remercier Monsieur RAKOTOMALALA Mamy Alain, Maître de Conférences, responsable de la mention Télécommunication au sein de l'ESPA qui a veillé sur le bon déroulement de mes études.

J'offre mes reconnaissances à Monsieur RAJAONARIVONY Fidy, Chef de service de l'Ingénierie de Transmission de TELMA, à Monsieur RAKOTONDRAZOA Ny Ando, Ingénieur Transmission, qui m'a encadré durant mon stage au sein de la Direction Technique Groupe service d'Ingénierie de Transmission de TELMA, ainsi que toute l'équipe de l'ingénierie de Transmission et toute l'équipe du Groupe TELMA pour leur chaleureux accueil et encadrement.

Je remercie aussi M. RAKOTONDRAINA Tahina Ezéchiel, Maître de Conférences, pour avoir accepté de présider la soutenance de mon travail malgré ses nombreuses responsabilités.

Je sanctionne aussi les personnes suivantes de ma profonde gratitude pour avoir accepté d'évaluer mon travail :

- M. BOTO ANDRIANANDRASANA Jean Espérant, Assistant d'Enseignement et de Recherche
- M. RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste, Maître de Conférences
- M. RAVONIMANANTSOA Ndaohialy Danà, Assistant d'Enseignement et de Recherche

Surtout, je remercie toute la famille pour leur soutien inconditionnel et sans faille durant mes années études et aussi pendant l'élaboration de ce travail. Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>i</b>
<b>NOTATIONS .....</b>	<b>vi</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 PRESENTATION GENERALE DE LA TRANSMISSION HERTZIENNE.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Présentation du groupe TELMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Rôle du faisceau hertzien dans un réseau GSM .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Principe d'une liaison hertzienne.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Facteurs influençant la propagation.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.1 Rayonnement en espace libre.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.2 Variations aléatoires des conditions climatologiques .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.2.1 Phénomènes de guidage .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.2.2 Atténuations dues aux hydrométéores.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.2.3 Réflexion, trajets multiple .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Bilan de liaison.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.1 PIRE/EIRP .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.2 Expression de la puissance reçue .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.3 Pertes en espace libre .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.4 Pertes globales (total des pertes) .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.5 Seuil de réception .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.6 Sensibilité d'un récepteur .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.6.1 Définition .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.6.2 Signification .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.7 Puissance d'émission .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.8 Pertes de branchement .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.9 Gain d'antenne.....</b>	<b>11</b>

<b>1.5.10 Condition de bon fonctionnement .....</b>	<b>12</b>
1.5.10.1 La marge au seuil .....	12
1.5.10.2 La marge sélective.....	12
<b>1.6 Dispositifs de contre mesure.....</b>	<b>12</b>
1.6.1 <i>Protection hot stand-by .....</i>	<i>13</i>
1.6.2 <i>Diversité d'espace .....</i>	<i>13</i>
1.6.3 <i>Diversité de fréquence .....</i>	<i>13</i>
1.6.4 <i>Diversité mixtes et hybrides.....</i>	<i>13</i>
<b>1.7 Conclusion.....</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE 2 PRESENTATION DES LOGICIELS ET ETUDES DESPARAMETRES A OPTIMISER.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Le logiciel : « Mentum Ellipse ».....</b>	<b>15</b>
2.1.1 <i>Présentation.....</i>	<i>15</i>
2.1.2 <i>Analyse des paramètres nécessaires pour l'optimisation.....</i>	<i>16</i>
2.1.2.1 Modèles de propagation .....	16
2.1.2.2 Modèle de trajet multiple .....	20
2.1.2.3 Méthodes de calcul de pertes dues aux gaz.....	24
2.1.2.4 Méthodes de calcul des pertes dues aux diffractions .....	25
2.1.3 <i>La signification des autres paramètres.....</i>	<i>31</i>
2.1.3.1 Le Radius factor K .....	31
2.1.3.2 Le paramètre de réfractivité dN .....	32
2.1.3.3 La fréquence utilisée .....	32
2.1.3.4 La polarisation.....	32
2.1.3.5 La méthode de masquage de l'antenne .....	33
2.1.3.6 Les paramètres atmosphériques .....	34
2.1.3.7 Paramètre de réflexion .....	35
2.1.4 <i>Calcul de la marge.....</i>	<i>35</i>

<b>2.2</b>	<b>Le logiciel de calcul standard de budget de lien : « Link budget calculator».....</b>	<b>36</b>
2.2.1	<i>Présentation.....</i>	36
2.2.2	<i>Analyse des paramètres nécessaires pour l'optimisation.....</i>	36
2.2.2.1	La signification des valeurs en décibel .....	36
2.2.2.2	Budget de Lien .....	37
2.2.2.3	Lien de traçage .....	40
2.2.2.4	Multi-trajet de Terre .....	40
2.2.2.5	Pertes dues aux câbles .....	41
<b>2.3</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>41</b>
<b>CHAPITRE 3</b>	<b>SIMULATIONS ET EVALUATION DE DISPONIBILITE DE LA LIAISON F.H.....</b>	<b>42</b>
3.1	<b>Simulation suivant Mémentum Ellipse.....</b>	42
3.1.2	<i>Analyse des configurations initiales du réseau FH de Telma .....</i>	44
3.1.2.1	Modèle de propagation.....	44
3.1.2.2	Modèle de multi-trajet ou fading.....	46
3.1.2.3	Résultats de disponibilité .....	47
3.1.3	<i>Configurations apportées d'optimisation et évaluation des résultats de disponibilité.....</i>	50
3.1.3.1	Pour une région Urbaine .....	51
3.1.3.2	Pour une région Suburbaine .....	54
3.1.3.3	Sur une région rurale et pour les liaisons traversant les Lacs et les mers .....	58
3.2	<b>Simulation suivant « Link budget Calculator ».....</b>	<b>62</b>
3.2.1	<i>Panneau de « Budget de lien » .....</i>	62
3.2.2	<i>Lien de traçage .....</i>	64
3.2.3	<i>Multi-trajet de Terre .....</i>	64
3.2.4	<i>Synthèse de simulation avec « Link budget Calculator ».....</i>	65
3.2.5	<i>Conclusion.....</i>	65
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>67</b>	

<b>ANNEXE 1</b>	<b>MATERIELS UTILISES DANS LA TRANSMISSION F.H.....</b>	<b>68</b>
<b>ANNEXE 3</b>	<b>LISTES DE VALEURS DE PERTE PAR LES DIFFERENTES NATURES DES OBSTACLES .....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE 4 : LES UNITES DECIBELS .....</b>	<b>78</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>79</b>	
<b>FICHE DE RENSEIGNEMENT .....</b>	<b>81</b>	

## NOTATIONS

### 1. Minuscules latines

<b>a</b>	Amplitude normale de rebondissement
<b>aH</b>	Angle de diagramme Horizontal
<b>aT</b>	Angle total des diagrammes
<b>aV</b>	Angle de diagramme Vertical
<b>atan</b>	Fonction arc-tangente.
<b>b,c</b>	Valeurs prédefinie qui prennent en compte l'effet régional.
<b>dB</b>	Décibel
<b>dBi</b>	Décibel isotrope
<b>dBd</b>	Décibel dipôles
<b>dBm</b>	Décibel milliwatts
<b>dBW</b>	Décibel Watt
<b>di</b>	Distance selon la valeur de i.
<b>dlt</b>	Distance entre l'antenne d'émission et leur antenne respective horizons [km].
<b>dlr</b>	Distance entre l'antenne de réception et leur antenne respective horizons [km].
<b>dct</b>	Distance entre la première station terminale (source d'interférence) et la côte.
<b>dcr</b>	Distance correspondante pour la deuxième station.
<b>dbp</b>	Distance de point de rupture en km.
<b>dN1</b>	Gradient/ pente de réfractivité
<b>f</b>	La Fréquence utilisée
<b>h</b>	Hauteur d'antenne
<b>hsı</b>	Hauteur d'une surface ajustée par la méthode des moindres carrés.
<b>hst</b>	Hauteur de la surface du plan Terre depuis le début du chemin.
<b>hts</b>	Hauteur du centre d'antenne de transmission au-dessus du niveau moyen de la mer
	Hauteur du centre d'antenne de réception au-dessus du niveau moyen de la mer
<b>hrs</b>	[m]
<b>hte</b>	Antenne de transmission à hauteur équivalente au-dessus du sol [m]
<b>hre</b>	Antenne de réception à hauteur équivalente au-dessus du sol [m]
<b>heff</b>	Hauteur effective d'antenne
<b>hm</b>	Hauteur moyenne d'antenne
<b>hr</b>	Altitudes d'antenne de réception.
<b>he</b>	Altitudes de transmission.

<b>hL</b>	Altitude minimal entre hr et he.
<b>htx</b>	Hauteur d'antenne de transmission.
<b>hrx</b>	Hauteur d'antenne de réception.
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>m</b>	L'unité mètre
<b>m</b>	Pente de la surface ajustée par la méthode des moindres carrés.
<b>mm</b>	Millimètre
<b>P</b>	Concentration en vapeur d'eau
<b>pCC</b>	pertes dues aux connecteurs et câbles
<b>p<sub>w</sub></b>	Probabilité d'indisponibilité.
<b>Sqrt</b>	Fonction racine carrée
<b>Sqr</b>	Fonction carrée
<b>t</b>	Température ambiante
<b>v</b>	Paramètre de diffraction de Fresnel-Kirchhoff.
<b>w</b>	Dureté du terrain.
<b>wH</b>	Facteur horizontale de pondération.
<b>wV</b>	Facteur vertical de pondération.

## 2. Majuscules latines

<b>A</b>	Effecte de disparition de la marge dans les modèles de trajet multiple.
<b>A<sub>1</sub></b>	Perte de connexion du site 1
<b>A<sub>2</sub></b>	Perte de connexion du site 2
<b>A free space</b>	Perte en espace libre
<b>A<sub>f</sub></b>	Perte due aux diffractions.
<b>A (st)</b>	Perte de diffraction due au criblage du terrain pour la station émettrice.
<b>A (sr)</b>	Perte de diffraction due au criblage du terrain pour la station émettrice.
<b>A (ct)</b>	Perte de corrections à l'émetteur
<b>A (cr)</b>	Perte de corrections au récepteur
<b>A (pt)</b>	Perte de trajet
<b>A (el)</b>	Perte d'espace libre
<b>A (dif)</b>	Perte de diffraction

<b>A<sub>(g)</sub></b>	Perte due aux gaz.
<b>A<sub>1</sub></b>	Perte dans le trajet du premier obstacle
<b>A<sub>2</sub></b>	Perte dans le trajet du second obstacle.
<b>A<sub>3</sub></b>	Perte dans le trajet du troisième obstacle
<b>A<sub>h</sub></b>	Total de perte dans le trajet horizontale.
<b>BWRX</b>	Largeur de bande du récepteur
<b>C</b>	Facteur de distance.
<b>C&amp;C<sub>loss</sub></b>	Perte de connecteur et de câbles
<b>C</b>	C (5, i)
<b>D</b>	Longueur totale
<b>D<sub>pen</sub></b>	Distance de pénétration
<b>FSLP</b>	Perte en espace libre
<b>G<sub>t</sub></b>	Gain d'antenne de transmission
<b>G<sub>1</sub></b>	Gain du site 1
<b>G<sub>2</sub></b>	Gain du site 2
<b>G<sub>max</sub></b>	Gain maximal de l'antenne
<b>G<sub>H</sub></b>	Section croisée horizontale du diagramme de l'antenne.
<b>G<sub>V</sub></b>	Section croisée horizontal du diagramme de l'antenne.
<b>G</b>	Somme de Gmax et le GH.
<b>G<sub>R</sub></b>	Gain de l'antenne de réception
<b>G<sub>antennA</sub></b>	Gain de l'antenne A
<b>I</b>	Total de niveau d'interférence au récepteur
<b>J<sub>(vp)</sub></b>	Valeur de perte bord principal
<b>J<sub>(vtp)</sub></b>	Valeur de perte limite entre émetteur et principal.
<b>J<sub>(vpr)</sub></b>	Valeur de perte limite entre le principal et le récepteur
<b>K</b>	Facteur de rayon apparente
<b>K.Q</b>	Facteur géo-climatique prédefini.
<b>KQ<sub>funct</sub></b>	Fonction de facteur géo-climatique.
<b>KQ<sub>const</sub></b>	Facteur géo-climatique constante.

<b>IRF</b>	Protection de la radio
<b>L<sub>fs</sub></b>	Perte en espace libre
<b>L<sub>fe</sub></b>	Perte de trajet de terre plate
<b>L<sub>0</sub></b>	Facteur de perte de médiateur de canal
<b>L<sub>MP</sub></b>	Pertes de trajet multiple
<b>L<sub>obs</sub></b>	Perte due aux obstructions
<b>L<sub>GB</sub></b>	Pertes due aux rebondissements
<b>Loss<sub>1</sub></b>	Perte de la radio 1
<b>Loss<sub>A</sub></b>	Perte par la radio A
<b>L<sub>clutter</sub></b>	Perte d'encombrement
<b>L</b>	La Perte
<b>L<sub>near</sub></b>	Perte avant la distance de point de rupture.
<b>L<sub>md</sub></b>	Perte de diffraction multiple.
<b>L<sub>fs</sub></b>	Perte en espace libre
<b>L<sub>diff</sub></b>	Perte de diffraction
<b>L<sub>building</sub></b>	Perte de construction
<b>L<sub>bf</sub></b>	Perte de l'espace libre
<b>L<sub>t</sub></b>	Perte dans les conduits.
<b>M</b>	Marge de fondu
<b>N</b>	Bruit pour le seuil de récepteur
<b>K</b>	Constante de Boltzmann
<b>Pr</b>	Puissance reçue
<b>P<sub>(eirp)</sub></b>	Puissance isotrope rayonnée apparente.
<b>P<sub>t</sub></b>	Puissance de transmetteur
<b>P<sub>1</sub></b>	Puissance du site 1
<b>P<sub>2</sub></b>	Puissance du site 2
<b>P<sub>rx</sub></b>	Puissance du récepteur
<b>P<sub>tx</sub></b>	Puissance de l'émetteur
<b>P</b>	Pression

<b>P<sub>o</sub></b>	Facteur d'occurrence de multi-chemin.
<b>P<sub>f</sub></b>	Erreur de pire mois.
<b>P<sub>txA</sub></b>	Puissance de station de transmission
<b>pathLoss<sub>A1</sub></b>	Perte de trajet par la radio A jusqu'au radio 1
<b>P<sub>A</sub></b>	Puissance automatique
<b>P<sub>0</sub></b>	Puissance de l'émetteur dans maxime standard
<b>P<sub>n</sub></b>	Puissance de bruit au récepteur
<b>P<sub>RFS</sub></b>	Puissance du récepteur Rx
<b>P<sub>ChanFE</sub></b>	Puissance dans l'antenne de Rx par le trajet de terre plate
<b>P<sub>ChanFS</sub></b>	Puissance d'antenne Rx du trajet d'espace libre
<b>P<sub>RX</sub></b>	Puissance du récepteur
<b>R<sub>(sl2)</sub></b>	Seuil de récepteur
<b>R<sub>x</sub></b>	Récepteur
<b>R<sub>o</sub></b>	Rayon apparent
<b>SNRRX</b>	Rapport signal sur bruit
<b>S</b>	Piste de ski.
<b>S<sub>a</sub></b>	Dureté du terrain dans le modèle de trajet multiple.
<b>T<sub>x</sub></b>	Emetteur
<b>T<sub>(° C)</sub></b>	Boîte de dialogue paramètres du projet de température.
<b>T<sub>D</sub></b>	Seuil de dégradation.
<b>T<sub>(ant)</sub></b>	Température d'antenne
<b>T<sub>e</sub></b>	Température du bruit
<b>V</b>	Pénétration relative d'obstacle dans la zone de Fresnel

### 3. Minuscules et majuscules grecques

<b>α</b>	Angle de tilt aperçu par le récepteur
<b>β</b>	Elévation du trajet entre le transmetteur et le récepteur dans le paragraphe méthode 1

$\beta$	Paramètre utilisé pour la conversion annuelle et mensuelle pour afficher le résultat en pourcentage dans le paragraphe sur le calcul de marge
$\gamma_0$	Pertes linéiques de l'air sec
$\gamma_w$	Pertes linéiques de la vapeur d'eau
$-\Delta$	Seuil de marge.
$\Delta_d$	Différence entre la distance du trajet directe et la distance du trajet de réflexion
$\varepsilon_p$	Trajet incliné
$\theta$	Éloignement angulaire du chemin
$\Theta$	Angle horizontal entre l'azimut de l'antenne et l'azimut du récepteur dans le paragraphe méthode 1
$\theta_t, \theta_r$	Angles d'élévation de l'horizon à la transmission et à la réception (mrad)
$\lambda$	Longueur d'onde
$\pi$	Valeur par défaut 3,14
$\phi$	Tilt d'antenne du transmetteur

## ABREVIATIONS

<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>BTS</b>	Base Transmission System
<b>EstPrt</b>	Estimation de perte due à la terre plate
<b>FH</b>	Faisceau hertzien
<b>Ghz</b>	Giga Hertz
<b>GMS</b>	Ground Multipath sheet.
<b>GSM</b>	Global Système For Mobile
<b>MHz</b>	Mega Hertz
<b>Mrad</b>	Mètre radions
<b>MSC</b>	Mobile Switching Center
<b>P3M</b>	Point-to-multipoint Models.
<b>PIRE</b>	Puissance d'isotrope rayonnée équivalente
<b>RG</b>	Renseignement généraux
<b>Rt</b>	Rayon terrestre
<b>TEB</b>	Taux d'erreur Binaire.
<b>UIT-R P</b>	Union International Triathlon Recommandation Pathloss

## INTRODUCTION GENERALE

Dans le marché très dynamique des télécommunications d'aujourd'hui, les clients ont une demande forte pour d'avantage de bande passante et de services. L'intervention du faisceau hertzien pour l'interconnexion de sites distants peut répondre rapidement et efficacement à ces besoins. Les Faisceaux Hertziens peuvent être déployés là où les scénarios classiques comme la fibre optique, le câble, ne sont pas réalisables ou seraient trop coûteux à mettre en œuvre.

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux permettant l'interconnexion de sites distants utilisant les ondes radioélectriques. Ce type de liaisons radio point à point est aujourd'hui principalement numérique et 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.

La ressource hertzienne est saturée en raison des multiples applications exploitées (radiotéléphonie, télédiffusion, transmissions militaires ou de sécurité, etc.). Les bandes de fréquences représentent donc une ressource rare. 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. Dans le cas d'un réseau composé de plusieurs bonds ou de liaisons géographiquement proches, certains problèmes d'interférences peuvent apparaître, affectant la qualité des transmissions ou pouvant nuire à d'autres transmissions.

Cette sensibilité des ondes hertziennes aux différentes conditions, nous conduit dans l'analyse de la disponibilité de la liaison hertzienne dans toute la grande île. Ainsi, l'objectif de ce présent travail est d'apporter une optimisation de toutes les liaisons hertziennes à Madagascar, selon le dimensionnement du réseau de TELMA.

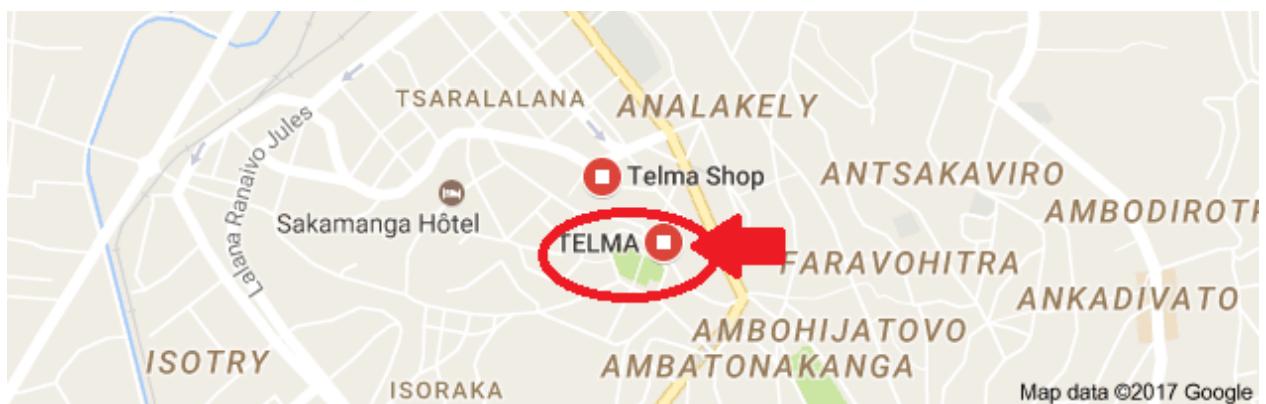
Pour cela, plongeons totalement dans la transmission hertzienne puis, l'étude des différentes modèles et méthodes de calcul de pertes pour l'optimisation et terminons par des évaluations de résultats lors des simulations.

## CHAPITRE 1 PRESENTATION GENERALE DE LA TRANSMISSION HERTZIENNE

### 1.1 Présentation du groupe TELMA

Télécom Malagasy S.A (TELMA), privatisé en 2004, est l'unique opérateur téléphonique convergeant à Madagascar à pouvoir offrir à ses abonnés : la téléphonie fixe, la téléphonie mobile, l'internet et le mobile money.

Le Groupe TELMA sise à Analakely,



**Figure 1.01** Siege de Groupe TELMA

Telma occupe aujourd’hui une place prépondérante sur le marché des télécommunications à Madagascar : celle d’opérateur de référence par son historique très riche, mais également par la grande confiance qui la lie depuis plusieurs années aux entreprises et citoyens Malgaches.

Depuis sa privatisation en 2004, TELMA a toujours su apporter sa contribution au développement du pays en le dotant des infrastructures et des outils de télécommunications nécessaires à son essor économique, sa révolution technologique et son épanouissement social. Avec plus de 1,8M de clients mobiles (30% de part de marché), plus de 70% du marché entreprises, le 1<sup>ère</sup> réseau 3G+ (HSPA) de Madagascar, ses infrastructures nationales (Backbone national et Réseau Métropolitain d’Antananarivo MAN) et internationales performantes (EASSy), ses solutions innovantes (BlackBerry, iPhone), le 1<sup>ère</sup> développement du service de Mobile Money à Madagascar : MVola, Telma reste en 2011 le 1er opérateur des télécommunications à Madagascar. Opérateur des opérateurs, TELMA met à la disposition des autres opérateurs nationaux les autoroutes de l’information de demain, le Backbone national sécurisé par plusieurs boucles nationales dans le pays, et une liaison internationale redondée via le câble sous-marin EASSy.

Ces réseaux bénéficient aussi bien sûr aux entreprises à la recherche de qualité de service et de sécurité pour leurs réseaux Data et solutions de téléphonie. En tant que précurseur des grands changements technologiques, TELMA ne cesse d'innover pour l'avenir de Madagascar. Le lancement de MVola, le 1<sup>er</sup> service de mobile money de Madagascar effectué en Avril 2010, s'inscrit dans cette logique. MVola, c'est le transfert d'argent national, mais bien plus encore, c'est aussi le paiement des factures utilitaires (eaux et électricité...) mais aussi l'assurance prévoyance avec ARO et Ny HAVANA, les 1<sup>ers</sup> assureurs de Madagascar, les paiements des cotisations salariales avec la CNAPS et le paiement facilité des factures et des commerçants, en attendant le e-commerce et depuis début 2012 c'est aussi la réception de transfert international directement sur son mobile Telma, grâce au partenariat entre MVola et Western Union.

Enfin Mvola, c'est aussi le paiement des salaires et des frais de missions adopté par de plus en plus d'entreprises, pour des raisons de sécurité et praticité évidentes. Grâce à ces projets, TELMA répond aux besoins des malgaches en termes de gestion d'argent facile, sécurisé et économique dans tout le pays. Telma est plus qu'un opérateur à Madagascar. La Fondation Telma a été créée pour contribuer au développement durable de Madagascar dans les domaines de l'aide à l'Enfance et de la Jeunesse, de l'Environnement mais aussi la Santé.

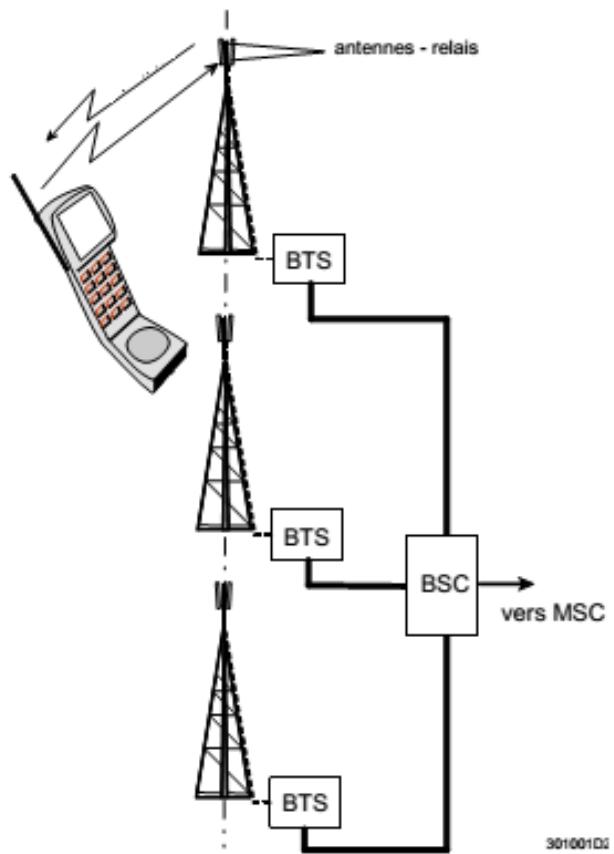
Destinés à la mise en œuvre de réseaux de télécommunications, les faisceaux hertziens numériques offrent de grandes capacités de débit et sont évolutifs en fonction des besoins de l'usager.

Un faisceau hertzien est une liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (full duplex), à ondes directives, offrant une liaison de bonne qualité et sûre permettant la transmission d'informations en mode multiplex à plus ou moins grande capacité.

Voyons ci-après l'utilité du faisceau hertzien dans la téléphonie.

## 1.2 Rôle du faisceau hertzien dans un réseau GSM

La figure ci-dessous décrit le principe de base d'un réseau de téléphonie mobile, et plus particulièrement celui d'un réseau GSM dans lequel la transmission radio entre le téléphone portable. [1]



**Figure 1.02** : Architecture au niveau des interfaces Air & Abis

Les signaux émis par le portable sont captés par l'antenne-relais et sont « traités » par les équipements électroniques de la BTS (« Base Transmission System »). Chaque antenne-relais couvre une zone dont la taille dépend de la densité de trafic; en zone urbaine, le rayon peut être de quelques centaines de mètres (et même moins pour les microcellules), en zone peu peuplée, il est de quelques kilomètres.

L'ensemble des BTS d'une certaine zone géographique sont connectées à une « Base Station Controller » qui lui-même relié à un commutateur appelé MSC (« Mobile Switching Center »), lequel est connecté au réseau téléphonique, ainsi qu'aux réseaux de téléphonie mobile des opérateurs

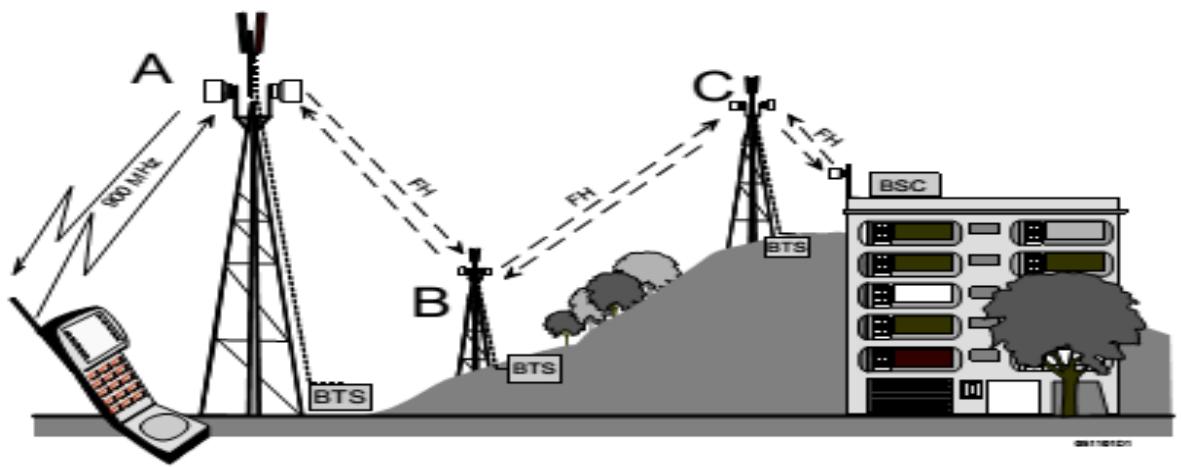
concurrents. La connexion entre la BTS et le BSC peut être réalisée différentes manières suivant le support de transmission utilisé :

- Soit par un câble, comme en fibre optique,
- Soit sans câbles, comme en VSAT/DOMSAT.
- Soit par un faisceau hertzien consistant en une transmission par onde radio dépendant de la distance et la fréquence utilisée, ainsi selon la recommandation de l'ARTEC.

Une transmission par câble représente un coût de location relativement important et nécessite la pose d'un câble, ce qui peut, dans certaines situations, impliquer un délai assez long. [1] [4]

Nous nous intéressons sur le faisceau hertzien dont le coût d'utilisation est inférieur à celui de la fibre optique et celui du VSAT/DOMSAT. Il faut toutefois signaler, qu'aux fréquences supérieures à quelques GHz, l'atténuation des obstacles est très importante (même le feuillage d'un arbre est suffisant pour perturber la transmission).

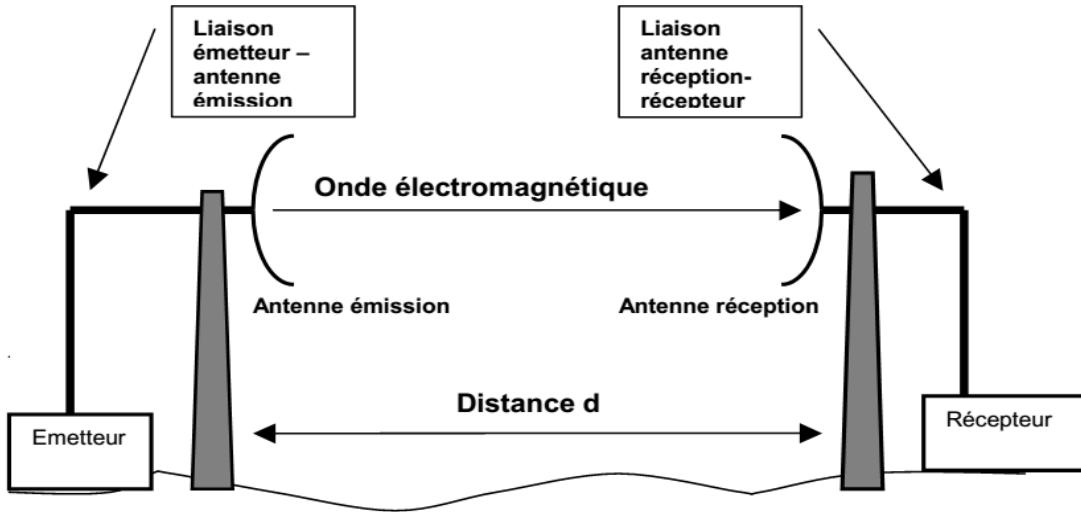
Par conséquent, une liaison par faisceau hertzien ne peut être utilisée que si ses extrémités sont en vue directe l'une de l'autre; comme ceci n'est que très rarement le cas pour les BTS éloignées du BSC, la connexion peut être réalisée en plusieurs « sauts » comme illustré à la figure de la page suivante (Figure 1.02) sur laquelle les points A et B sont en vue directe, de même que B et C, ainsi que C et le BSC. [4]



**Figure 1.03** : Connexion en plusieurs « sauts »(les lettres FH correspondent aux liaisons par Faisceau Hertzien)

### 1.3 Principe d'une liaison hertzienne

Généralement, le schéma de principe d'une liaison hertzienne se présente comme le suivant :



**Figure 1.04** : Principe d'une liaison hertzienne

Une liaison hertzienne est composée de plusieurs entités:

- Emetteur** : Il est caractérisé par sa puissance émise  $P_E$ . Ici,  $P_E$  sera exprimé en dBm ou dBW. Ordre de grandeur : de quelques mW (0dBm) à plusieurs kW ( $> 30$ dBW).
- 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 (voir cours de physique). Elle est caractérisée par son atténuation  $L_E$ , exprimée en dB. Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ( $L_E = 0$ dB)
- Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne  $G_E$ , exprimé en dBi.
- Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- Liaison antenne réception- récepteur** : comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation  $L_R$ , exprimée en dB.
- Antenne réception** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne  $G_R$ , exprimé en dBi.
- Récepteur** : Le paramètre qui nous intéresse ici est  $P_R$ , puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm. [1]

**-Plan de fréquence (ou bande de fréquence)** : est une plage de fréquence des ondes radios qui ont des propriétés similaire.

**-Bond** : est le découpage des tronçons du trajet entre l'émetteur et le récepteur.

**-Ellipsoïde de Fresnel** : c'est la zone où l'essentiel de l'énergie est concentrée, l'étendue de cette zone varie proportionnellement avec la longueur d'onde et la longueur de la liaison. On veille donc au dégagement de ce volume.

Le signal à transmettre est transposé en fréquence par modulation. L'opération de modulation transforme le signal d'origine en bande de base, par un signal modulé dit "à bande étroite", dont le spectre se situe à l'intérieur de la bande passante du canal. [3]

## 1.4 Facteurs influençant la propagation

Au cours de sa propagation, l'onde hertzienne subit principalement trois types d'atténuations :

### 1.4.1 Rayonnement en espace libre

Il est fixe et est toujours présent, parfois accentuée par la présence d'obstacle, on le verra dans le bilan de la liaison.

La station émettrice rayonne. Les ondes électromagnétiques véhiculent une énergie par unité de surface qui décroît comme le carré de la distance. . De plus, sur l'ensemble du trajet parcouru par l'onde comme le relief, la végétation, les bâtiments interceptant le faisceau entraîne des pertes dont il faut tenir compte, il est impératif de veiller au dégagement de la liaison comme [3].

### 1.4.2 Variations aléatoires des conditions climatologiques

Certaines caractéristiques du milieu propagateur sont donc « aléatoires ». Pour celles-ci, on a recours à des statistiques climatologiques (par ex. la concentration moyenne en vapeur d'eau). Il convient de considérer principalement deux phénomènes :

#### 1.4.2.1 Phénomènes de guidage

Pendant un certain temps, les conditions atmosphériques peuvent entraîner un guidage du faisceau, généralement en super réfraction. Le résultat est alors similaire à un dépointage d'antenne. La probabilité d'occurrence, sur le mois quelconque, de ces «évanouissements non sélectifs» est donnée par un paramètre statistique appelé facteur PL (de 2% à 30% en France). Ce phénomène de guidage est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence

est inférieure à 15GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données. [2]

#### 1.4.2.2 Atténuations dues aux hydrométéores

Pour les faisceaux hertziens de fréquence supérieure à 7GHz, les précipitations entraînent des pertes également considérables, d'autant plus que le taux de précipitation (en mm/h) et la fréquence sont élevés.

L'intensité de pluie varie de 22 à 60mm/h 0,01% de l'année moyenne. Ce phénomène de précipitation est dimensionnant dans l'ingénierie des liaisons dont la bande fréquence est supérieure à 8GHz. Il réduira la longueur possible du bond pour des exigences de disponibilité données. L'onde est partiellement dispersée sur la polarisation croisée (phénomène de Trans-polarisation). Atténuation et Trans-polarisation sont plus marquées pour un signal en polarisation H. [2]

#### 1.4.2.3 Réflexion, trajets multiple

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau). Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs).

La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant.

Il existe cependant d'autres cas d'importance comme :

- Les réflexions multiples dans une couche de guidage, le conduit atmosphérique jouant un rôle semblable à un guide d'onde : l'onde « rebondit » sur les « bords » du conduit.
- La scintillation : lors du survol d'une forêt par exemple, une partie de l'onde se propage à travers les arbres, subissant de fortes Trans polarisations, et déphasages. Le champ d'interférence résultant est très instable. [2][3]

### 1.5 Bilan de liaison

#### 1.5.1 **PIRE/EIRP**

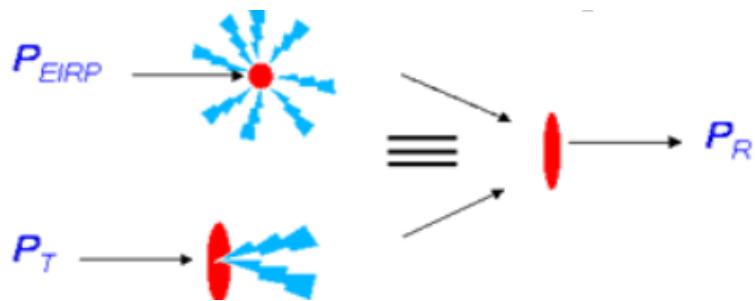
C'est la puissance isotrope rayonnée équivalente. Cette puissance est la puissance isotrope rayonnée équivalente est la qualité ou le montant de puissance qui peut rayonnée par une antenne isotrope

qui produira une densité de puissance équivalente venant de l'antenne actuelle dans une direction spécifiée. Le PIRE reste toujours en fonctions de la direction, car on ne peut pas supposer que la puissance rayonne d'une manière isotrope. [5]

$$P_{EIRP} = P_{OT} + G_T - L_T \text{ [dB]} \quad (1.01)$$

### 1.5.2 Expression de la puissance reçue

Pour déterminer  $P_R$ , la puissance reçue par le récepteur, il suffit en partant de la puissance de puissance d'émetteur de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal et d'ajouter les gains d'antenne. [4]



**Figure 1.05** : Expression de la puissance reçue

On obtient ainsi :

$$\text{Puissance reçus} = \text{PIRE/EIRP} - \text{Pertes du trajet} + \text{Gain d'antenne de récepteur} \quad (1.02)$$

### 1.5.3 Pertes en espace libre

Comme on a dit précédemment, les ondes électromagnétiques véhiculent une énergie par unité de surface qui décroît comme le carré de la distance.

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (1.03)$$

Où :

$d$  : la distance entre les deux sites

$\lambda$ : est la longueur d'onde.

#### **1.5.4 Pertes globales (total des pertes)**

C'est la totalité de toutes les pertes exercées sur l'onde.

$$\text{Pertes globales} = A1 + A2 + Lbf - (G1 + G2) \quad (1.04)$$

Avec :

A1 : est la perte de connexion du site 1

A2 : est la perte de connexion du site 2

G1 : est le Gain du site 1

G2 : est le Gain du site 2

L<sub>bf</sub> : est la perte de l'espace libre. [6]

#### **1.5.5 Seuil de réception**

Définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné (TEB=10<sup>-3</sup> ou 10<sup>-6</sup>), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation (vis-à-vis du bruit thermique). Le seuil de réception est dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ainsi que les matériels à utiliser.

$$R(sl2) = P_1 - \text{pertes globales} \quad (1.05)$$

P<sub>1</sub> est la puissance de l'émetteur. [6]

### **1.5.6 *Sensibilité d'un récepteur***

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

#### **1.5.6.1 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  $10^{-6}$ ).

#### **1.5.6.2 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). [3]

### **1.5.7 *Puissance d'émission***

C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer.[2]

### **1.5.8 *Pertes de branchement***

Pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de relier par un câble coaxial ou un guide d'onde l'émetteur/récepteur à l'antenne. Ces déports induisent des pertes linéaires de 1 à plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchements. [3]

### **1.5.9 *Gain d'antenne***

Les antennes, principalement paraboliques, apportent un gain de puissance en fonction de la direction de l'antenne d'autant plus grand que leur diamètre est important. La directivité du faisceau augmente avec la bande de fréquence et les diamètres de l'antenne.

L'obtention du bilan de liaison repose sur le constat simple : la station distante doit recevoir un signal tel qu'elle puisse le retranscrire avec un taux d'erreur acceptable, au regard des exigences de la qualité de la liaison. Le bilan de liaison, sommation de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur, doit donc être tel que le niveau de signal reçu soit supérieur au seuil de réception. [7]

### **1.5.10 Condition de bon fonctionnement**

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure 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.). [3]

Les critères de performance d'une liaison définissent les pourcentages de temps alloués au cours desquels le signal doit être reçu avec une qualité et une disponibilité suffisantes. Etant donné les conditions fluctuantes de propagation qui peuvent dégrader voire interrompre occasionnellement la liaison, on définit en réception les marges de fonctionnement permettant de remplir ces critères.

#### **1.5.10.1 La marge au seuil**

Pour compenser la majorité des pertes occasionnelles de puissance (évanouissements non sélectifs) que subit le signal, la réception se fait avec une marge appelée marge uniforme ou marge au seuil. C'est la puissance que l'on pourra perdre par dégradation des conditions de propagation sans perdre pour autant la qualité de la liaison.

#### **1.5.10.2 La marge sélective**

Comme on l'a vu, le signal ne subit pas qu'un affaiblissement au cours de la propagation. Il subit également des distorsions. Ceci complique encore la tâche de réception. Pour traduire la capacité d'un équipement à traduire correctement un signal entaché de distorsion, on introduit une marge dite sélective, qui découle de la caractéristique de signature du récepteur.

La présence d'un perturbateur (par exemple une autre liaison émettant sur une fréquence trop proche) peut également amener une dégradation du seuil effectif du récepteur, et réduit par conséquent ces marges [2].

## **1.6 Dispositifs de contre mesure**

Des dispositifs permettent d'améliorer la disponibilité et la qualité des liaisons, aussi bien vis-à-vis des aléas de propagation que de la fiabilité des équipements. Il est par exemple possible de doubler la liaison mais il existe des moyens moins lourds et moins coûteux.

### **1.6.1 Protection hot stand-by**

Il est possible d'opter pour une configuration d'équipement dite de « veille active » (*Hot-stand-by*), afin de pallier les éventuelles défaillances de matériels. On peut également ajouter une "diversité" : il s'agit d'un deuxième canal distinct à la liaison.

À l'émission, en cas de défaillance de l'émetteur, on bascule automatiquement sur un deuxième émetteur, de secours. Celui-ci est donc inactif la majeure partie du temps. En réception, les deux récepteurs reçoivent. L'équipement choisit automatiquement la voie par laquelle le signal est le meilleur. En cas de panne, l'un des deux chemins reste toujours disponible, et permet le dépannage sans interruption de la liaison.

En introduisant une diversité on peut tirer parti des phénomènes d'interférence évoqués plus tôt.

### **1.6.2 Diversité d'espace**

Un des principaux problèmes déjà mentionné concerne la présence d'un rayon réfléchi en plus du rayon direct qui entraîne la formation d'interférences dans le plan vertical des antennes de réception. La puissance mesurable présente donc des pics de sur-champ et des creux de sous-champ suivant un axe vertical.

L'idée est de placer une deuxième antenne de réception distante de la première d'une demi-frange d'interférence, ou d'un multiple impair de celles-ci, de manière à ce que les champs principaux et de diversité soient corrélés en opposition. Le champ combiné permet ainsi de s'affranchir très largement des instabilités du champ dues aux réflexions ou aux trajets multiples.

### **1.6.3 Diversité de fréquence**

L'idée est semblable à celle de la diversité d'espace. Il s'agit également de combiner deux champs dont les déphasages sont complémentaires. On exploite cette fois-ci les différences de propriétés de propagation des ondes de fréquences voisines. On émet ainsi de façon redondante sur un deuxième couple de fréquences, préférentiellement sur une polarisation croisée.

### **1.6.4 Diversité mixtes et hybrides**

Il est possible également de proposer des configurations mêlant les deux types de diversités précédents. On peut ainsi émettre à deux fréquences différentes sur les deux antennes de diversité d'espace (on parle alors de diversité quadruple). Il est également possible de placer une seule

antenne croisée d'un côté, et de profiter de la diversité d'espace en réception de façon dissymétrique (diversité triple).

Cependant, si les caractéristiques d'émission/réception du FH jusqu'à l'antenne peuvent être connues avec précision, il est en revanche impossible de connaître à tout instant les caractéristiques du milieu traversé par les ondes.

Selon les liaisons envisagées, ces techniques permettent de maintenir une puissance reçue stable à quelques dB alors qu'en leur absence, les évanouissements de champ pourraient atteindre jusqu'au -40 dB.

Les gains obtenus par ces méthodes se mesurent en termes de disponibilité accrue, bien que les marges uniforme et sélective restent identiques. Elles ne présentent de véritable intérêt que pour les situations où les réflexions sont prédominantes (liaison à fort survol d'étendues très réfléchissantes : eau, plaines désertiques) et la probabilité d'occurrence de trajets multiples élevée (liaisons longues ou dans des zones à fort facteur PL). [2][3]

### **1.7 Conclusion**

Pour avoir un bon fonctionnement de la liaison hertzienne, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur ainsi qu'à celle de la puissance de bruits.

Pour faire une conception de la liaison hertzienne et prévoir le bon fonctionnement de la transmission hertzienne, on a besoin des outils de simulations.

## CHAPITRE 2 PRESENTATION DES LOGICIELS ET ETUDES DESPARAMETRES A OPTIMISER

Dans ce chapitre, nous allons étudier les paramètres à optimiser pour une couverture FH. Ces paramètres se retrouvent dans le logiciel d'ingénierie de transmission F.H utilisé par TELMA connu sous le nom de « Mentum Ellipse ». Dans la deuxième partie, un second logiciel : « Link budget Calculator» nous sera présenté, ce dernier nous permet de mettre en évidence l'aspect scientifique des principes contenues dans Mentum.

### 2.1 Le logiciel : « Mentum Ellipse »

#### 2.1.1 *Présentation*

Le « Mentum Ellipse » est une solution d'innovateur d'ingénierie Transmission qu'on peut utiliser pour manier et optimiser une large échelle de réseau. Il contient toutes les modèles nécessaires pour l'analyse de performance d'un lien, comme le modèle de propagation, condition de modèle de précipitation, modèles de vapeur d'eau, modèle de performance, et modèles de diversités.

Ce logiciel procure des diverses figures qui accroîtront le rendement de travail de l'ingénierie de micro-onde comme l'habileté, pour générer des liens de micro-onde en grandeur.

Parmi les diverses paramètres il y a l'option d'ingénierie d'innovateur de micro-onde qui se présente comme une vue de coup-trajet par les obstructions. Cela offre une meilleure manière d'établir le lien dans l'espace où il y a diverses constructions faites par l'homme.

Le « Mentum Ellipse » procure également diverses fonctions qu'on a besoin pour accomplir les exigences de conception en matière de lien de micro-onde et sur la conception du réseau.

Dans le modèle de lien de micro-onde, une seule option contient toutes les informations nécessaires pour comprendre le fonctionnement du lien.

Si on choisit de créer un nouveau projet, la totalité des diverses options sont accessible, qui nous permet de dimensionner la topologie du réseau en utilisant l'accessible « Map » et toute les diverses paramètres nécessaires de l'ingénierie de réseau.

Le « Mentum Ellipse » est disponible en plusieurs éditions, modules et caractères ce qu'on appelle niveau de support, pour les opérateurs, mais cela dépend de leurs possibilités, comme Mentum Ellipse Basic, Mentum Ellipse Professionnel etc.

Pourtant le niveau de support qu'on obtient dépend de la version qu'on utilise. [8][9][10]

### **2.1.2 Analyse des paramètres nécessaires pour l'optimisation**

#### **2.1.2.1 Modèles de propagation**

Les pertes dues à la propagation, calculées dépendent du modèle de propagation sélectionné dans les paramètres du projet. Dans celui-ci les pertes sont considérées comme constantes dans le temps et des phénomènes statistiquement définies tels que la pluie ou le multi trajet ne sont pas incluses. Ces phénomènes statistiques sont pris en compte dans l'évaluation de la disponibilité et de la qualité des liens [9].

On distingue plusieurs modèles de propagation :

##### **a. Free-Space**

Le modèle de propagation de l'espace libre est le modèle le plus basique disponible car il ne tient pas compte du terrain. On doit l'utiliser lorsque le lien est en ligne de vue, lorsque la première zone de Fresnel est complètement dégagée (c'est-à-dire sans obstruction) et lorsqu'il n'est pas nécessaire de tenir compte d'autres phénomènes de propagation (par exemple, réflexions, etc). [9][10]

Les pertes d'espace libre peuvent être calculé comme suit (UIT-R P.525-2) [10] :

$$A_{freespace} = 324 + 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) \quad (2.01)$$

##### **b. ITU-R P.452-14**

Cette recommandation établit une méthode de prévision pour l'évaluation des interférences entre des stations situées à la surface de la terre à des fréquences supérieures à environ 0,1 GHz, en tenant compte à la fois de l'air clair et des mécanismes de brouillage par diffusion d'hydrométéores.[9]

En ce qui concerne le modèle mathématique, l'IUT-R P.452-14 présente beaucoup d'équations selon les phénomènes étudiés qui peuvent être en fonction de :

- la hauteur de l'antenne :

$$h_{si} = h_{st} + m \cdot di \quad (2.02)$$

$h_{si}$  est la hauteur d'une surface ajustée par la méthode des moindres carrés pour un  $di$  (km) de la source d'interférence.

**$h_{st}$**  est la hauteur de la surface du plan Terre depuis le début du chemin, c'est-à-dire les stations brouilleur.

**m** : est la pente (m / km) de la surface ajustée, par rapport au niveau de la mer. [10]

- la distance entre l'émetteur et le récepteur

Le calcul de perte est donné par la formule :

$$A_f = 10245 + 20 \cdot \log_{10}(f) + 20 \cdot \log_{10}(d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad (2.03)$$

$\mathbf{A}_{(st, sr)}$  est la perte de diffraction due au criblage du terrain pour la station émettrice

Où :

$$\theta_{t,r}'' = \theta_{t,r} - 0.1d_{lt,lr} \text{ [mrad]} \quad (2.05)$$

**A** (ct, cr) est la correction pour tenir compte du couplage des conduits de surface au-dessus des masses d'eau pour la transmission station et la station réceptrice:

$$A_{ct,cr} = \begin{cases} -3 e^{-0.25d_{ct,cr}^2} [1 + \operatorname{tgh}(0.07(50 - h_{ts,rs}))] & \text{dB} \\ 0 & \text{dB} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{for } w \geq 0.75, d_{ct,cr} \leq d_{lt,lr} \text{ and } d_{ct,cr} \leq 5 \text{ km} \\ \text{in all other cases} \end{array} \quad (2.06)$$

**c. P3M (Point-to-multipoint Model)**

Le modèle P3M prend en compte les pertes d'espace libre, les pertes de diffraction et, éventuellement, la perte de pénétration des bâtiments ainsi que des pertes d'encombrement. Il calcule la hauteur effective de l'antenne Tx et Rx. Le modèle P3M de propagation peut être utilisé pour des fréquences plus basses et plus élevées.

La puissance reçus est :

$$P_{RX} = P_{TX} - L \quad (2.07)$$

Avec :

$$(1-w_f)(L_{near} + C_4 L_{diff}) + w_f L_{fs} + L_{building} + L_{clutter} \quad \text{pour } d < d_{bp} \quad (2.08)$$

$L =$

$$(1-w_f)(L_{md} + C_4 L_{diff}) + w_f L_{fs} + L_{building} + L_{clutter} \quad \text{pour } d > d_{bp}$$

**d** est la distance entre les antennes TX et RX en kilomètres.

**d<sub>bp</sub>** est la distance de point de rupture en km, c'est-à-dire la distance à laquelle la première ellipse de Fresnel a pénétré la ligne qui représente le terrain plus l'encombrement et la deuxième pente a repris.

$$d_{bp} = \frac{B h_{b,eff} h_{m,eff}}{1000 \cdot \lambda} = \frac{B \lambda}{1000} \frac{h_{b,eff}}{\lambda} \frac{h_{m,eff}}{\lambda} = \frac{B \lambda H_{b,eff} H_{m,eff}}{1000} \% \quad (2.09)$$

B est le paramètre contrôlant la distance du point de rupture. Sa valeur devrait normalement être comprise entre 4 et  $4\pi$ . La valeur par défaut est 1, basée sur l'accord manuel à l'aide de données d'enquête du centre-ville de Toronto.

**w<sub>f</sub>** est le coefficient d'interpolation de Fresnel:

$$W_f = \begin{cases} 1 & v < -0,8 \\ -V/0,8 & -0,8 < v < 0 \\ 0 & v > 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

**H<sub>m,eff</sub>** sont respectivement la hauteur moyenne et effective.

**v** est le paramètre de diffraction de Fresnel-Kirchhoff calculé par le modèle de perte de diffraction.

**L<sub>near</sub>** est la perte avant la distance de point de rupture.

$$L_{near} = C_1 + 20 \log f + C_2 \log d \quad (2.11)$$

**L<sub>md</sub>** est la perte de diffraction multiple.

$$L_{md} = C_1 + 20 \log f + C_2 \log d_{bp} + C_3 \log \frac{d}{d_{bp}} \quad (2.12)$$

**L<sub>fs</sub>** est la perte en espace libre.

$$L_{fs} = 20 \log \left( \frac{4\pi \cdot 10^9}{c} \right) + 20 \log f + 20 \log d \quad (2.13)$$

**L<sub>diff</sub>** est la perte de diffraction, calculée en utilisant le modèle de diffraction (Epstein-Peterson par défaut).

**L<sub>building</sub>** est la perte de construction prise en compte si le récepteur est à l'intérieur d'un bâtiment.

$$L_{building} = C_6 + C_7 d_{pen} \quad (2.14)$$

**D<sub>pen</sub>** est la distance de pénétration à l'intérieur d'un bâtiment (en mètre)

**L<sub>clutter</sub>** est la perte d'encombrement prise en compte si le récepteur n'est pas à l'intérieur d'un bâtiment.

$$L_{clutter} = C_5 \cdot C_{5,i} \quad (2.15)$$

C<sub>5,i</sub> est la perte d'étalonnage pour le type i d'encombrement. [9][10]

#### *d. Model Diffraction*

Le modèle général de diffraction est un modèle global qui prend en compte les pertes d'espace libre, les pertes de diffraction et éventuellement des pertes d'absorption. [10]

Par conséquent, les pertes calculées avec ce modèle peuvent être décrites selon la formule suivante:

$$A(pt) = A(el) + A(dif) + A(g) \quad (2.16)$$

*e. Synthèse de ces modèles*

D'après les différentes formules précédentes on peut tirer une synthèse:

	<b>Free-Space</b>	<b>ITU-R P.452-14</b>	<b>P3M</b>	<b>Model Diffraction</b>
Utilisation	Zone de Fresnel complètement dégagée (c'est-à-dire sans Obstruction).	Privilège de paramétrier plusieurs options correspondant aux phénomènes existants.	La considération de perte n'est pas exagérer pour les liaisons vue directe sans obstacles, grâce à sa formule les pertes due aux constructions et aux encombremens peuvent ignorer.	Considération de toutes les pertes
Spécification	Les obstacles ne sont pas considérés dans le calcul	Trop de perte à considérer même si les phénomènes ne se reproduiront pas.	Provocation des erreurs en cas des bords très étroits.	Mépris des pertes dues aux brouilleurs et aux désordres.
Régions	Liaisons sur les lacs, les mers, etc.	Régions Suburbaines.	Régions Urbaines.	Région urbaines, et suburbaines.

**Tableau 2.01** : Tableau de synthèse des modèles de propagation

#### 2.1.2.2 Modèle de trajet multiple

Pour créer un lien de micro-onde il est strictement nécessaire de maximiser le temps durant laquelle les liens sont encore disponibles. Pour pouvoir définir le temps de disponibilité, il faudrait considérer le multi-trajet (ou fading) pour estimer le large de disponibilité de liens. Il y a plusieurs modèles de statistique utilisé pour déterminer l'effet du trajet-multiple :

*a. Vigants-Barnett*

Il calcule la probabilité d'indisponibilité causé par la propagation du trajet multiple.

Son modèle mathématique s'écrit :

$$P_w = 6,0 \cdot 10^{-7} \cdot C \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-A/10} \% \quad (2.17)$$

**b. K.Q. Factor**

Il calcule la probabilité d'indisponibilité causé par la propagation du trajet multiple.

Son modèle mathématique s'écrit :

$$P_w = K \cdot Q \cdot f^b \cdot d^c \cdot 10^{-A/10} \% \quad (2.18)$$

**c. P530 7-8**

C'est une méthode de calcul d'indisponibilité causé par le trajet-multiple à suivre selon la recommandation de l'ITU.

$$P_w = K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + \varepsilon_p)^{-1,4} \cdot 10^{-A/10} \% \quad (2.19)$$

$\varepsilon_p$  (mrad) est le trajet incliné est :

$$\varepsilon_p = 1000 \left| \tan \left( \frac{hr - he}{1000d} \right) \right| = \left| \frac{hr - he}{d} \right| \quad (2.20)$$

**d. P530 9-12**

C'est une méthode de calcul d'indisponibilité causé par le trajet-multiple à suivre selon la recommandation de l'ITU.

$$K = 10^{-4,2 - 0,0029dN1} \quad (2.21)$$

Où dN est la réfractivité de pente et sa valeur dépend du k.

$$P_w = K \cdot d^{3,1} \cdot (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,29} \cdot f^{0,8} \cdot 10^{-0,00089hL - A/10} \% \quad (2.22)$$

**e. P530 9-13**

C'est une méthode de calcul d'indisponibilité causé par le trajet-multiple à suivre selon la recommandation de l'ITU qui considère plus de défaillance du trajet multiple que l'ITU P530 7-8 et l'ITU P530 9-12.

Son modèle mathématique s'écrit :

$$K = 10^{-3,9-0,003dN_1} \cdot Sa^{-0,42} \quad (2.23)$$

$dN_1$  est la réfractivité de pente et sa valeur dépend du  $k$ .

$Sa(m)$  : est la dureté du terrain

$$P_w = K d^{3,1} (1 + |\epsilon p|)^{-1,29} f^{0,8} \cdot 10^{-0,00089hL-A/10} \% \quad (2.24)$$

*f. ETSI.TR 101016.*

C'est un algorithme qui permet de calculer le plan de fading pendant un période de temps bien déterminé comme le mauvais mois et/ou ans.

En ce qui concerne le modèle mathématique, la méthode de calcul de la probabilité du mauvais mois se déroule en trois étapes comme suit :

- **Etape 1 :**

$$KQ = KQconst \cdot KQfunct \quad (2.25)$$

Pour  $KQfunct = 1$  (rien)

Hauteur d'antenne :

$$KQ_{func} = (h_A + h_B)^{-0,5} \quad (2.26)$$

Dureté du terrain:

$$KQ_{func} = w^{-1,3} \quad (2.27)$$

Inclinaison du terrain :

$$KQ_{func} = s^{-1,4} \quad (2.28)$$

- **Etape 2 :**

Calcul du facteur d'occurrence multi-chemin  $P_0$  comme suit :

$$P_0 = KQ \cdot f^B \cdot d \quad (2.29)$$

$P_0$  Facteur d'occurrence (apparition) de trajets multiples [1]

$f$  fréquence (GHz)

*B* Facteur de fréquence

*d* distances parcours (km)

*C* facteur de distance

- **Etape 3 :**

Calcul du pire mois Erreur! Nom de propriété de document inconnu. Probabilité  $P_F$  comme:

$$P_F = P_0 \cdot 10^{\left(-\frac{M}{10}\right)} \quad (2.30)$$

**g. Synthèse des méthodes de calcul d'indisponibilité due aux trajets multiples**

La synthèse des méthodes de calcul d'indisponibilité due aux trajets multiples peut être résumée par le tableau suivant:

Méthodes	Atouts	Spécification	Régions
Vigants-Barnett	Privilège de modifier la valeur de C*.	Ne considère pas l'effet régional.	Ruraux
K.Q. Factor	Considération de l'effet régionale comme la dureté de terrain.	Dépendance chronique aux autres paramètres.	Suburbaine ruraux.
P530 7-8	Considération de l'inclinaison du trajet.		Tout type de régions
P530 9-12	Considère d'inclinaison du trajet, des différents phénomènes et les défaillances causé par le trajet multiple.		Tout type de régions
P530 9-13	Plus de considération de défaillance causée par le trajet multiple.		Tout type de régions
ETSI.TR 101016.Annex A	Considère l'effet régional ainsi que la totalité du plan fading.	Plusieurs étapes de calculs.	Suburbaine ruraux.

**Tableau 2.02 : Synthèse des méthodes de calcul d'indisponibilité due aux trajets multiples**

C\* : facteur de distance

#### 2.1.2.3 Méthodes de calcul de pertes dues aux gaz

L'absorption totale de gaz implique des pertes linéiques  $\gamma_O$  de l'air sec et  $\gamma_w$  de la vapeur d'eau. Selon le saut de longueur d [km], la perte est donnée comme :

Perte due au gaz :

$$A_g = [\gamma_0 + \gamma_w(\rho)].d \quad (2.31)$$

$\rho$  Est la concentration en vapeur d'eau (g / m3) (définie par l'utilisateur ou calculée à partir des fichiers ITU).

Trois modèles de calcul d'atténuation dues gaz sont utilisés pour affiner les résultats de diffraction :

- **UIT-R P.676-3** - fournit des méthodes pour estimer l'atténuation des gaz atmosphériques sur les différents types de trajets et des pistes inclinées en utilisant:

Une estimation de l'atténuation gazeuse calculée par la sommation de lignes d'absorption individuelles qui est validé pour la gamme de fréquences 1-1,000 GHz, et une méthode approximative simplifiée pour estimer l'atténuation gazeuse qui est applicable dans la gamme fréquence 1-350GHz.

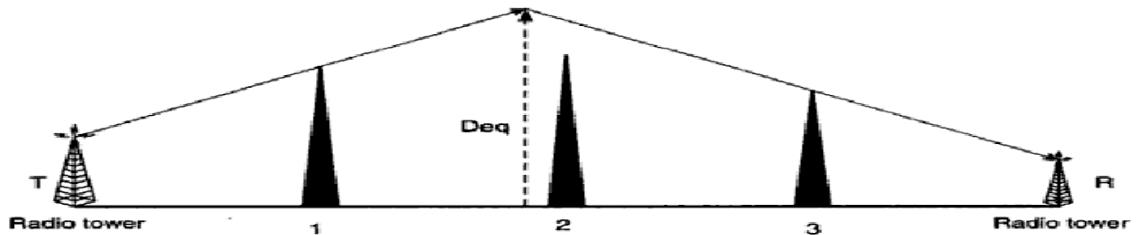
- **UIT-R P.676-5** - comprend des formules mises à jour avec quatre plages de fréquences ( $f \leq 54$  GHz,  $54 < f \leq 66$ ,  $66 \leq f \leq 120$ ,  $120 \leq f \leq 350$  GHz).
- **UIT-R P.676-7** - comprend des formules mises à jour comportant six plages de fréquences ( $f \leq 54$  GHz,  $54 < f \leq 60$ ,  $60 < f \leq 62$ ,  $62 < f \leq 66$ ,  $66 \leq f \leq 120$ ,  $120 \leq f \leq 350$  GHz). [9][10]

Ce sont des versions successives de méthodes d'atténuation par les gaz atmosphériques. Pour bénéficier des dernières considérations empiriques, il est recommandé d'utiliser la méthode la plus récente, UIT-R P.676-7. Ainsi lorsque la fréquence utilisée est précise, l'atténuation due aux gaz est estimable et la valeur de perte due aux gaz est fiable.

#### 2.1.2.4 Méthodes de calcul des pertes dues aux diffractions

##### a. *Burlington*

La méthode de Burlington repose sur la construction d'un bord pointue équivalent à l'intersection des «horizons» Tx / Rx et le calcul de la perte ce base sur cela. En utilisant cette méthode, un bord de pointue équivalent est construit à l'intersection de Tx / Rx "horizons" et une perte est calculée. [9]



**Figure 2.01** : Schéma illustrant la construction d'un seul bord

Rx est le récepteur

Tx est l'émetteur

Pour V supérieur de -0,78 la perte de diffraction est :

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad (2.32)$$

H est la hauteur du haut de l'obstacle au-dessus de la ligne de visée

$d_1$  et  $d_2$  sont les distances des deux extrémités du chemin depuis le haut de l'obstacle

$\lambda$  est la longueur d'onde

Le bord 1 est le premier bord

Le bord 2 est le second bord. [9]

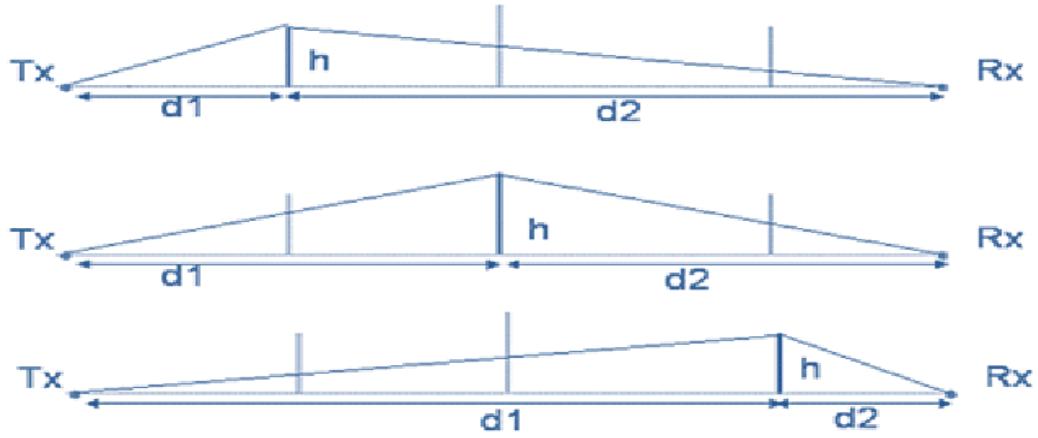
#### *b. Deygout*

En utilisant cette méthode, le chemin de liaison est divisé en segments. Le procédé commence par déterminer le bord le plus long (c'est-à-dire le bord principal "v"). A partir du bord de principe (P), un nouveau plan de référence est créé et v est calculé pour le bord intermédiaire sur la base de la hauteur au-dessus du plan de référence.

V est la pénétration relative d'obstacle dans la zone de Fresnel.

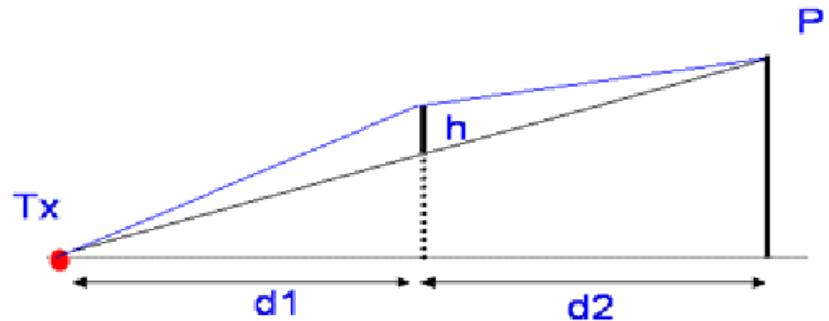
Ce bord intermédiaire aura une valeur inférieure de v et devient le bord de principe pour le trajet de Tx à P. Le processus est récursif pour de multiples bords intermédiaires et est répété jusqu'à ce que tous les bords soient considérés. Le même processus est utilisé le long du chemin de P vers le récepteur. Les pertes calculées pour chaque arête sont additionnées. [9]

La méthode modelée dans MENTUM Ellipse considère jusqu'à trois arêtes et ajoute les pertes pour chacun.



**Figure 2.02** : Les déterminations de trois arrêts

$$V = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (2.33)$$



**Figure 2.03** : Le trajet jusqu'au V principale

$$L = J(V_p) + J(V_{tp}) + J(V_{pr}) \quad (2.34)$$

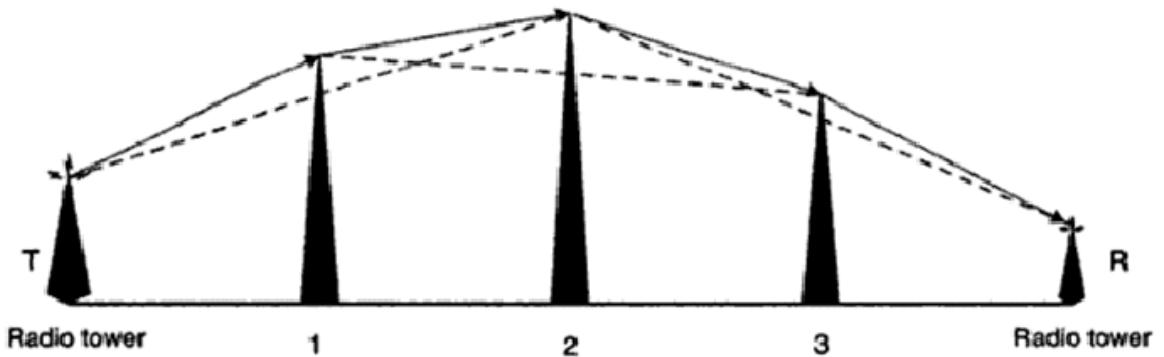
$J(Vp)$ : Valeur de perte bord principal

$J(Vtp)$  : Valeur de perte limite entre émetteur et principal

$J(Vpr)$  : Valeur de perte limite entre le principal et le récepteur. [9] [10]

c. *Eptsein-Peterson*

La méthode d'Epstein-Peterson résume la perte pour chaque arête à son tour, en utilisant hauteur au-dessus de la ligne pointillée comme hauteur effective du bord. Le calcul commence par la perte entre l'émetteur et le premier obstacle, puis chaque obstacle jusqu'à ce que le récepteur soit atteint. La perte totale est la somme de l'individu pertes. [9]

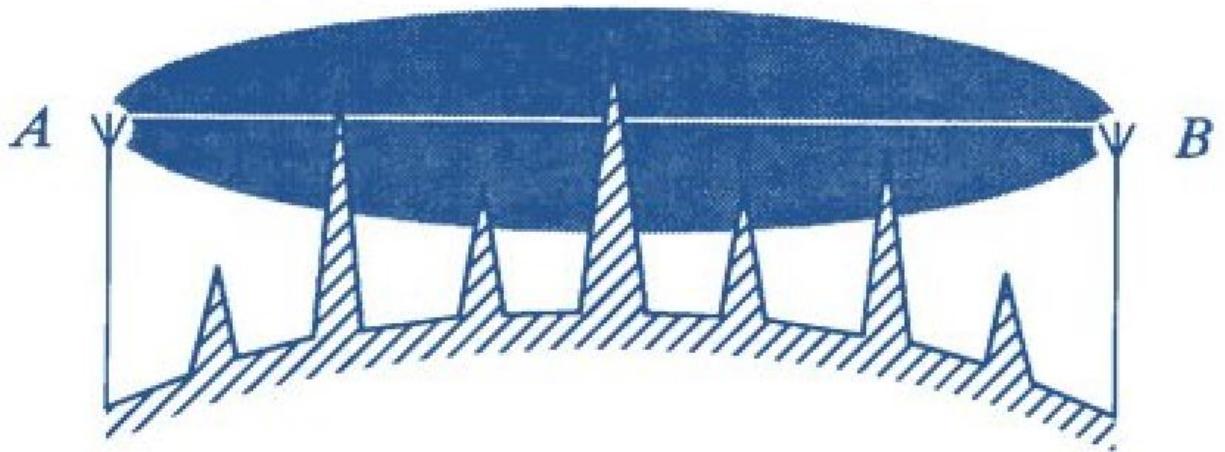


**Figure 2.04** : Pertes de chaque arrêt

d. *Triple-peak*

La méthode de diffraction triple crête calcule la valeur de perte d'obstruction le long de la propagation, sur la base de la somme des trois plus grandes pertes de couteau. Une initiale calcul de la perte d'obstruction sur la base de la méthode à pic unique est effectuée par la détermination de la valeur de la perte d'obstruction comme étant la plus grande obstruction du couteau perte résultant d'une obstruction individuelle se trouvant le long du chemin. C'est la première contribution,  $A_1$ , à la perte totale d'obstruction.

Le profil du chemin est alors divisé à ce point, M, qui a entraîné la plus grande perte de couteau. Le pic du point M, représente l'antenne ou le point de terminaison le long des chemins partiels AM et MB. Si le « peak » se compose d'arbres, alors la hauteur du mât de l'antenne fictive est réglée sur hauteur des arbres, sinon la hauteur du mât est mise à zéro. Dans l'éventualité où l'antenne fictive atteint une hauteur sous la ligne de visée libre originale, AB, puis la hauteur du mât est réglée de telle sorte que l'antenne atteigne exactement la ligne de visée libre. [9] [10]



**Figure 2.05** : Pénétration des obstacles dans le diagramme de Fresnel

La perte d'obstruction totale est finalement obtenue en ajoutant les trois contributions de perte:

$$A_H = A_1 + A_2 + A_3 \quad (2.35)$$

*e. Durkin*

La méthode de Durkin est un mélange du modèle d'Epstein-Peterson et de modèle de Burlington. Quand il y a jusqu'à trois arêtes, la méthode d'Epstein-Peterson est utilisée. Lorsqu'il y a plus de trois bords, les premier et dernier bords principaux sont considérés et un fictive est calculée en utilisant le modèle de Burlington. [9]

Son modèle mathématique se base sur l'utilisation mixte des modèles de Burlington et d'Epstein-Peterson.

*f. Deygout P526-5*

La méthode exposée dans l'UIT-R P526-5 est une méthode Deygout qui considère trois arêtes de calcul. [9]

Son modèle mathématique est basé sur la formule suivante :

$$L = J(V_p) + T[J(V_r) + J(V_t) + C] \quad (2.36)$$

$J(V_p)$ : Bord principal

$J(V_t)$ : Limite entre émetteur et principal

$J(V_r)$ : Limite entre le principal et le récepteur

C (correction empirical)  $C=8,0+0,04D$  avec D est le total du longeur du trajet.

T : une valeur donnée.

La méthode d'intégration de la correction empirique est la suivante:

$$\begin{aligned} T &= J(v_p)/6 && \text{pour } J(v_p) < 6 \\ T &= 1 && \text{pour } J(v_p) > 6 \end{aligned} \quad (2.37)$$

**g. Deygout P526-11**

La méthode exposée dans l'UIT-R P.526-11 est une méthode Deygout avec les corrections empiriques comme le Deygout P526-5. [9]

Son modèle mathématique s'écrit :

$$L = J(V_p) + T[J(V_r) + J(V_t) + C] \quad (2.38)$$

Avec :

$$C = 10.0 + 0.04D \quad (2.39)$$

Et :

$$T = 1.0 - \exp\left[-J\left(\frac{V_p}{6.0}\right)\right] \quad (2.40)$$

#### *h. Synthèse de calcul de pertes dues aux diffractions*

D'après les différentes explications et formules précédentes on peut tirer une synthèse:

Les méthodes	Avantages	Inconvénients	Régions/situations
Burlington	Efficacité maximum dans les liaisons point à point pour un seul obstacle.	Il sous-estime les autres bords, en cas de plusieurs bords.	Ruraux et aux liaisons traversant de Lacs et de Mers.
Deygout	Augmentation de nombre de bord considérer.	Limites jusqu'à trois bords.	Les régions Suburbaines.
Eptsein-Peterson	N'importe quels niveaux $V^*$ des bords sont tous considérer.	Vulnérables aux bords étroitement espacés.	Urbaine, Suburbaine
Triple-peak	Trois obstacles sont considérés.	Vulnérables existence de plusieurs bords.	Urbaine et Suburbaine
Durkin	Utilisation de méthode convenable au phénomène existant.	Les inconvénients d'Epstein-Peterson et de Burlington.	Dans toutes les régions.
Deygout P526-5	La méthode intègre une correction empirique.	La valeur de la correction empirique n'est pas certaine.	Urbaine
Deygout P526-11	La méthode intègre la correction empirique mais celui-là est élevé.	La valeur de la correction empirique n'est pas certaine.	Urbaine

**Tableau 2.03 Tableau de Synthèse des méthodes de calcul de pertes due aux diffractions**

$V^*$  : Niveau de pénétration des obstacles dans la zone d'ellipsoïde de Fresnel.

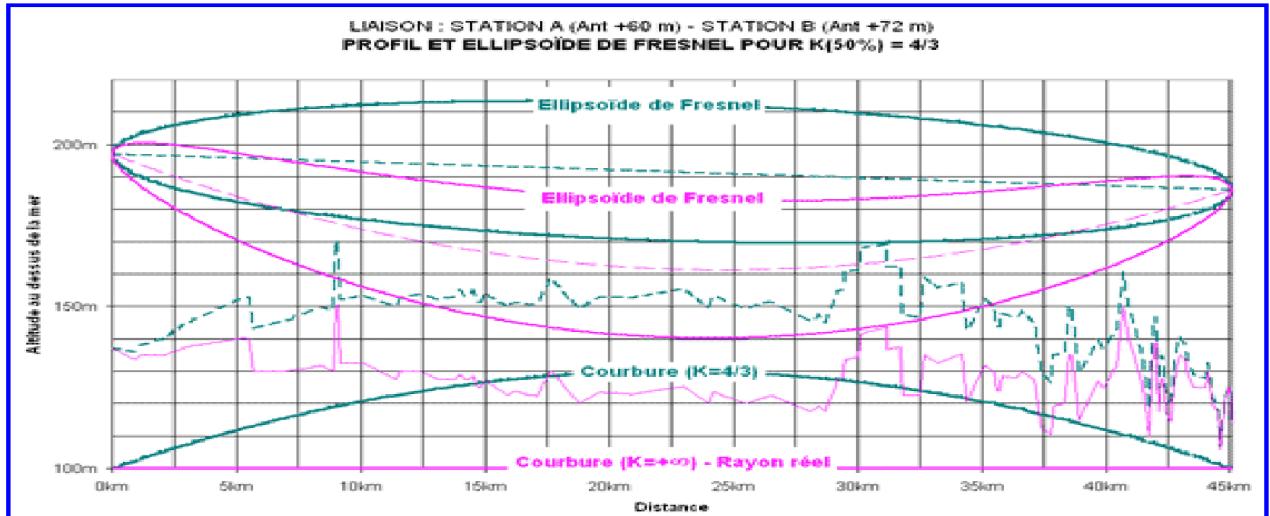
#### **2.1.3 La signification des autres paramètres**

##### **2.1.3.1 Le Radius factor K**

On introduit donc le rayon terrestre apparent, tenant compte de la déformation virtuelle de la terre vis-à-vis des propagées. Il est déduit du rayon réel par un paramètre, appelé « facteur K », traduisant

le gradient (pente) vertical de coïncide de réfraction. Sa valeur médiane en Europe est d'environ 4/3.

Théoriquement  $k$  change la valeur du rayon terrestre pour avoir un trajet rectiligne, de l'ellipsoïde de Fresnel, d'après  $k = \frac{R_0}{R_t}$  (avec  $R_t=6375\text{Km}$ ) et  $k=1,33$  est une norme européen. [2]



**Figure 2.06** : Deux représentations d'un profil radioélectrique, terre droite et faisceau non courbé (Rose), terre courbée et faisceau droit (vert).

#### 2.1.3.2 Le paramètre de réfractivité dN

Le dN1 est le gradient (pente) de réfractivité non dépassé pour 1% d'une année moyenne dans les 65 premiers mètres de l'atmosphère selon la Recommandation UIT-R P.453-9. [9]

#### 2.1.3.3 La fréquence utilisée

On doit utiliser une fréquence comprise entre la fréquence minimale et la fréquence maximale de l'antenne utilisé. [9]

#### 2.1.3.4 La polarisation

Les ondes sont polarisées en ce sens dans un milieu donné. La polarisation d'une onde est le plan dans lequel varie le champ électrique. Certaines émissions d'onde se font à polarisation horizontale et verticale. [7]

On choisit la polarisation verticale parce qu'elle est plus résistant aux précipitations que la polarisation horizontale.

#### 2.1.3.5 La méthode de masquage de l'antenne

Le gain de l'antenne est calculé par l'utilisation de model d'antenne associé avec un point dans chaque fin du lien. La définition du gain de l'antenne est contenue dans le paramètre d'antenne. On définit l'azimut et l'élévation dans l'équipement « tab/Antenna »system panel dans l'éditeur de lien. Le gain du transmetteur n'est pas nécessairement égal au gain maximal de l'antenne alors les méthodes sont utilisée pour mettre en correspondance les gains entre ces deux équipement.

##### *a. Méthode 1*

Cette méthode est utilisée quand l'azimut et le tilt sont considérables. Alors pour calculer le gain, on utilise cette équation :

$$G_{(\Theta, \phi, \beta)} = G_{\max} - G_H(\Theta) - G_V(\beta - \alpha) \quad (2.41)$$

Où :

$\Theta$  est l'angle horizontal entre l'azimut de l'antenne et l'azimut du récepteur.

$\beta$  est l'élévation du trajet entre le transmetteur et le récepteur.

$\alpha$  est l'angle de tilt aperçus par le récepteur

$\phi$  est le tilt d'antenne de transmetteur

$G_{\max}$  (dBi) est le gain maximal de l'antenne.

$G_H$  (dB) est la section croisée horizontale du diagramme de l'antenne avec  $G_H(0)=0$ .

$G_V$  (dB) est la section croisée horizontal du diagramme de l'antenne avec  $G_V(0)=0$ .

##### *b. Méthode 5*

Cette méthode est utilisée lorsque l'azimut et le tilt sont très petits et ainsi il fait une prévision ou prédiction de gain sans calcul directe. La méthode 5 donne du résultat identique ou plus proche d'identique quand on le compare avec un simple model antenne pour le phénomène d'interférence le plus commun. Le logiciel « Menum Ellipse » choisit la méthode 5 pour le calcul de gain de

l'antenne dans le phénomène des larges différenciations. Le choix de model d'antenne est beaucoup plus important.

Voici les formules que la méthode 5 utilise pour les coupes de diagramme H (horizontal) et un V (vertical):

$$G = G_{\max} + (wH * GH(aT) + wV * GV(aT)) / (wH + wV) \quad (2.42)$$

$$wV = V \text{ facteur de pondération [deg]} \quad (2.43)$$

$$= (180 / \pi) * \text{atan}(|aV| / |aH|) \quad (2.44)$$

$$wH = H \text{ facteur de pondération [deg]} \quad (2.45)$$

$$= 90 - wV$$

$$aT = \text{angle total [deg]} \quad (2.46)$$

$$= \text{Sqrt}(\text{sqr}(aH) + \text{sqr}(aV))$$

Si seulement le diagramme H existe ("modèle 5"):  $G = G_{\max} + G_H(aH)$

Ou

$H$  = diagramme horizontal

$V$  = diagramme vertical

$aH$  = angle de diagramme Horizontal

$aV$  = angle de diagramme Vertical

### 2.1.3.6 Les paramètres atmosphériques

L'atmosphère est le milieu principal du faisceau hertzien, on doit en tenir compte dans notre analyse pour atteindre la qualité de liaison recherché.

La pression : 1013 hPa est la pression normal et ambiante de l'atmosphère.

La température : dans l'option « Path center ». On choisit ITU-R P.1510 car il indique et donne la température correspondant du surface moyenne annuel dans le monde dans une région bien définie. D'où la valeur de la température est déduite des coordonnées du centre du trajet. C'est une recommandation, ou bien une norme, elle est fiable et aussi n'est plus besoin de mettre une valeur.

La concentration d'eau : dans l'option « Path center » : ITU-R P.836, celui-ci donne et indique la densité surfacique ainsi que la teneur total en vapeur d'eau, elle est fiable et aussi n'est plus besoin de mettre une valeur bien définie. [9]

#### 2.1.3.7 Paramètre de réflexion

Si ce paramètre est activé, il faudrait inclure les calculs de réflexion dans le paramètre du trajet. Ici, il est désactivé car les calculs des informations sur la perte de réflexion sont déjà pris en compte dans le résultat de l'analyse de liens afin qu'il n'y aura pas de double calcul de réflexion. [9]

#### 2.1.4 Calcul de la marge

Pour prédire correctement la performance de transmission au cœur réseau micro-onde, on peut considérer l'interférence. « L'interférence » dans le système de micro-onde est causée par la présence de signal non désiré qui dégrade la qualité du signal désiré.

Utilisation de marge d'interférence = (seuil de dégradation)

Quand le lien d'opérations est avec une interférence, le rapport signal sur bruit est dégradé par l'interférence et le seuil de dégradation est défini comme suit :

$$TD(dB) = -\Delta = 10 \cdot \log_{10} \left( 1 + 10^{\frac{I(dBm) - N(dBm)}{10}} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( 10^{\frac{N(dBm)}{10}} + 10^{\frac{I(dBm)}{10}} \right) - N(dBm) \quad (2.47)$$

N (dBm): bruit pour le seuil de récepteur.

I (dBm) : est le total de niveau d'interférence au récepteur.

En ingénierie de transmission , la valeur maximale de seuil de dégradation créé par une interférence ne sera pas supérieure à 1dB et la valeur totale de seuil de dégradation créée par toutes les valeurs de liens d'interférence ne sera pas dépassé de 3dB.

L'interférence est calculée par cette formule :

$$I_{A1} = P_{TXA} - \text{Loss}_A + G_{\text{Antenna}A} - \text{Pathloss}_{A1} + G_{\text{Antenna}1} - \text{Loss}_1 - \text{IRF}(\Delta \text{ FHz}) \quad (2.48)$$

Avec :

$P_{txa}$  est la puissance de station de transmission

$Loss_A$  est la valeur de perte par la radio A

$G_{antenna}$  est la valeur de gain de l'antenne A

$PathLoss_{SA1}$  est la valeur de la perte de trajet par la radio A jusqu'au radio 1

$Loss_1$  est la valeur de perte de la radio 1

$IRF$  est la valeur de protection de la radio

$\beta$  et  $Q$  sont des paramètres utilisés pour la conversion annuelle et mensuelle pour afficher le résultat en pourcentage. [9][10]

## 2.2 Le logiciel de calcul standard de budget de lien : « Link budget calculator»

Pour voir explicitement l'aspect scientifique du « Menum Ellipse », on fait appel à la logiciel « Link Budget Calculators ».

### 2.2.1 Présentation

Ce logiciel nous permet de connaître la capacité de la liaison avec le matérielle qu'on a. Le « Link budget calculator » est un moyen pour quantifier la performance de la liaison. Il contient beaucoup de paramètres de bilan de liaison concernant la transmission radio et la transmission par faisceau hertzienne pour évaluer la disponibilité d'une liaison à étudier. [11][12]

Dans cette étude, nous allons nous focaliser sur les paramètres concernant la transmission par faisceau hertzienne.

### 2.2.2 Analyse des paramètres nécessaires pour l'optimisation

#### 2.2.2.1 La signification des valeurs en décibel

Lorsqu'on parle de gain, on pense tout de suite à la puissance et au potentiel selon les relations de gain entre la puissance et entre les potentiels.

Un gain de 3dB correspond à doubler la puissance.

Un gain de 10dB correspond à multiplier la puissance par 10.

Un gain de 20 dB correspond à multiplier la puissance par 100.

Un gain de -20dB correspond à diviser la puissance par 100. [13]

Tous les formules qu'on trouve ici sont tous dans le logiciel macro-Excel « Link budget calculators », qu'on a insérer dans cet ouvrage.

### 2.2.2.2 Budget de Lien

- Puissance PA = source Tx :

C'est la puissance de l'émetteur dont la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer selon leur constructeur. En général dans notre analyse de transmission FH elle est entre 20 et 30dBm. [2]

- Tx (perte de connecteur, câble) :

Les valeurs sont données par les constructeurs selon les connecteurs et les câbles utilisées.

- Puissance Tx :

Exprime la puissance d'antenne d'émission, elle est facile à comprendre, on l'obtient par l'enlèvement des pertes dues aux câbles et aux connecteurs. [5]:

$$P_{Tx} = P_E - C \& C Loss \quad (2.49)$$

P<sub>Tx</sub> : puissance de l'antenne

C&CLoss : perte due aux connecteurs et au câble

Sur le logiciel elle est simplifiée :  $P_T = P_{Tx}(C \& C Loss)$ . [11]

- Gain d'antenne Tx :

L'antenne d'équipement qu'on utilise ici a de gain entre 30 à 49,7dBi. [15]

- Puissance apparente rayonnée :

Elle est obtenue par cette relation:

$$PIRE = G_1 P_0 \quad (2.50)$$

P<sub>0</sub> : puissance de l'émetteur

G1 : gain de l'antenne d'émetteur

Sur le logiciel il est  $EIRP(PIRE) = P_T G_T$ . [5]

- Distance :

C'est la distance entre l'émetteur et le récepteur.

- Perte en espace libre :

Exprime la perte due à la propagation en espace libre ; d'après cette fameuse formule.

$$FSPL(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi d f}{c} \right)^2 \quad (2.51)$$

- Puissance dans l'antenne Rx par le trajet d'espace libre :

On ne considère que la perte due à l'espace libre (Lfs) et la puissance apparente rayonnée (EIRP).

$$P_{\text{ChanFS}} = L_{\text{FS}} EIRP \quad (2.52)$$

- Perte de terre plate : perte de terre plate, cette valeur est donnée par GMS mais selon la fréquence utilisée. [11]
- Pertes de trajet multiple :

C'est la perte causée par le trajet multiple. Cette valeur dépend du paramètre donner et à considérer.

- Perte d'obstruction :

Pertes dues aux obstructions qui perturbent le diagramme de Fresnel.

- Puissance dans l'antenne de Rx par le trajet de terre plate seulement :

On considère ici la perte due au trajet de terre plate (Lfe), les pertes dues aux obstructions, les pertes dues aux multi-trajets, les pertes due au canal de transmission, et la puissance apparente rayonnée(EIRP).

$$P_{\text{ChanFE}} = L_{\text{FE}} L_0 L_{\text{MP}} L_{\text{Obs}} EIRP \quad (2.53)$$

Avec Lmp est la perte de trajet multiple.

L0 facteur de perte de canal : sa valeur est nulle d'après Loss Medium sheet.

$L_{\text{obs}}$  pertes dues aux obstructions : dans notre analyse, il n'y a pas d'obstructions, alors sa valeur est nulle. [11]

- Gain de l'antenne Rx :

Exprime le gain de l'antenne de réception, l'antenne d'équipement que nous utilisons ici on a, un gain entre 30 à 49,7dBi. [15]

- Pertes de connecteurs, câbles de Rx :

Les valeurs sont données par les constructeurs selon les connecteurs et les câbles utilisées.

La puissance d'antenne de réception Rx dépend de trois facteurs: *la puissance à transmettre, le gain de l'antenne de transmission et le gain de l'antenne de réception*. Si cette puissance est minimisée par les différentes pertes et est supérieure au seuil du niveau du signal de récepteur, la liaison est possible.

La différence entre le niveau de signal minimal reçu et la puissance reçus est appelé marge de lien.

Ce marge de lien doit être positive et devra être maximal pour avoir une liaison possible.

- Puissance du récepteur Rx, trajet d'espace libre:

On considère la puissance dans l'antenne Rx due à la perte d'espace libre( $P_{\text{ChanFS}}$ ), gain de l'antenne Rx et les pertes dues aux câbles et aux connecteurs(C&C Loss).

$$P_{\text{RFS}} = P_{\text{ChanFS}} G_R (\text{C&C Loss}) \quad (2.54)$$

Puissance du récepteur Rx, trajet de terre plate :

On considère la puissance dans l'antenne Rx due à la perte de terre plate ( $P_{\text{ChanF}}$ ), le gain de l'antenne Rx et la perte due aux câbles et aux connecteurs.

Celui-là est la puissance reçus par le récepteur en considérant toute les pertes.

La valeur -120dBm exprime, la sensibilité du récepteur valeur donné par le constructeur. [11]

### 2.2.2.3 Lien de traçage

On aperçoit une courbe qui nous indique le comportement de niveau puissance de signal tout au long de la transmission au niveau des différents types d'équipements.

### 2.2.2.4 Multi-trajet de Terre

- Hauteur Tx : hauteur d'antenne de transmissions.
- Hauteur Rx : Hauteur d'antenne de réception.
- Distance : C'est la distance entre les deux sites.
- Trajet directe : Si on s'intéresse à la distance de trajet directe, cette relation nous rendre utiles.

$$d_1 = (d^2 + (h_{TX} - h_{RX})^2)^{1/2} \quad (2.55)$$

- Trajet de réflexion : Si on s'intéresse à la distance du trajet de réflexion, cette relations nous rendre utiles. [11]

$$d_2 = (d^2 + (h_{TX} + h_{RX})^2)^{1/2} \quad (2.56)$$

- Pertes due aux rebondissements : La perte due au rebondissement du signal à la terre est donnée par cette relation :

$$L_{GB} = 10 \log_{10} (0.5(1+a^2-2\cos(2\pi\Delta_d/\lambda))) \quad (2.57)$$

Avec :

$a$  est l'amplitude normale de rebondissement

$\Delta_d$  est la différence entre la distance du trajet directe et la distance du trajet de réflexion.

$\lambda$  est la longueur d'onde.

La perte en espace libre et la perte du Terre plate sont toujours les mêmes que dans le Budget de Lien.

Plus l'antenne est longue, plus les pertes sont diminuées. [11]

#### 2.2.2.5 Pertes dues aux câbles

L'atténuation due au câble selon la fréquence utilisé, si on utilise le câbles RG-58C/U, dans 1Ghz de fréquence on a -20dB/100ft d'atténuations.

Or, dB/100ft veut dire : atténuation de valeur en décibel par pied (=foot) et un pied =0,3048m

Alors 100ft = 30,48m.

Donc on a : -20dB/100ft=-0,65616 dB/m

Pour les autres types de câbles :

RG-142B/U perte de -13dB/100ft

RG-174A/U perte de -31dB/100ft

RG-8X perte de -13,5dB/100ft

Le foot est un pied, le pied est une unité de mesure ancienne.

Longueur de câbles : atténuation due à la longueur du câble.

Il y a une perte si la longueur du câble commence à partir de 0,61m.

#### **Obstructions**

Dans cette option on a le privilège de définir les nombres d'obstructions existantes entre les deux sites et de faire la somme des pertes dues aux obstructions. Et les valeurs en décibels d'atténuations dues aux obstructions est données par les listes en bas du logiciel.

### **2.3 Conclusion**

Il est nécessaire de connaître le modèle de propagation, et les différentes méthodes de calcul de pertes avant leurs utilisations, pour pouvoir apporter plus de performance dans la liaison.

Avant d'utiliser « Link Budget Calculator » on est sensé connaître toutes les méthodes de calculs de pertes nécessaires ainsi que leurs avantages selon les types des régions étudiés. La liaison est possible si la puissance reçue est supérieure au seuil du récepteur.

## CHAPITRE 3

### SIMULATIONS ET EVALUATION DE DISPONIBILITE DE LA LIAISON F.H

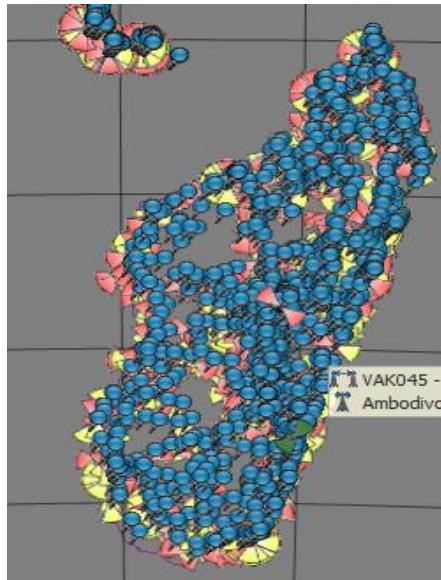
Cette partie de travail est la vérification de nos synthèses des analyses précédentes. On a deux outils de simulations, l'un est celle que TELMA utilise « Mentum Ellipse » et l'autre un autre logiciel de calcul standard de Budget de lien, pour voir l'aspect scientifique du « Mentum Ellipse ».

#### 3.1 Simulation suivant Mentum Ellipse

Le projet de création de Template de Lien de micro-onde de Telma est fait par « Mentum Ellipse ». La fenêtre Map dans l'Ellipse contient les sites (les pylônes) implantés par TELMA, existant dans toute la grande île et même aux Comores. Les liens entre les sites sont établis car c'est le projet actuel de TELMA, lorsqu'on veut créer une liaison, et planter des sites dans des régions n'ayant pas encore de sites, ou dans des régions qui ont besoin d'une optimisation de liaisons.

Les formules de calculs de pertes que les différentes paramètres utilisent dans toutes les options de « Mentum Ellipse » sont tous intégrer (implicite).

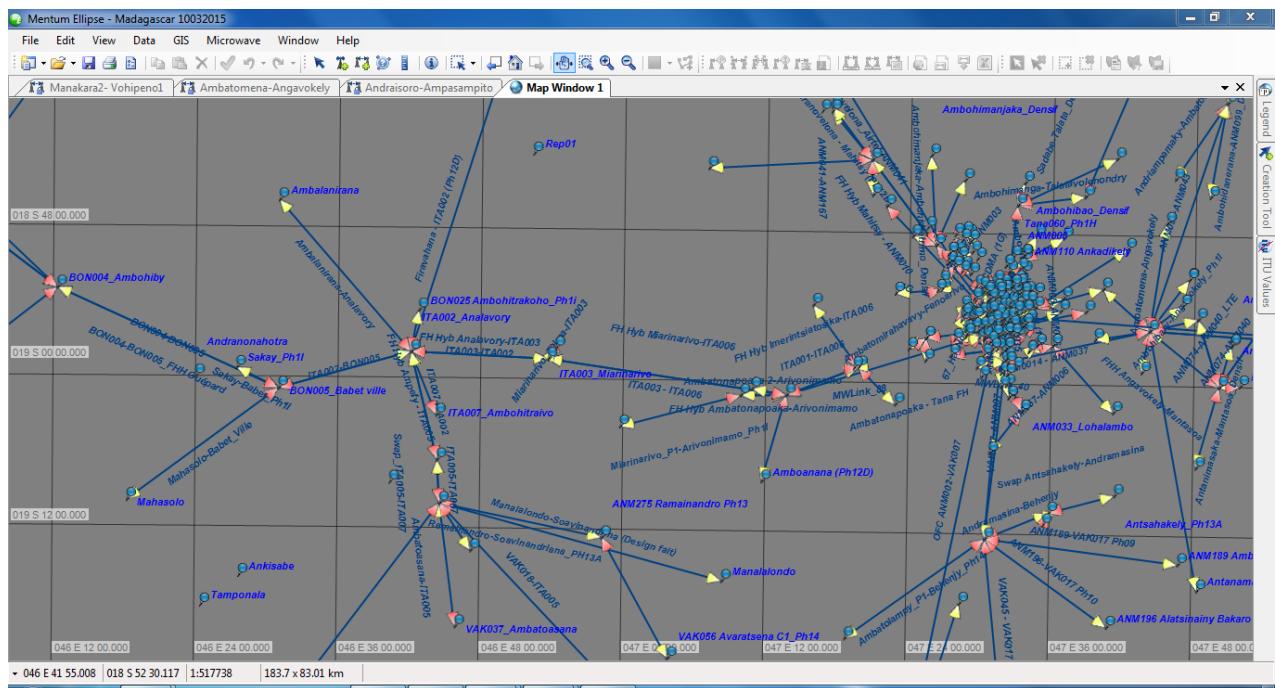
La fenêtre de Map est comme suit:



**Figure 3.01** Les sites implantés par TELMA

Les points qu'on trouve sont les sites existants dans toute la grande île.

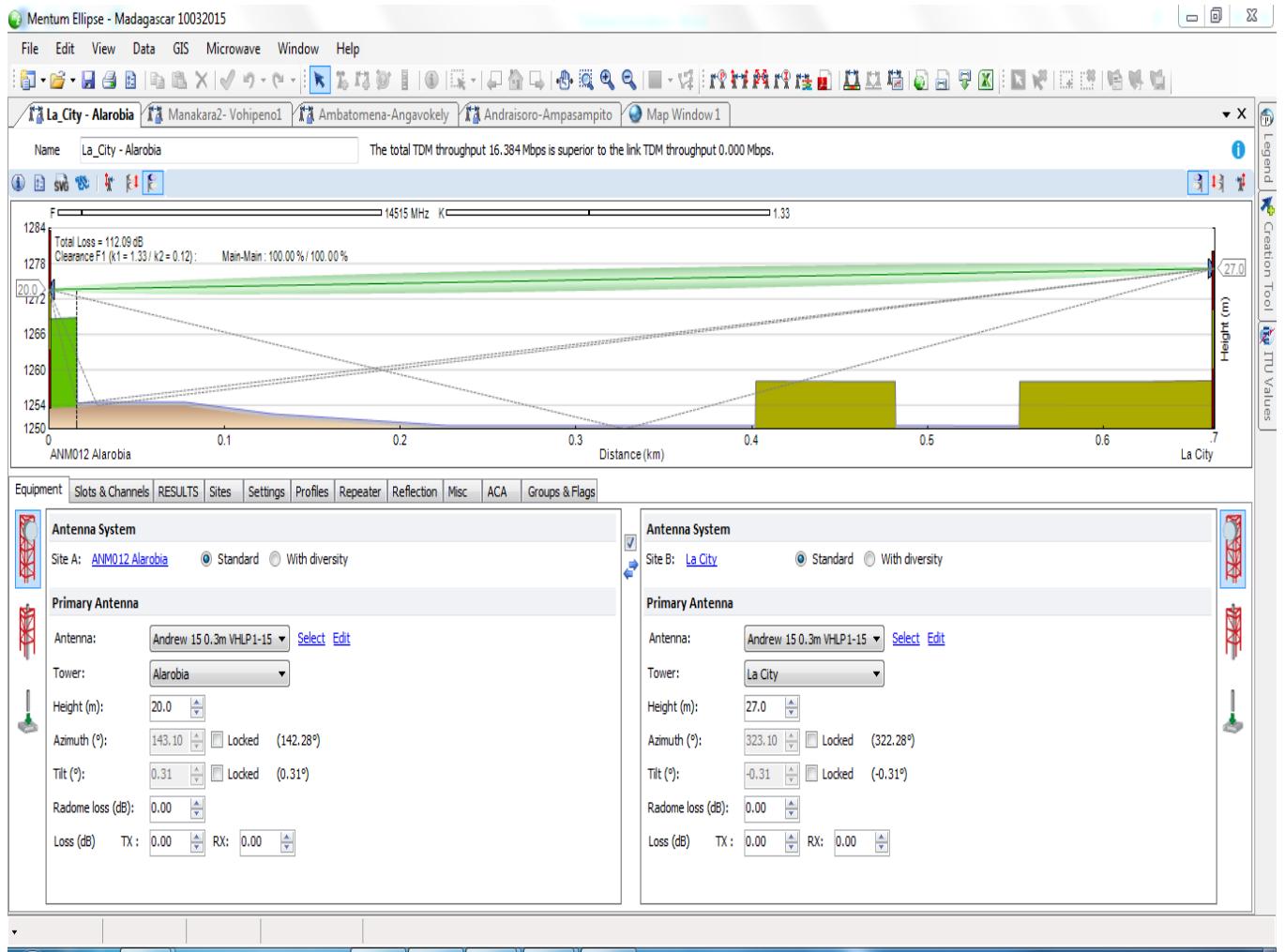
Après un agrandissement, on voit plus prêt les noms des sites selon les quartiers des régions :



**Figure 3.02** Les sites implantés par TELMA d'après la fenêtre Map

La liaison entre les sites se présente comme suit :

Les deux extrémités sont les deux pylônes (sites), qui portent l'antenne d'émetteur et l'antenne de récepteur, les lignes en noirs sont les trajets de l'onde hertzienne, l'ellipsoïde de Fresnel est la ligne plus épais en vert. Les rectangles en jaune sont les obstacles entre les deux sites. On aperçoit quelques paramètres de l'antenne en dessous du comportement de la liaison.



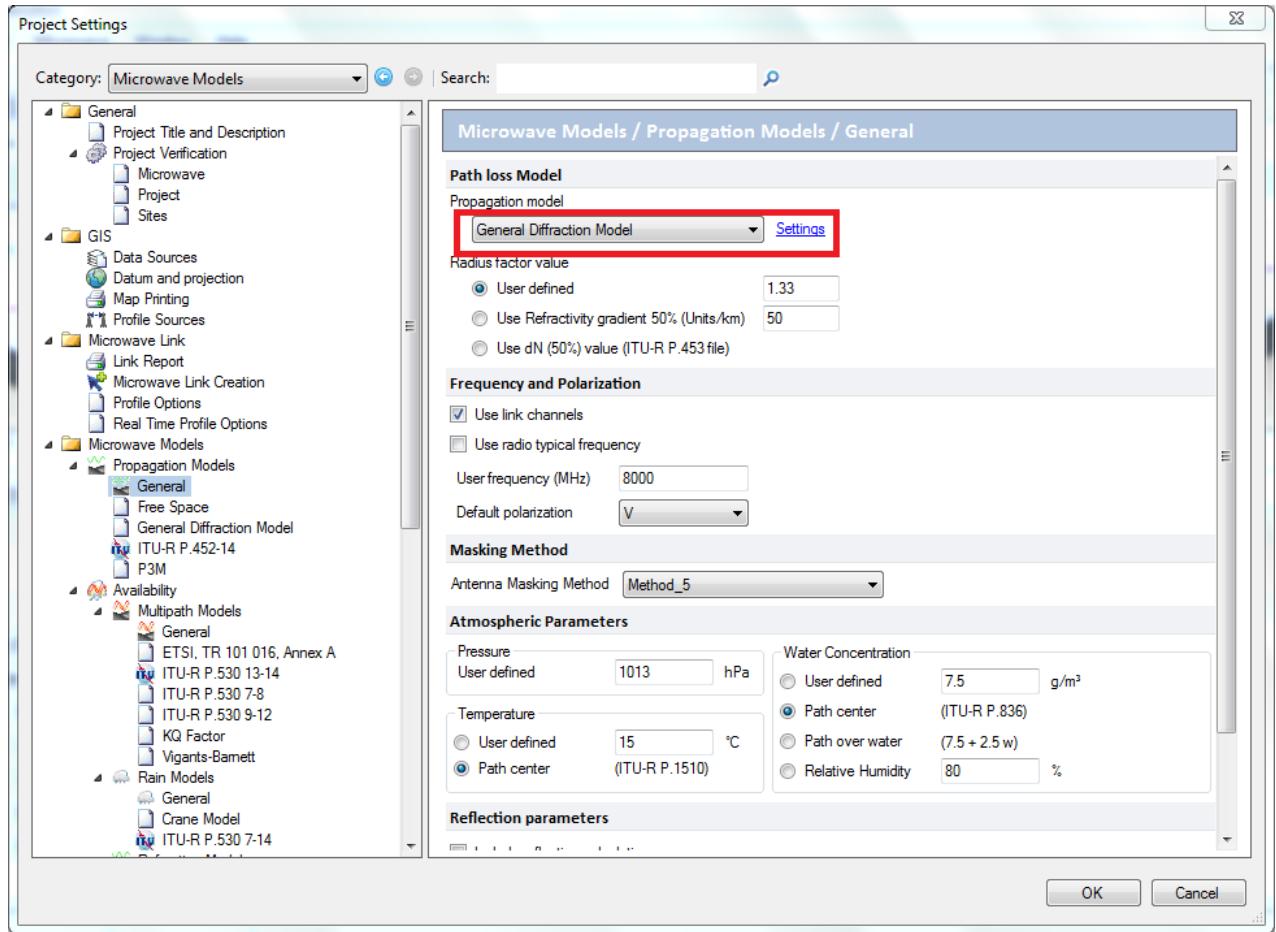
**Figure 3.03** Profil de la liaison

### 3.1.2 Analyse des configurations initiales du réseau FH de Telma

#### 3.1.2.1 Modèle de propagation

Ici le modèle de propagation utilisé est « General Diffraction Model ».

On s'intéresse ici à la modèle de propagation, les autres paramètres affiché sur le schéma sont tous déjà expliquée dans le chapitre II et ils restent les même dans notre analyse d'optimisation pour tous types de régions.

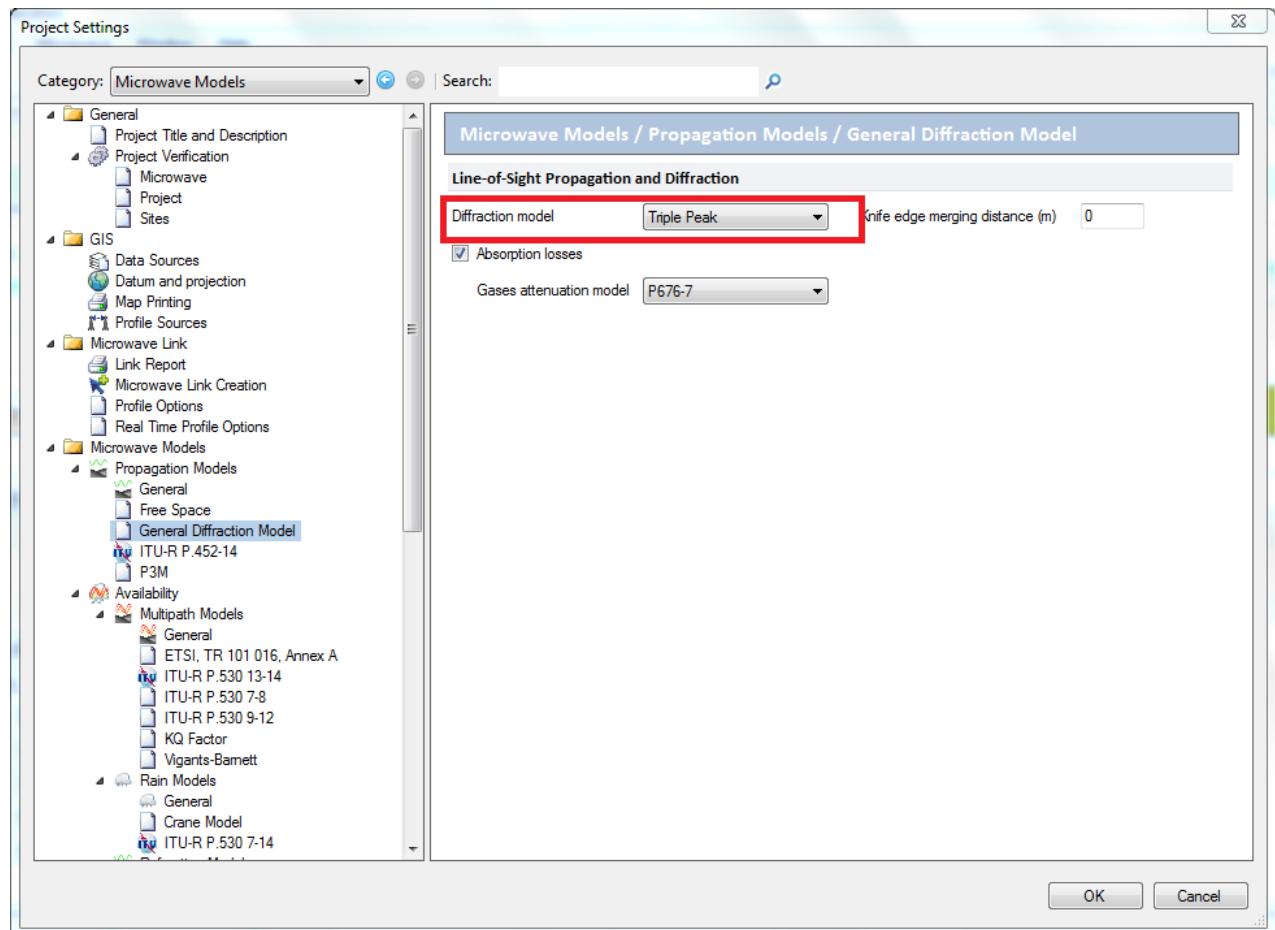


**Figure 3.04** Panneau de modèle de propagation

La configuration sur « Mentum Ellipse » se fait comme suit :

La méthode de calcul pour évaluer la perte due aux diffractions est le model « Triple peak » et la méthode utilisée pour évaluer l'atténuation due de l'atmosphère est le P676-7. [15]

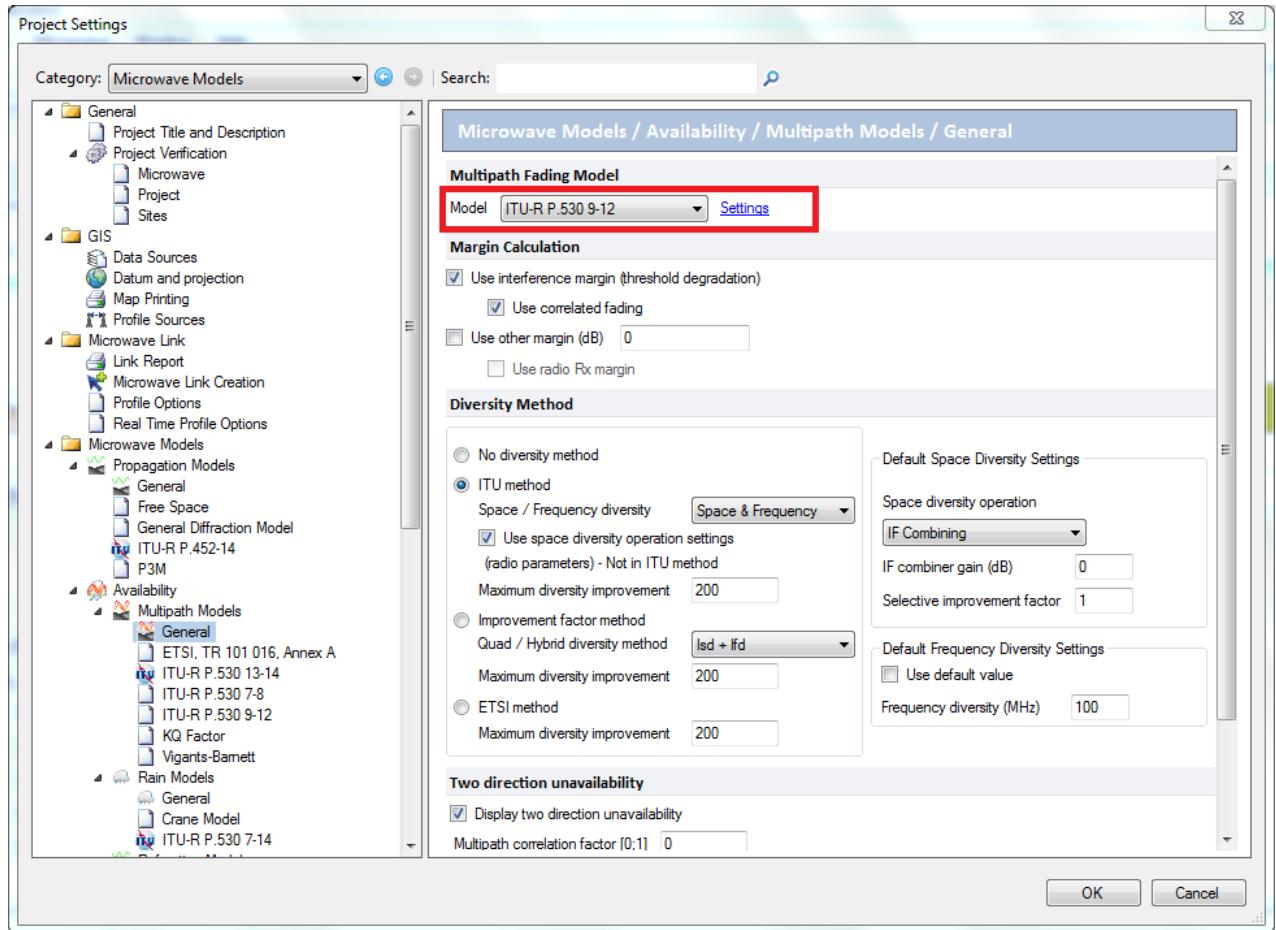
La signification de tous les paramètres est déjà expliquée dans le Chapitre II.



**Figure 3.05** Paramètre interne du modèle de propagation

### 3.1.2.2 Modèle de multi-trajet ou fading

Le modèle de calcul de multi-trajet que TELMA utilise est ITU-R P.530 9-12.



**Figure 3.06** : Modèle de multi-trajet ou fading

### 3.1.2.3 Résultats de disponibilité

#### a. Pour une région Urbaine

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Andraisoro-Ampasampito. Le temps d'indisponibilité est divisé selon les types de phénomènes comme l'indisponibilité due à la précipitation, au multi-trajet et à la réfraction. On peut déduire de ces différents phénomènes le temps d'indisponibilité de cette liaison.

Toutefois ce qui nous intéresse le plus est la totalité de la disponibilité de la liaison faisceau hertzienne.

## Andraisoro-Ampasampito Availability

### Channel - 15Ghz\_D\_19\_V (Slot No1)

Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month
<b>BER 10-3</b>							
ML15_2 2x2 HP_0*	A: 25 B: 25	B: -92 A: -92	B: -75,54 A: -75,91	AB: 4,354E-003 / 2,516E-002 BA: 5,259E-003 / 2,965E-002 2W: 5,259E-003 / 2,965E-002	AB: 2,766E-009 / 1,022E-007 BA: 3,167E-009 / 1,149E-007 2W: 5,933E-009 / 2,171E-007	AB: 1,705E-009 / 2,046E-008 BA: 1,709E-009 / 2,050E-008 2W: 1,709E-009 / 2,050E-008	AB: 4,354E-003 / 2,516E-002 BA: 5,259E-003 / 2,965E-002 2W: 5,259E-003 / 2,965E-002
<b>BER 10-6</b>							
ML15_2 2x2 HP_0*	A: 25 B: 25	B: -88 A: -88	B: -75,54 A: -75,91	AB: 9,484E-003 / 4,953E-002 BA: 1,152E-002 / 5,865E-002 2W: 1,152E-002 / 5,865E-002	AB: 7,974E-009 / 2,566E-007 BA: 9,129E-009 / 2,887E-007 2W: 1,710E-008 / 5,453E-007	AB: 1,739E-009 / 2,086E-008 BA: 1,742E-009 / 2,091E-008 2W: 1,742E-009 / 2,091E-008	AB: 9,484E-003 / 4,953E-002 BA: 1,152E-002 / 5,865E-002 2W: 1,152E-002 / 5,865E-002

**Figure 3.07** : Tableau de résultat de disponibilité de région urbaine

Après avoir agrandit le tableau 3.07, on a :

% Time Annual / Worst Month
AB: 99,99564607 / 99,97484216 BA: 99,99474117 / 99,97035029

**Figure 3.08** : Temps de disponibilité

D'après la figure 3.08, le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre Andraisoro et Ampasampito, pendant une année est de 99,99564607%.

Pour traduire ce pourcentage en termes de disponibilité, on procède comme suit : Si 100% valent 365 Jours, alors 99,99564607% équivaut à 364,9841081555 Jours, plus clairement 8759,618595732Heures.

Dans ce cas cette liaison est valable pendant 8759Heures 37mn 6,95s.

#### b. Pour une région Suburbaine

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Ambatomena –Angavokely.

## Ambatomena-Angavokely Availability

Channel - UserValue\_V (Slot No1)

Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month
<b>BER 10-3</b>							
ML 7_1 2x2 HP_0*	A: 28 B: 28	B: -93 A: -93	B: -44,81 A: -44,81	AB: 1,574E-004 / 1,401E-003 BA: 1,574E-004 / 1,401E-003 2W: 1,574E-004 / 1,401E-003	AB: 8,327E-010 / 3,595E-008 BA: 8,327E-010 / 3,595E-008 2W: 1,665E-009 / 7,190E-008	AB: 1,083E-008 / 1,300E-007 BA: 1,083E-008 / 1,300E-007 2W: 1,083E-008 / 1,300E-007	AB: 1,575E-004 / 1,401E BA: 1,575E-004 / 1,401E 2W: 1,575E-004 / 1,401E
<b>BER 10-6</b>							
ML 7_1 2x2 HP_0*	A: 28 B: 28	B: -89 A: -89	B: -44,81 A: -44,81	AB: 2,310E-004 / 1,955E-003 BA: 2,310E-004 / 1,955E-003 2W: 2,310E-004 / 1,955E-003	AB: 2,054E-009 / 7,884E-008 BA: 2,054E-009 / 7,884E-008 2W: 4,108E-009 / 1,577E-007	AB: 1,197E-008 / 1,436E-007 BA: 1,197E-008 / 1,436E-007 2W: 1,197E-008 / 1,436E-007	AB: 2,310E-004 / 1,955E BA: 2,310E-004 / 1,955E 2W: 2,310E-004 / 1,955E

**Figure 3.09** : Tableau de résultat de disponibilité de région urbain

Après avoir agrandit le tableau 3.09, on a :

% Time Annual / Worst Month
AB: 99,99984255 / 99,99859915 BA: 99,99984255 / 99,99859915

**Figure 3.10** : Temps de disponibilité

Le pourcentage de disponibilité de la liaison entre Ambatomena et Ankavokely, pendant une année est de 99,99984255%. Pour traduire ce pourcentage en termes de disponibilité, on procède comme suit : Si 100% valent 365Jours, alors 99,99984255%, équivaut à 364,9994253075Jours, plus clairement 8759,98620738Heure.

Alors cette liaison est valable pendant 8759Heure 59mn 10,35s.

c. Sur une région rurale et sur les Lacs et les mers

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Manakara2-Vohipeno.

Manakara2- Vohipeno1 Availability							
Channel - SLT 7.4-7.7_28MHz(28.0)_0_1_H (Slot №1)							
Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month
<b>BER 10-3</b>							
S-LINK_T_7_8GHz_0*	A: 29 B: 29	B: -70 A: -70	B: -32,34 A: -32,53	AB: 9,089E-004 / 6,438E-003 BA: 1,133E-003 / 7,800E-003 2W: 1,133E-003 / 7,800E-003	AB: 3,324E-004 / 2,683E-003 BA: 3,411E-004 / 2,744E-003 2W: 6,734E-004 / 5,427E-003	AB: 1,091E-005 / 1,309E-004 BA: 1,191E-005 / 1,429E-004 2W: 1,191E-005 / 1,429E-004	AB: 1,252E-003 / 9,252 BA: 1,486E-003 / 1,069 2W: 1,819E-003 / 1,337
<b>BER 10-6</b>							
S-LINK_T_7_8GHz_0*	A: 29 B: 29	B: -69 A: -69	B: -32,34 A: -32,53	AB: 9,985E-004 / 6,987E-003 BA: 1,242E-003 / 8,449E-003 2W: 1,242E-003 / 8,449E-003	AB: 3,628E-004 / 2,896E-003 BA: 3,733E-004 / 2,968E-003 2W: 7,361E-004 / 5,864E-003	AB: 1,441E-005 / 1,729E-004 BA: 1,541E-005 / 1,850E-004 2W: 1,541E-005 / 1,850E-004	AB: 1,376E-003 / 1,006 BA: 1,631E-003 / 1,160 2W: 1,994E-003 / 1,450

**Figure 3.11** : Tableau de résultat de disponibilité de région Suburbaine

Après avoir agrandit le tableau 3.11, on a :

% Time Annual / Worst Month
AB: 99,99874784 / 99,99074794
BA: 99,99851384 / 99,98931304

**Figure 3.12** : Temps de disponibilité

Le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre Manakara2 et Vohipeno pendant une année est 99,99874784%. Si 100% valent 365Jours, alors 99,99874784% équivaut à 364,995429616 Jours, plus clairement 8759,890310784Heure.

Alors cette liaison est valable pendant 8759H 53mn 25,12s.

La disponibilité de leur conception de liaison est déjà considérable, presque pendant toute l'année. Néanmoins son optimisation reste d'actualité à cause des phénomènes imprévisibles comme les phénomènes de guidage et atténuations dues aux hydrométéores, ainsi que les infrastructures de l'homme qui détériore la qualité de la liaison.

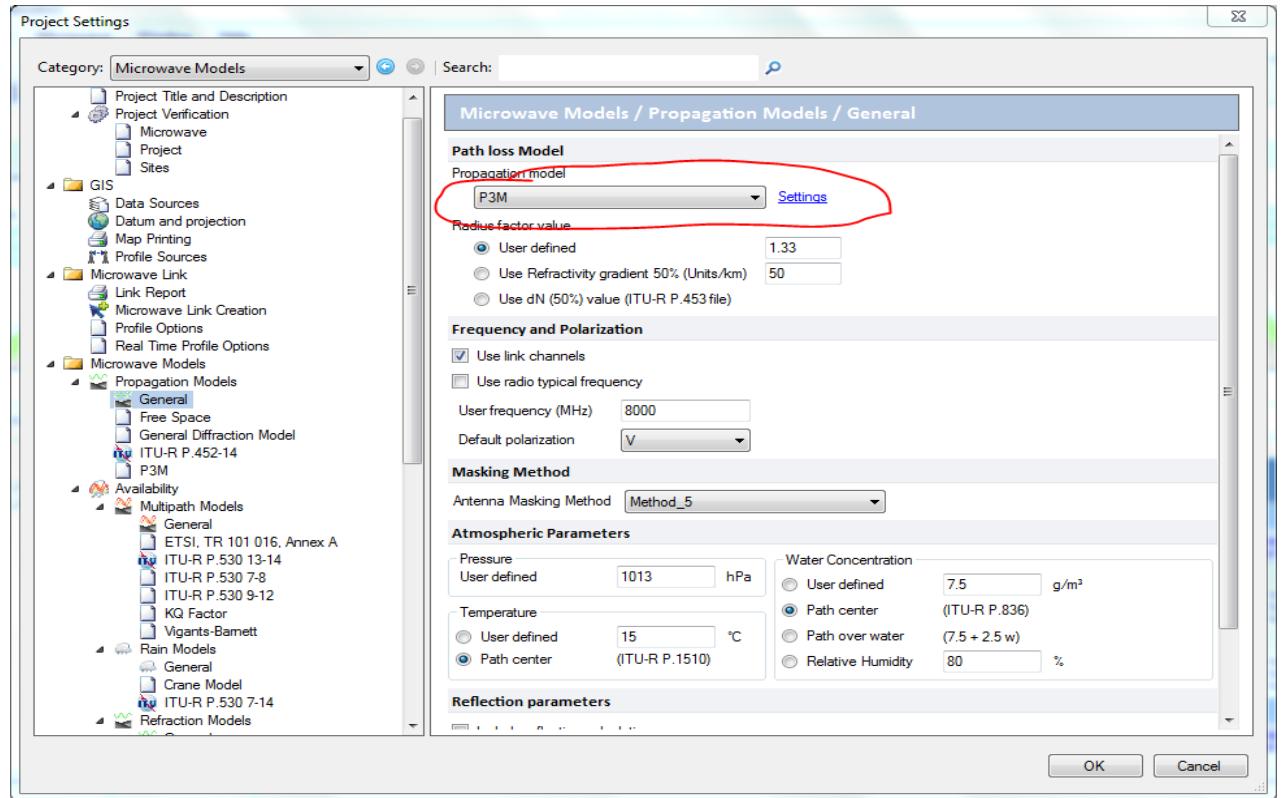
### 3.1.3 Configurations apportées d'optimisation et évaluation des résultats de disponibilité

On se propose de changer la conception de la liaison selon le type de région étudiée.

### 3.1.3.1 Pour une région Urbaine

- Modèle de propagation :

On utilise le modèle de propagation « P3M » car ce modèle a pour avantage de prendre en compte les pertes due à la pénétration des bâtiments et ainsi que des pertes d'encombrement. Ces deux pertes ne sont pas prisent en compte par les autres modèles de propagation.

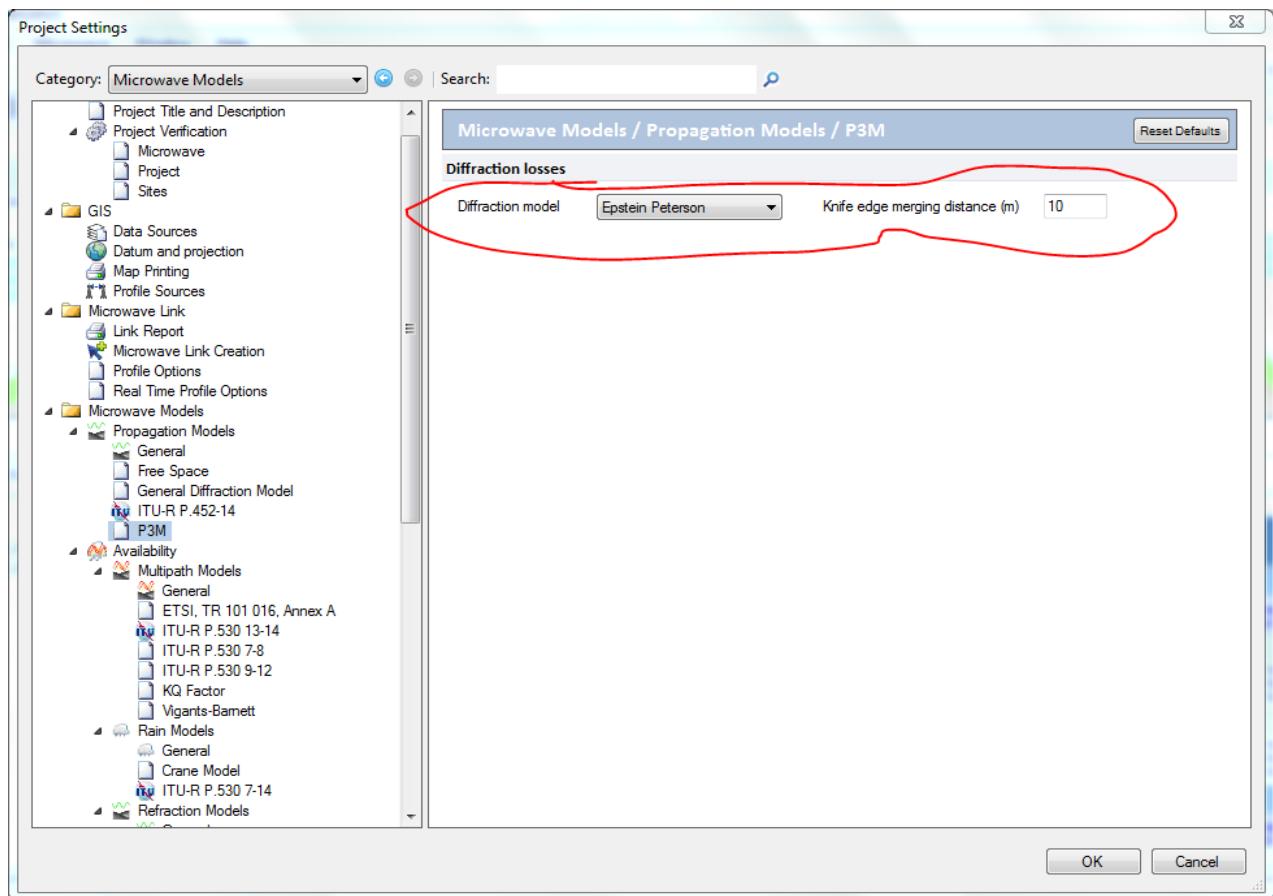


**Figure 3.13** : Modèle de propagation P3M

- Configuration interne du modèle de propagation « P3M »

La méthode de calcul pour évaluer la perte due aux diffractions est le model « Epstein-Peterson », car cette méthode est très sévère car il ne laisse jamais un seul bord en marge, il considère tous les bords ce qui entraîne le calcul de toutes les pertes dues aux diffractions sur le trajet, Pour éviter l'erreur due aux bords très étroitement large il faut que la marge du mélange de couteau « knife-edge merging distance » doits contenir des valeurs bien définies. Le rôle de celui-ci est de mélanger ou de fusionner la distance du bord du couteau pour connaitre la distance de chaque bord, c'est comme une limite de longueur de bord car l'activation de cette paramètre exclus les bords étroitement large.

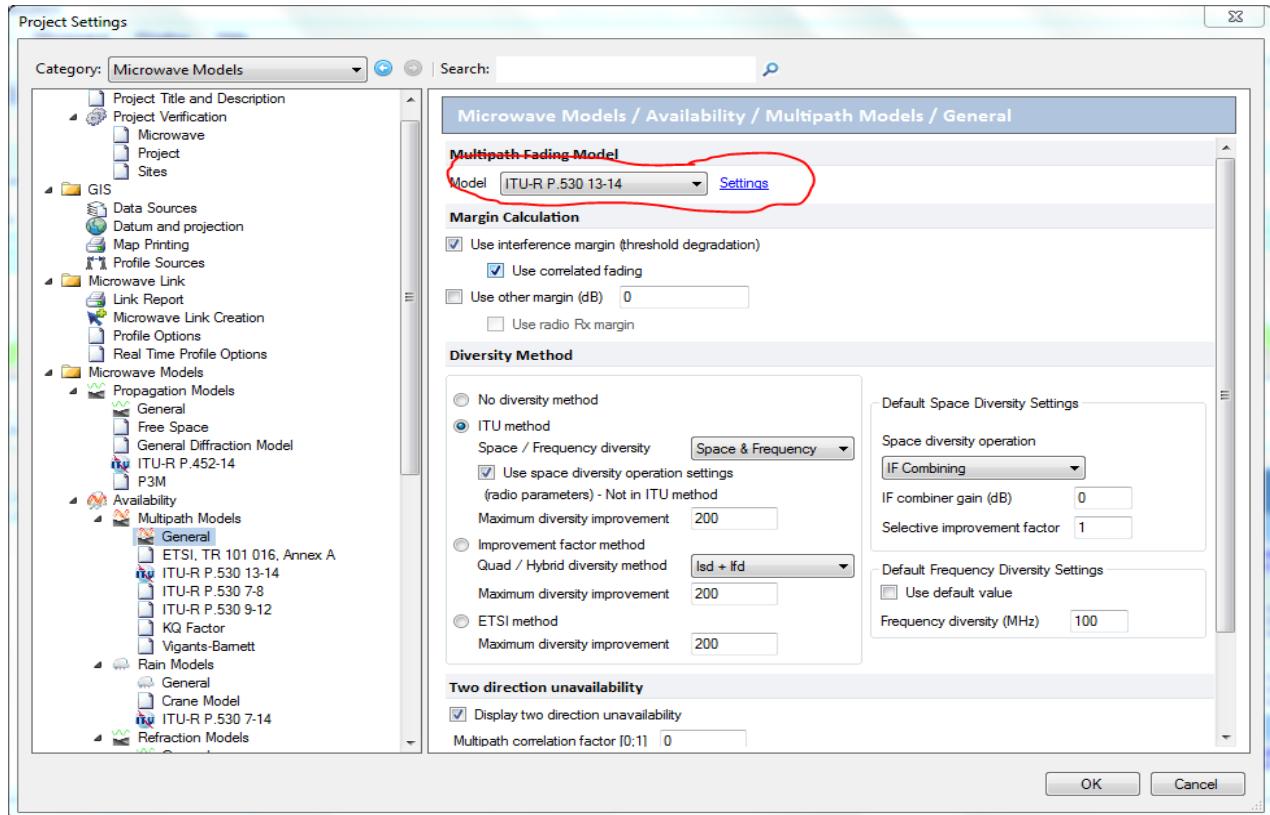
La signification de toutes les autres paramètres sont déjà expliquées dans le Chapitre II.



**Figure 3.14** : Paramètre interne de modèle P3M

- Configuration du modèle multi-trajet ou fading

Le modèle de calcul de multi-trajet que j'utilise est ITU-R P.530 13-14, car cette méthode de calcul d'indisponibilité causée par le trajet-multiple suit la recommandation de l'ITU considérée plus de défaillance du trajet multiple que l'ITU P530 7-8 et l'ITU P530 9-12.



**Figure 3.15** : Schéma de modèle de multi-trajet

#### Résultat de disponibilité:

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Andraisoro-Ampasampito.

Andraisoro-Ampasampito Availability							
Channel - 15Ghz_D_19_V (Slot No1)							
Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month
<b>BER 10-3</b>							
ML15_2 2x2 HP_0*	A: 25 B: 25	B: -92 A: -92	B: -75,52 A: -75,64	AB: 4,342E-003 / 2,510E-002 BA: 5,015E-003 / 2,845E-002 2W: 5,015E-003 / 2,845E-002	AB: 3,371E-009 / 1,213E-007 BA: 3,706E-009 / 1,318E-007 2W: 7,077E-009 / 2,531E-007	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 4,342E-003 / 2,510E-002 BA: 5,015E-003 / 2,845E-002 2W: 5,015E-003 / 2,845E-002
<b>BER 10-6</b>							
ML15_2 2x2 HP_0*	A: 25 B: 25	B: -88 A: -88	B: -75,52 A: -75,64	AB: 9,452E-003 / 4,938E-002 BA: 1,087E-002 / 5,575E-002 2W: 1,087E-002 / 5,575E-002	AB: 4,503E-008 / 1,157E-006 BA: 5,080E-008 / 1,285E-006 2W: 9,583E-008 / 2,442E-006	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 9,452E-003 / 4,938E-002 BA: 1,087E-002 / 5,576E-002 2W: 1,087E-002 / 5,576E-002

**Figure 3.16** : Tableau de résultat de disponibilité de région urbaine

Après avoir agrandit le tableau 3.16, on a :

% Time Annual / Worst Month
AB: 99,99565813 / 99,97490279 BA: 99,99498485 / 99,97154925

**Figure 3.17** : Temps de disponibilité

Le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre Andraisoro et Ampasampito, pendant une année est de 99,99565813%. Si 100% valent 365 Jours, alors 99,99565813% équivaut à 364,9841521745 Jours, plus clairement 8759,619652188 Heures.

Alors cette liaison est valable pendant 8759 Heures 37mn 10,75s.

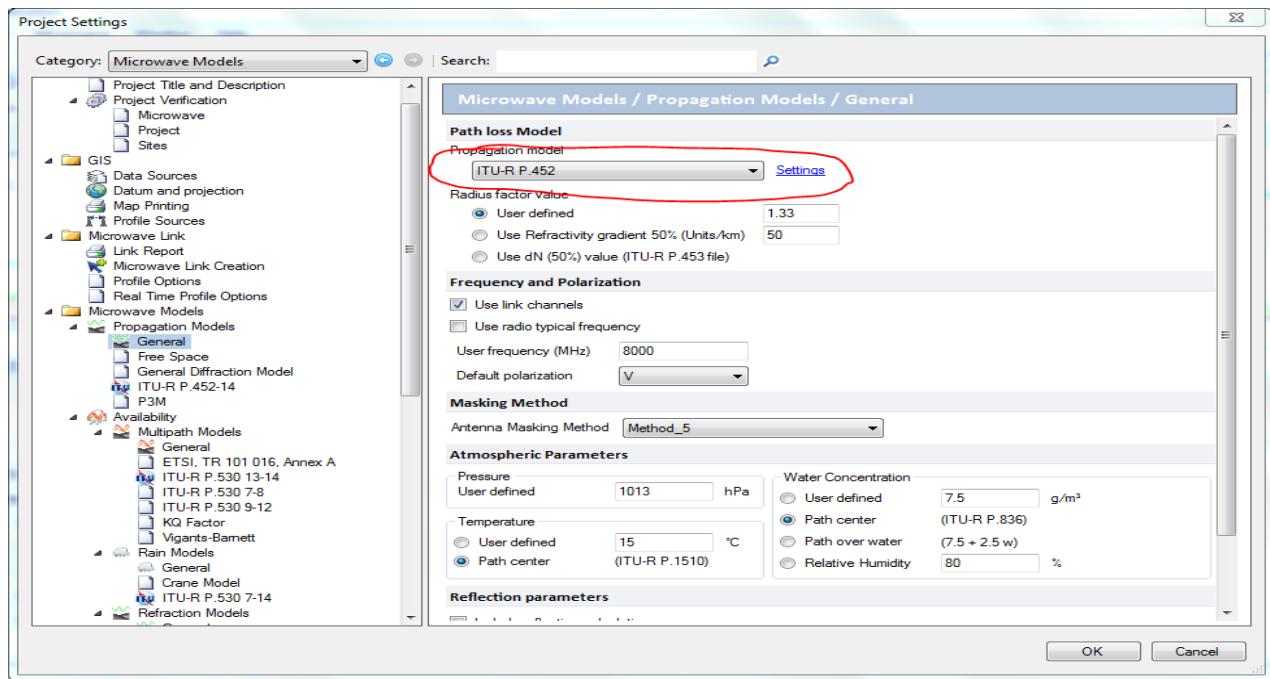
Donc, il y a une augmentation de temps de disponibilité de la liaison de **3,8s** de plus, pour les régions urbaines.

Cette augmentation de temps de disponibilité de liaison pour les régions urbaines est la valeur moyenne générale de tous les sites de la région urbaine.

### 3.1.3.2 Pour une région Suburbaine

- Modèle de propagation

On utilise le modèle de propagation « ITU-R P.452-14 » car on a le privilège de paramétrier plusieurs option selon les phénomènes existant entre les sites c'est-à-dire considération spécifique selon la liaison.



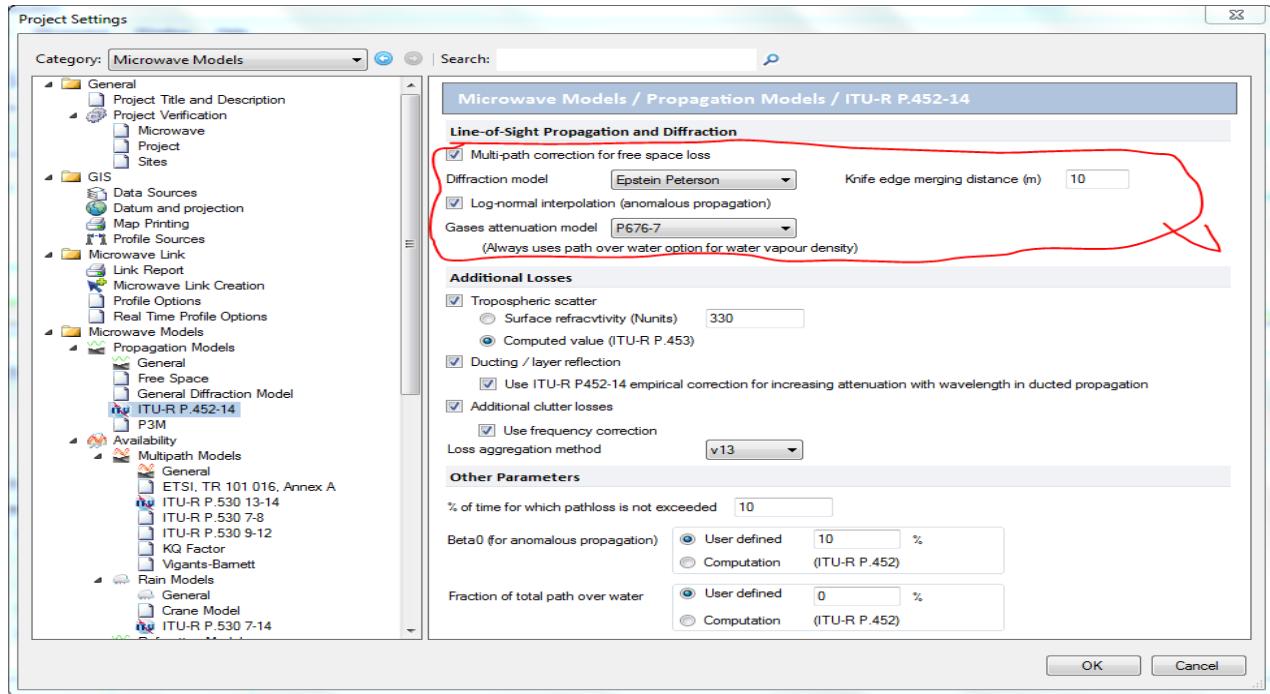
**Figure 3.18** : Schéma de modèle de propagation d'une région Suburbaine

- Configuration interne du modèle de propagation « ITU-R P.452-14»

La méthode de calcul pour évaluer la perte due aux diffractions est le model « Epstein-Peterson », car cette méthode est très sévère car il ne laisse jamais un seul bord en marge, il considère tous les bords ce qui entraîne le calcul de toutes les pertes dues aux diffractions sur le trajet, Pour éviter l'erreur due aux bords très étroitement large il faut que la marge du mélange de couteau « *knife-edge merging distance* » doits contenir des valeurs bien définies.

Le rôle de celui-ci est de mélanger ou de fusionner la distance du bord du couteau pour connaître la distance de chaque bord, c'est comme une limite de longueur de bord car l'activation de cette paramètre exclus les bords étroitement large et la méthode utilisée pour évaluer l'atténuation due aux gaz de l'atmosphère est le P676-7 car Toujours focalisant aux détections de plusieurs pertes les méthodes d'atténuations dues aux gaz le plus convainquant est selon la recommandation ITU-R P.676-7 .Cette méthode comprend des formules de mises à jour comportant six plages de fréquences. Alors, il distingue les fréquences utilisées correspondant aux six plages de fréquence distingué dans la chapitre II, à partir de cela qu'il évalue l'atténuation causé par le gaz. La valeur d'atténuations est proche de sa valeur réelle.

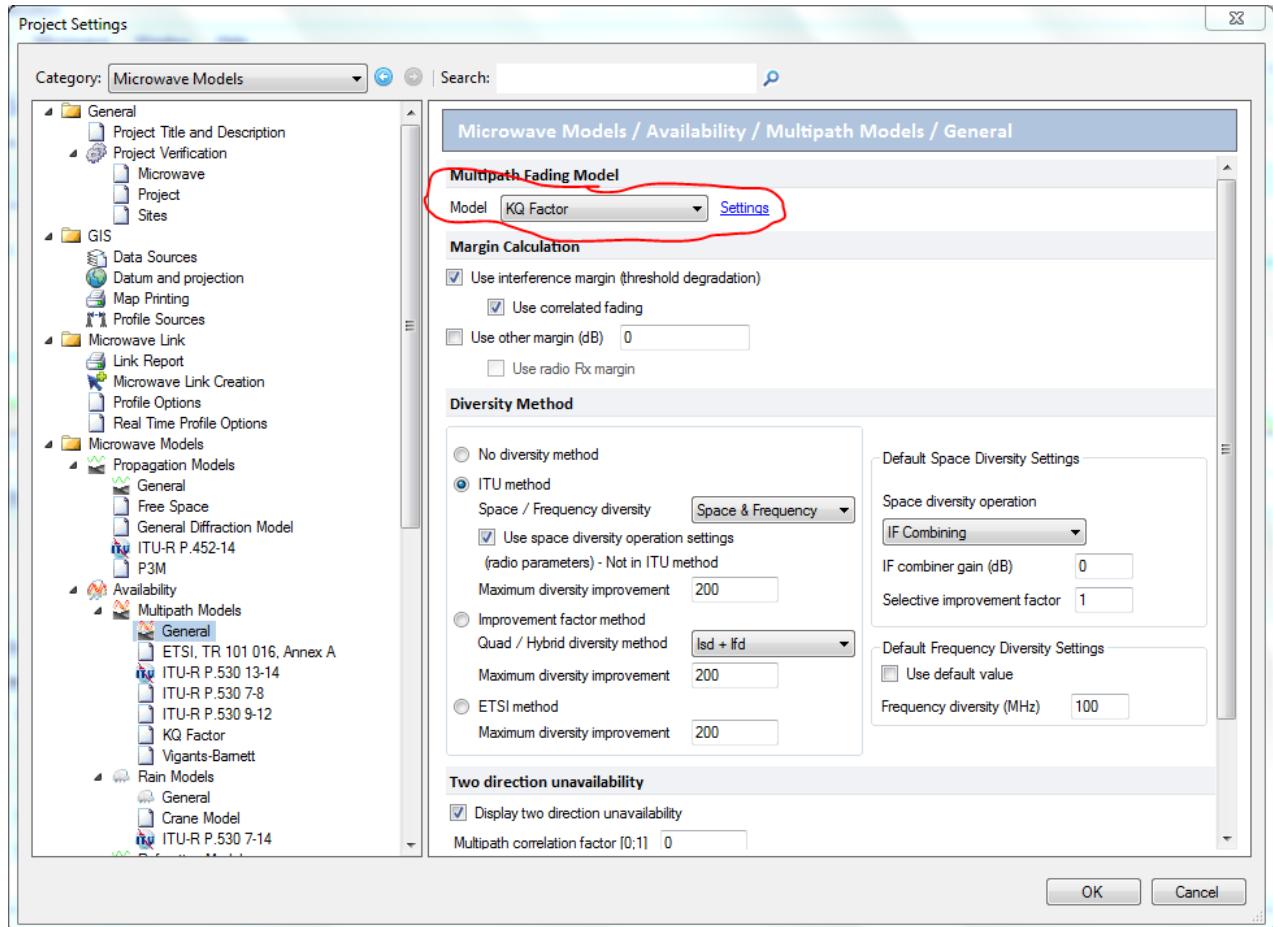
La signification de toutes les paramètres sont déjà expliquer dans le Chapitre II.



**Figure 3.19** : Schéma de paramètre interne de modèle de ITU-R P.452-14

- Modèle de multi-trajet ou fading

Le calcul de la probabilité d'indisponibilité causé par le phénomène de trajet multiple que j'utilise est « K.Q. Factor » car il considère l'effet régional comme la dureté du terrain, etc , et le formule change selon le paramètre prise en compte.



**Figure 3.20** : Schéma de modèle de multi-trajet

Le résultat de disponibilité est comme suit :

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Ambatomena-Ankavokely.

Ambatomena-Angavokely Availability							
Channel - UserValue_V (Slot No1)							
Schema	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month
<b>BER 10-3</b>							
ML_1 2x2 HP_0*	A: 28 B: 28	B: -93 A: -93	B: -43,36 A: -43,36	AB: 1,372E-004 / 1,243E-003 BA: 1,372E-004 / 1,243E-003 2W: 1,372E-004 / 1,243E-003	AB: 1,108E-009 / 4,608E-008 BA: 1,108E-009 / 4,608E-008 2W: 2,216E-009 / 9,217E-008	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 1,372E-004 / 1,243E-003 BA: 1,372E-004 / 1,243E-003 2W: 1,372E-004 / 1,243E-003
<b>BER 10-6</b>							
ML_1 2x2 HP_0*	A: 28 B: 28	B: -89 A: -89	B: -43,36 A: -43,36	AB: 2,007E-004 / 1,730E-003 BA: 2,007E-004 / 1,730E-003 2W: 2,007E-004 / 1,730E-003	AB: 3,193E-009 / 1,158E-007 BA: 3,193E-009 / 1,158E-007 2W: 6,387E-009 / 2,315E-007	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 2,007E-004 / 1,730E-003 BA: 2,007E-004 / 1,730E-003 2W: 2,007E-004 / 1,730E-003

**Figure 3.21** : Tableau de résultat de disponibilité d'une région suburbaine

Après avoir agrandit le tableau 3.21, on a :

% Time Annual / Worst Month	
AB: 99,99986278 / 99,9987572	
BA: 99,99986278 / 99,9987572	

**Figure 3.22** : Temps de disponibilité

Le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre Ambatomena et Ankavokely, pendant une année est de 99,99986278% .Si 100% valent 365Jours, alors 99,99986278% valent 364,999499147 Jours, plus clairement 8759,987979528 Heure.

Alors cette liaison est valable pendant 8759Heure 59mn 16,73s.

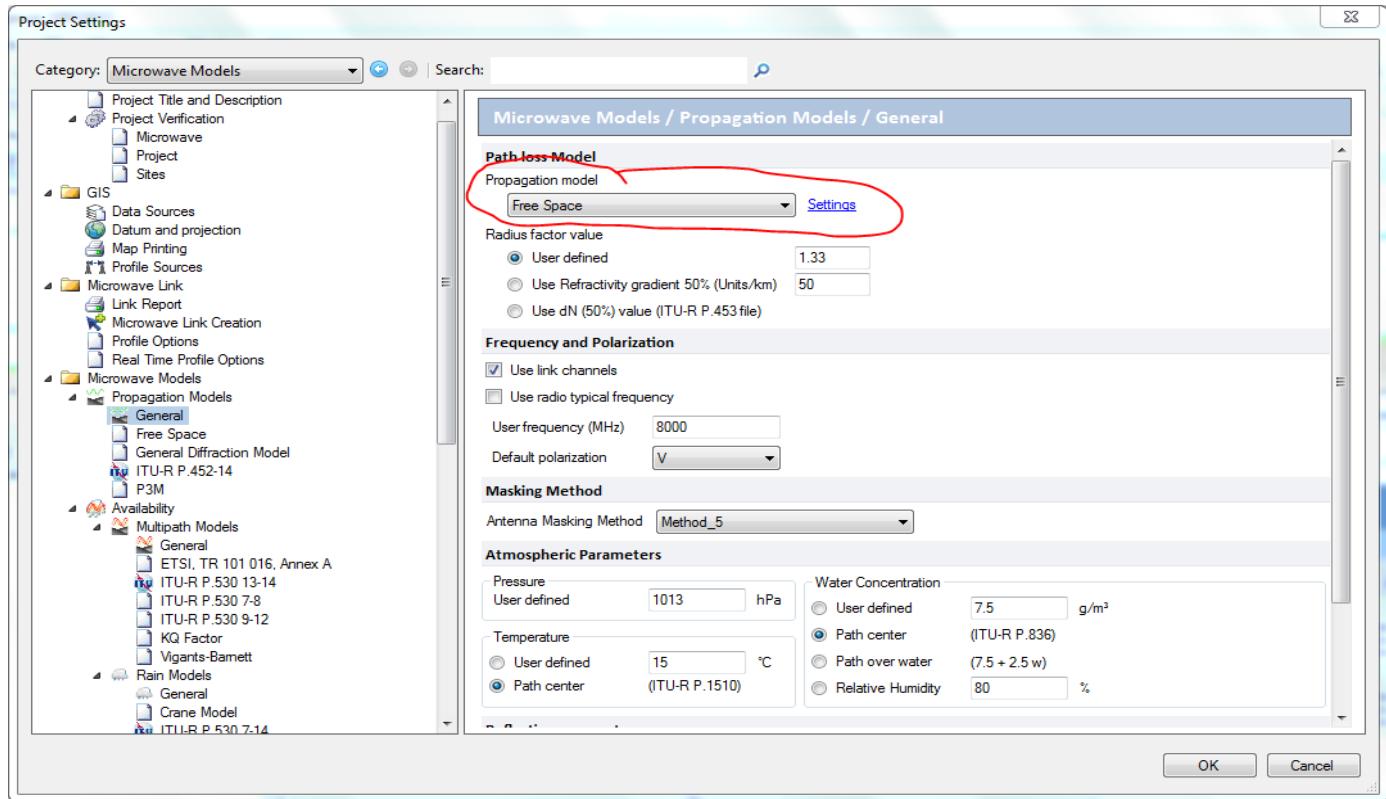
Donc, il y une augmentation de temps de disponibilité de la liaison de **6,38s** de plus, pour les régions Suburbaines.

Cette augmentation de temps de disponibilité de liaison pour les régions suburbaines est la valeur moyenne générale de tous les sites de la région suburbaine.

### 3.1.3.3 Sur une région rurale et pour les liaisons traversant les Lacs et les mers

#### - Modèle de propagation

On utilise le modèle de propagation « free-space » car le modèle de propagation de l'espace libre est le modèle le plus basique disponible car il ne tient pas compte du terrain. On devra l'utiliser lorsque le lien est en ligne de vue, lorsque la première zone de Fresnel est complètement dégagée (c'est-à-dire sans Obstruction) et lorsqu'il n'est pas nécessaire de tenir compte d'autres phénomènes de propagation (par exemple, réflexions / conduits / etc.).

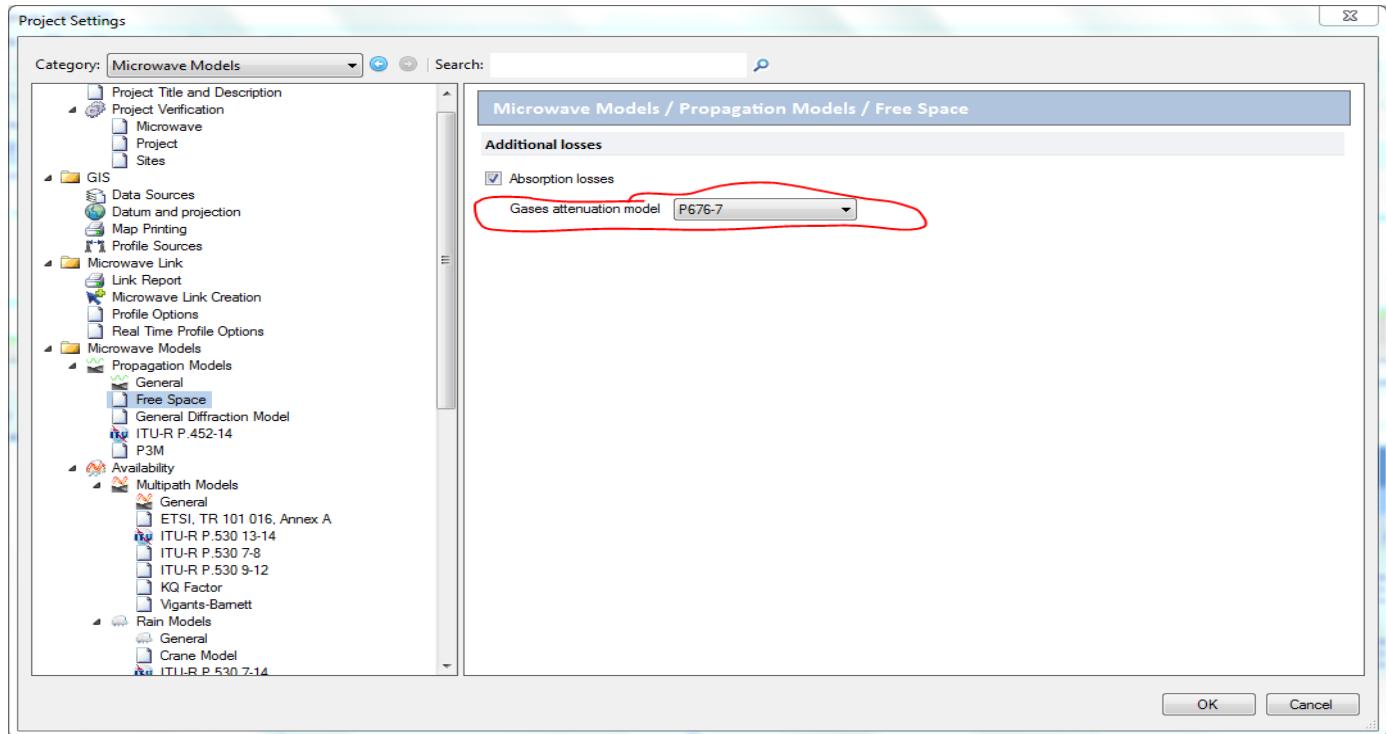


**Figure 3.23** : Schéma de modèle de propagation d'une région rurale

- Configuration interne du modèle de propagation « free-space »

La méthode utilisée pour évaluer l'atténuation due aux de l'atmosphère est le P676-7 car toujours focalisant aux détections de plusieurs pertes les méthodes d'atténuations dues aux gaz le plus convainquant est selon la recommandation ITU-R P.676-7 .Cette méthode comprend des formules de mises à jour comportant six plages de fréquences. Alors, il distingue les fréquences utilisées correspondant aux six plages de fréquence distingué dans la chapitre II, à partir de cela qu'il évalue l'atténuation causé par le gaz. La valeur d'atténuations est proche de sa valeur réelle.

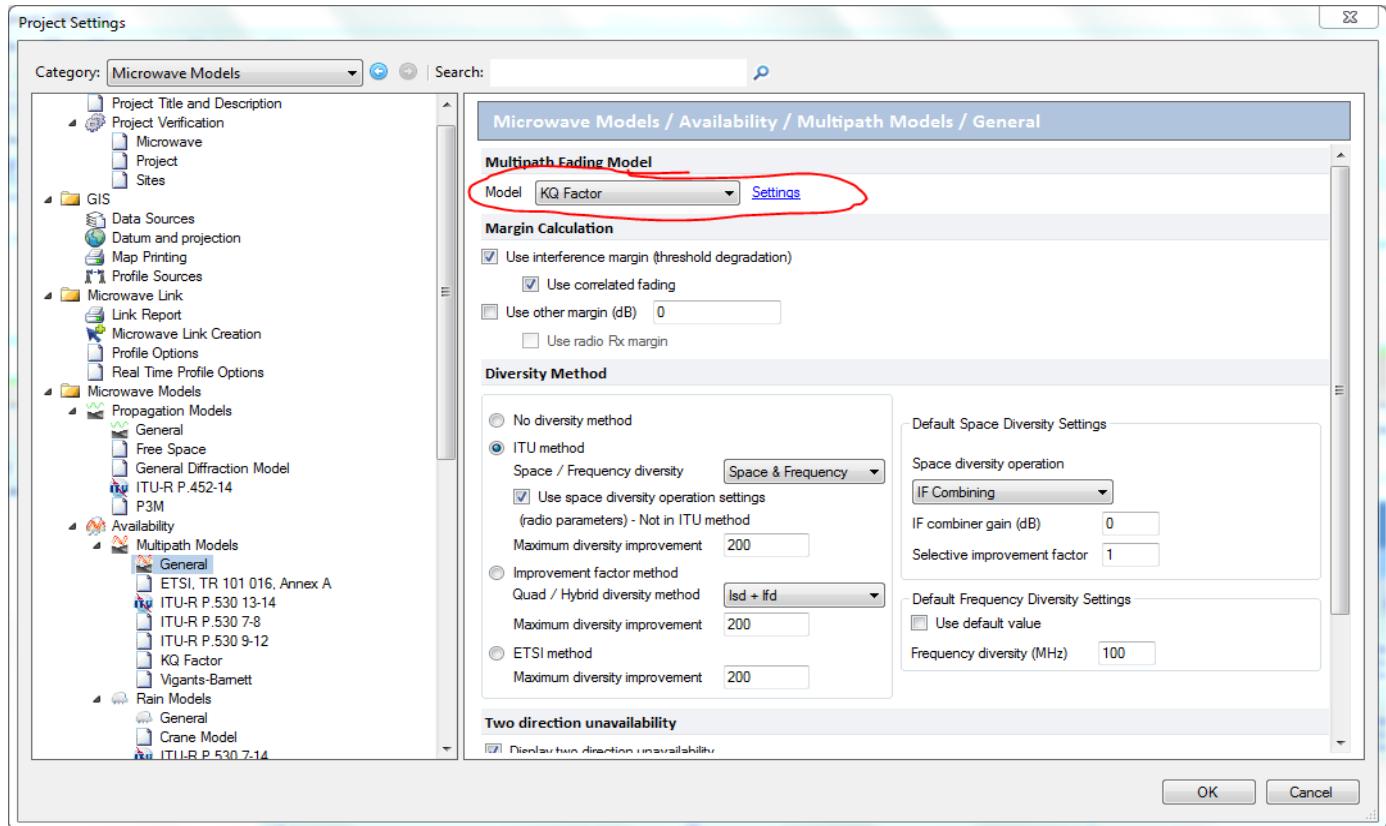
La signification de toutes les paramètres sont déjà expliquer dans le Chapitre II.



**Figure 3.24** : Schéma de paramètre interne de modèle de « free-space »

- Modèle de multi-trajet ou fading

Le calcul de la probabilité d'indisponibilité causé par le phénomène de trajet multiple qu'on utilise est « K.Q. Factor » car il considère l'effet régional comme la dureté du terrain, et le formule change selon le paramètre prise en compte.



**Figure 3.25** : Schéma de modèle de multi-trajet d'une région rurale

- Résultat de disponibilité est comme suit :

Ce tableau résume le résultat de disponibilité de la liaison entre Manakara2-Vohipeno.

Manakara2- Vohipeno1 Availability								
Channel - SLT 7.4-7.7_28MHz(28.0)_0_1_H (Slot No1)								
Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Unav. %) Annual / Worst Month	Multipath (Unav. %) Annual / Worst Month	Refraction (Unav. %) Annual / Worst Month	Total (Unav. %) Annual / Worst Month	
<b>BER 10-3</b>								
S-LINK_T_7_8GHz_0*	A: 29 B: 29	B: -70 A: -70	B: -32,34 A: -32,52	AB: 9,089E-004 / 6,438E-003 BA: 1,133E-003 / 7,796E-003 2W: 1,133E-003 / 7,796E-003	AB: 7,535E-007 / 1,343E-005 BA: 8,083E-007 / 1,427E-005 2W: 1,562E-006 / 2,770E-005	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 9,096E-004 / 6,45 BA: 1,133E-003 / 7,81 2W: 1,134E-003 / 7,82	
<b>BER 10-6</b>								
S-LINK_T_7_8GHz_0*	A: 29 B: 29	B: -69 A: -69	B: -32,34 A: -32,52	AB: 9,985E-004 / 6,987E-003 BA: 1,242E-003 / 8,445E-003 2W: 1,242E-003 / 8,445E-003	AB: 9,819E-007 / 1,690E-005 BA: 1,053E-006 / 1,796E-005 2W: 2,035E-006 / 3,487E-005	AB: 1,445E-009 / 1,734E-008 BA: 1,445E-009 / 1,734E-008 2W: 1,445E-009 / 1,734E-008	AB: 9,995E-004 / 7,00 BA: 1,243E-003 / 8,46 2W: 1,244E-003 / 8,46	

**Figure 3.26** : Tableau de résultats de disponibilité d'une région rurale

Après avoir agrandit le tableau 3.26, on a :

% Time Annual / Worst Month	
AB: 99,99909037 / 99,99354869	
BA: 99,99886664 / 99,99218963	

**Figure 3.27** : Temps de disponibilité d'une région rurale

Le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre Manakara2 et Vohipeno pendant une année est de 9,99909037%. Si 100% valent 365Jours, alors 9,99909037% équivaut à 364,9966798505 Jours, plus clairement 8759,920316412Heures.

Alors cette liaison est valable pendant 8759Heurs 55mn 13,14s.

Donc, il y une augmentation de temps de disponibilité de la liaison de **1mn 58,03s** de plus, pour les liaisons qui traverse des lacs et de mer.

Cette augmentation de temps de disponibilité de liaison pour les liaisons dans les régions rurales et qui traverse de lacs et de mers, est la valeur moyenne générale de toute la liaison dans les régions rurales et qui traverse de lacs et de mer.

### **3.2 Simulation suivant « Link budget Calculator »**

Ce logiciel nous permet de connaître explicitement la capacité de notre matérielle vis-à-vis de la liaison souhaitée. Link budget est un moyen pour quantifier la performance de la liaison. Il contient beaucoup de paramètre concernant la transmission radio et la transmission par faisceau hertzienne pour évaluer la disponibilité d'une liaison à étudier. Focalisant sur les paramètres concernant la transmission par faisceau hertzienne, car notre étude se base sur ce point.

Dans la suite de notre analyse, on prend tous les valeurs dans le « *Mentum Ellipse* » et les insérer dans le « *Link Budget Calculators* », parce que le but de l'utilisation de ce dernier est de vérifier les aspects mathématiques du « *Mentum Ellipse* ».

Dans ce cas les résultats devra être les mêmes.

#### **3.2.1 Panneau de « Budget de lien »**

Puissance PA = source Tx :

D'après « *Mentum Ellipse* », la puissance de l'émetteur est de 29dBm.

Pertes due aux câbles et aux connecteurs Tx : -1,14dB (avec l'antenne distant)

Puissance Tx : 29dBm

Gain d'antenne Tx : 40,8dBi.

Puissance apparente rayonnée (EIRP): on obtient 68,66dBm

Distance : Entre Manakara2 et Vohipeno ils sont distants de 29300m.

Perte en espace libre :

On obtient de =-139,2840444dB

Puissance dans l'antenne Rx du trajet de l'espace libre seulement:

On obtient :-70,62404435dB

C'est la puissance reçus par l'antenne Rx par le trajet d'espace libre seulement.

Perte de terre plate : -140,3472576dB

Cette valeur est donnée par GMS, selon la fréquence utilisée.

Pertes de trajet multiple : On ne met pas de valeur ici car celle-ci dépend du paramètre donner et à considérer.

Perte d'obstruction : on ne met pas de valeur ici, parce qu'on n'a pas d'obstruction sur notre liaison FH entre Manakara2 et Vohipeno.

Puissance dans l'antenne de Rx du trajet de terre plate seulement : on obtient -71,68725756dB.

C'est la puissance reçus par l'antenne Rx par le trajet de terre plate seulement.

Gain de l'antenne Rx : Dans notre analyse elle est de 40,8dB.

Pertes due aux câbles et aux connecteurs Tx: -1,14dB (avec l'antenne distant)

Puissance du récepteur Rx, trajet d'espace libre: -30,96404435dBm

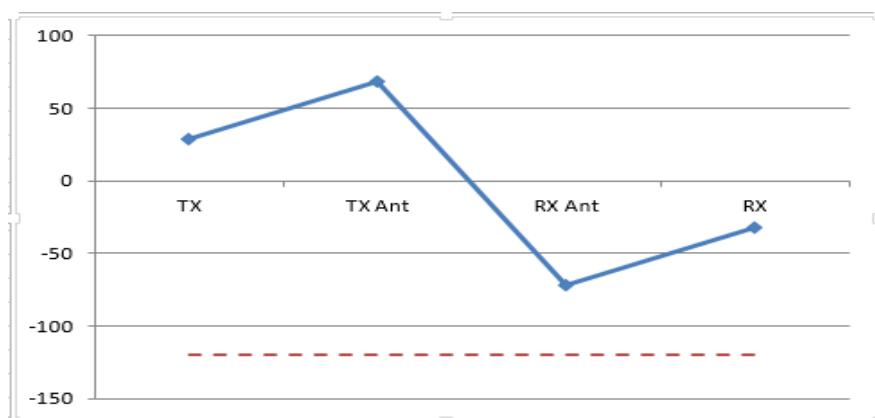
Puissance du récepteur Rx, trajet de terre plate : -32,02725756dB

### 3.2.2 *Lien de traçage*

On aperçoit le niveau de signal tout au long de la transmission de Manakara2 et Vohipeno.

Dans cette option, on voit une courbe de niveau de signal depuis l'émetteur jusqu'au récepteur. Il est à la fois se régresser et se redresser pendant la transmission due aux différentes pertes de différentes types de trajet et due aux différentes caractéristique de l'antenne Tx et Rx. On voit ici entre le récepteur jusqu'à l'antenne de transmission qu'il y a un redressement de signal par ce que, plus la puissance de source ainsi que le gain sont augmentées, plus la puissance de rayonnement dégagée par l'antenne Tx est augmentée. Puis entre l'antenne de transmission et l'antenne de réception, il y a une régression du signal causé par des pertes due à l'espace libre, l'obstruction, etc. Et en arrivant à l'antenne de réception par inversement, plus le gain de l'antenne est élevée plus la perte globale diminue d'où entre l'antenne de réception et le récepteur, le niveau du signal est redressé au plus de la sensibilité de l'antenne de réception. Alors on a l'allure de la courbe comme suit :

L'axe des ordonnées exprime la valeur de la puissance, l'axe des abscisses montre les matériaux que l'onde hertzienne traverse et le trait en rouge indique la sensibilité du récepteur.



**Figure 3.28** : Schéma de niveau de puissance le long de trajet

### 3.2.3 *Multi-trajet de Terre*

Hauteur Tx : hauteur d'antenne de transmissions, on a 60m.

Hauteur Rx : Hauteur d'antenne de réception, ici on a 76m.

Distance : C'est la distance entre les deux sites, ils distant de 29300m.

Trajet directe : 29300,00437m

Trajet de réflexion : 29300,31563m

La perte due au rebondissement du signal à la terre : -1,063213212dB

La perte en espace libre et la perte du Terre plate sont toujours les mêmes que dans le panneau de budget de lien.

Et plus l'antenne est longues, plus les pertes sont diminué.

### **3.2.4 *Synthèse de simulation avec « Link budget Calculator »***

Après calcul on obtient alors que la puissance arrivant au récepteur est de -32,02725756dB, elle est beaucoup plus supérieure que la valeur de sensibilité du récepteur -120dB. Pour savoir que la puissance de signal arrivant au récepteur est au-dessus du seuil du récepteur. La condition est vérifiée alors la liaison est super disponible.

### **3.2.5 *Conclusion***

Lors de l'analyse suivant « Menum Ellipse », on a le privilège de voir la région étudiée si c'est urbain, suburbain, et rural, ensuite les sites étudiés ainsi que tous les types du chemin de dégagement, et les éventuelles obstructions, puis la totalité de l'ellipsoïde de Fresnel entre les sites grâce à sa carte, nous permet de connaître les type des pertes pour choisir et paramétrier les différentes modèles à utiliser pour avoir une meilleure qualité de liaison.

Aussi, le logiciel « Link Budget calculators » nous indique explicitement les formules nécessaires au Bilan de liaison contenu dans le logiciel « *Menum Ellipse* ».

Les tableaux ci-dessous nous montrent des résultats sensiblement similaires sur les deux logiciels pour les mêmes paramètres.

Paramètre d'entrées	Mentum Ellipse	Link budget calculators
Puissance de Tx	29dBm	29dBm
Fréquence utilisée	7498Mhz	7498Mhz
Gains des antennes	40,8dB	40,8dB
Hauteur Tx	60m	60m
Hauteur Rx	76m	76m
Distance	29300	29300

**Tableau 3.01** : *Entrée des mêmes paramètres sur les deux logiciels*

Ce qui nous intéresse le plus, c'est la ressemblance des résultats du bilan de la liaison :

Puissance rayonnée	68,1dBm	68,66dBm
Puissance reçue au récepteur	-32,34dBm	-32,03dBm
Perte totale	-139,54dB	-140,35dB

**Tableau 3.02** : *Tableau de comparaison de résultats des deux logiciels*

## CONCLUSION GENERALE

En guise de conclusion, d'après le résultat des simulations précédentes, les configurations des paramètres des différentes modèles du « Mentum Ellipse » se basent tout d'abord selon le type de région étudiée.

Si la région est urbaine, le modèle de propagation convenable est le P3M, la méthode utilisée pour le calcul de disponibilité du trajet multiple est le P530 9-13, ainsi que la méthode de calcul de perte due aux diffractions est la méthode d'Epstein-Peterson, évidemment la fusion de tranche de couteau devra contenir une valeur pour éviter des erreurs pour les bords plus étroites.

Pour les régions Suburbaine le modèle de propagation pertinent est la recommandation ITU-R P.452-14, et pour maximiser le temps durant laquelle les liens sont encore disponible on se réfère au modèle « K.Q. Factor », une méthode de calcul de disponibilité. La méthode de calcul de perte due aux diffractions est la méthode d'Epstein-Peterson, évidemment la fusion de tranche de couteau devra contenir une valeur pour éviter des erreurs pour les bords plus étroites.

Enfin, pour les régions rurales et les liaisons traversant les Lacs et la Mer, l'espace libre (Free space) est le modèle de propagation convenable, pour assurer la performance de temps de disponibilité de la liaison on utilise la méthode de K.Q Factor. Le modèle de propagation de l'espace libre est le modèle le plus basique disponible car il ne tient pas compte du terrain. Il est utilisé lorsque le lien est en ligne de vue, lorsque la première zone de Fresnel est complètement dégagée et lorsqu'il n'est pas nécessaire de tenir compte d'autres phénomènes de propagation. Alors le calcul de perte due aux diffractions n'est plus nécessaire dans cette option.

Le calcul de perte d'atténuations dues aux Gaz de l'atmosphère sont tous les même, c'est la méthode P676-7 une recommandation de l'UIT.

La définition d'un plan de fréquences est censée minimiser les perturbations tout en optimisant l'efficience de la ressource spectrale exploitée.

D'après la simulation suivant « Link Budget Calculators », l'aspect scientifique du « Mentum Ellipse » est certain, et les différentes calculent de bilan de liaison sont respectée. Le logiciel « *Link Budget Calculator* » standard est un outil rapide de vérifier et d'évaluer le bilan Liaison pour savoir la disponibilité de la liaison.

## ANNEXE 1 MATERIELS UTILISES DANS LA TRANSMISSION F.H

### A1.1 *Antenne et ligne de transmission*

Une antenne d'émission est un conducteur qui transforme une énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique. Une antenne de réception traduit un rayonnement électromagnétique en courant électrique induit. La même antenne peut souvent servir à émettre ou capter selon qu'elle est alimentée ou non en courant. Afin de mieux comprendre le mécanisme de rayonnement, procédons à quelques rappels. Un conducteur dans lequel passe un courant  $I$  produit dans son entourage un champ dont l'intensité décroît en fonction de la distance du conducteur et, compte tenu de la direction, perpendiculaire à celle du conducteur. Le sens du champ magnétique est conforme. La qualité d'une antenne dépendra non seulement de la puissance en jeu mais aussi de sa résistance, de sa longueur, et bien d'autres paramètres que nous étudierons par la suite.

De fait, les matériaux les plus adéquats pour une antenne d'une longueur excédant 10mètres est le fil de cuire, émaillé de préférence, afin d'éviter l'oxydation. Pour les antennes de 10mètres ou moins, ou utilise des tubes de cuivre, de duralumin, ou d'aluminium ; les tubes de cuivre ont l'inconvénient d'être rares, lourds et chers, ils sont très peu utilisés. Les tubes de duralumin sont rigides et légers, mais ne peuvent être soudés, ce qui occasionne de mauvais contacts. Les tubes d'aluminium sont rigides et légers, mais de moins bonne conductivité.

La polarisation d'une onde est déterminée par le plan de variation du champ électrique. Autour d'une antenne, la direction du champ électrique résultant est sensiblement parallèle au conducteur. Une antenne maintenue horizontalement propagera donc une onde électromagnétique à polarisation horizontale, tandis qu'une antenne maintenue verticalement propagera une onde électromagnétique à polarisation verticale. Du fait même que la terre est conductrice, on évite la polarisation horizontale dans les fréquences VLF, LF, MF et quelquefois même, HF. Pour de plus hautes fréquences, on utilise la polarisation horizontale car la majorité des bruits électromagnétiques d'origine industrielle sont polarisés verticalement. [7]

Antenne Grille - Bande de fréquence : de 335 MHz à 3,7 GHz Antenne parabolique de 30 cm à 4,5m  
Antenne standard, haute et ultra haute performance Bande de fréquence : de 890 MHz à 60 GHz  
Disponible en double et simple polarisation Norme : ETSI 302 217 Class 3.



**Figure A1.01** : Schéma d'antenne grille

L'émetteur qui produit l'énergie RF pour l'antenne est habituellement situé à une certaine distance des bornes d'antennes. Le lien de connexion entre les deux est la ligne de transmission RF. Son but est de transporter l'énergie RF d'un endroit à l'autre et de le faire aussi efficacement que possible. Du côté du récepteur, l'antenne est responsable d'attraper tous les signaux de radio dans le ciel et de les passer au récepteur avec un minimum de distorsion de sorte que la radio puisse décoder le signal convenablement. C'est pour ces raisons que le câble RF a un rôle très important dans les systèmes de radio: il doit maintenir l'intégrité des signaux dans les deux directions. Il y a deux catégories principales de lignes de transmission: les câbles et les guides d'ondes. Les deux sont très efficaces pour transporter de l'énergie RF à 2,4 GHz.

## A1.2 Câbles

Les câbles RF sont, pour des fréquences supérieures à la fréquence HF, presque exclusivement des câbles coaxiaux (ou coaxial en abrégé, dérivé des mots « d'une axe commun »). Les câbles coaxiaux se composent d'un conducteur de cuivre entouré par un matériel non-conducteur nommé diélectrique ou simplement isolation. Le matériel diélectrique est entouré par un bouclier de fils tressés qui empêchent une connexion électrique. Le câble coaxial est également protégé par une gaine externe qui est généralement faite à partir d'un matériel PVC. Le conducteur intérieur transporte le signal RF et le bouclier externe empêche le signal RF de rayonner dans l'atmosphère tout en empêchant également les signaux extérieurs de faire interférence sur le signal porté par le noyau. Un autre fait intéressant est que le signal électrique voyage toujours le long de la couche externe du conducteur central: plus le conducteur central n'est grand, mieux le signal circulera. Ceci s'appelle « l'effet pelliculaire ».

Même si la construction coaxiale est efficace pour contenir le signal au sein du noyau, on observe une certaine résistance à la circulation électrique: pendant que le signal voyage au sein du noyau, il perd de sa force. Ceci est connu en tant que phénomène d'atténuation, et pour les lignes de

transmission il est mesuré en décibels par mètre (dB/m). Le taux d'atténuation est une fonction de la fréquence du signal et de la construction physique du câble lui-même. À mesure que la fréquence du signal augmente, son atténuation le fera également. Évidemment, nous devons réduire au minimum, autant que possible, l'atténuation du câble en le maintenant très court et en employant des câbles de haute qualité. [1][4]

#### ***A1.3 Guides d'ondes***

Au-dessus de 2 GHz, la longueur d'onde est assez courte pour permettre un transfert d'énergie efficace et pratique par différents moyens. Un guide d'ondes est un tube conducteur par lequel l'énergie est transmise sous forme d'ondes électromagnétiques. Le tube agit en tant que frontière qui confine les ondes en son intérieur. L'effet pelliculaire empêche tous les effets électromagnétiques d'émaner hors du guide. Les champs électromagnétiques sont propagés par le guide d'ondes au moyen de réflexions contre ses murs intérieurs, qui sont considérés comme des conducteurs parfaits. L'intensité des champs est plus grande au centre le long de la dimension X et doit diminuer à zéro en arrivant aux murs car l'existence de n'importe quel champ parallèle aux murs sur la surface ferait entrer un courant infini dans un conducteur parfait. Naturellement, les guides d'ondes ne peuvent pas acheminer d'énergie RF de cette façon.

Il y a un nombre infini de manières par lesquelles les champs électriques et magnétiques peuvent s'ordonner dans un guide d'ondes pour des fréquences au-dessus de la fréquence de coupure basse. Chacune de ces configurations de champ s'appelle un mode. Les modes peuvent être séparés en deux groupes généraux. Un groupe, nommé TM (transverse magnétique), a un champ magnétique entièrement transversal à la direction de propagation mais une composante du champ électrique dans la direction de la propagation. L'autre groupe, nommé TE (transverse électrique) a un champ électrique entièrement transversal mais une composante de champ magnétique dans la direction de la propagation.

#### ***A1.4 Connecteurs et adaptateurs***

Les connecteurs permettent à un câble d'être relié à un autre câble ou à une composante de la chaîne RF. Il y a une grande variété d'assortiments et de connecteurs conçus pour aller de pair avec diverses tailles et types de lignes coaxiales. Nous décrirons quelques-unes des plus populaires. Les connecteurs BNC ont été développés vers la fin des années 40. Le BNC est l'acronyme de « Bayonet Neill Concelman » en honneur aux inventeurs: Paul Neill et Karl Concelman. Le BNC est un

connecteur miniature qui permet un raccordement rapide des câbles. Il comporte deux crochets de baïonnette sur le connecteur femelle et le raccordement est réalisé avec un quart de tour de l'écrou d'accouplement. En principe, les connecteurs BNC sont appropriés pour la terminaison des câbles coaxiaux miniatures et sub-miniatures (RG-58 à RG-179, RG-316, etc...) Ils offrent une performance acceptable jusqu'à quelques gigahertz. On les retrouve généralement sur des équipements d'essai et sur les câbles coaxiaux Ethernet 10base2. Les connecteurs TNC ont également été inventés par Neill et Concelman, et ils sont une variation filetée du BNC. En raison d'une meilleure interconnexion offerte par le connecteur fileté, les connecteurs TNC fonctionnent bien à environ 12GHz. TNC et les acronymes de Threaded Neill Concelman (Nelly Concelmann fileté).

Les connecteurs de type N (encore une fois pour Neill, bien que parfois attribué à la "marine", Navy en Anglais) ont été à l'origine développés pendant la deuxième guerre mondiale. Ils sont utilisables jusqu'à 18 gigahertz, et très couramment utilisés pour des applications micro-ondes. Ils sont disponibles pour presque tous les types de câble. Les joints de prise/câble et de prise/ douille sont imperméables à l'eau fournissant de ce fait, un collier efficace.

SMA est un acronyme pour la version A de Sub-Miniature, et il a été développé dans les années 60. Les connecteurs SMA sont des unités sub-miniatures de précision qui fournissent un excellent rendement électrique jusqu'à 18 gigahertz. Ces connecteurs à haut rendement ont une taille compacte et une longévité mécanique exceptionnelle. Le nom SMB dérivé de Sub-Miniature B, la deuxième conception sub-miniature. Le SMB est une plus petite version du SMA avec un accouplement par encliquetage. Il offre une capacité de large bande à 4 gigahertz avec une conception de connecteur à encliquetage. Les connecteurs MCX ont été introduits dans les années 80. Tandis que les MCX utilisent un contact intérieur et un isolateur de dimensions identiques aux SMB, le diamètre extérieur de la prise est 30% plus petit que celui des SMB. Cette série fournit aux concepteurs une bonne option dans le cas où le poids et l'espace physique sont limités. Les MCX fournissent une capacité de large bande à 6 gigahertz et une conception de connecteur à encliquetage. En plus de ces connecteurs standards, la plupart des dispositifs WiFi emploient une variété de connecteurs propriétaires. Souvent, ceux-ci sont simplement des connecteurs standards à micro-ondes avec les pièces centrales du conducteur inversées ou le fil coupé dans une direction opposée. Ces pièces sont souvent intégrées dans un système de micro-ondes en utilisant un câble jumper court appeler queue de cochon (pigtail en anglais) qui convertit le connecteur qui n'est pas standard en quelque chose de plus robuste et couramment disponible. En voici une liste non

exhaustive: Le RP-TNC. Il s'agit d'un connecteur TNC avec les genres inversés. Ils sont le plus souvent trouvés dans les équipements Linksys comme le WRT54G. L'U.FL (aussi connu sous l'acronyme MHF). L'U.FL est un connecteur breveté par Hirose, alors que le MHF est un connecteur mécaniquement équivalent. C'est probablement le plus petit connecteur à micro-ondes actuellement sur le marché. L'U.FL/MHF est typiquement employé pour relier une carte radio de mini-PCI à une antenne ou à un plus grand connecteur (tel qu'un N ou un TNC).

La série MMCX, qui se nomme également Micro-Mate, est une des plus petites lignes de connecteurs RF et a été développée dans les années 90. MMCX est une série micro-miniature de connecteur avec un mécanisme de verrouillage automatique acceptant une rotation de 360 degrés permettant la flexibilité. Les connecteurs MMCX sont généralement trouvés sur les cartes radio PCMCIA construites par Senao et Cisco. Les connecteurs MC-Card sont encore plus petits et plus fragiles que les MMCX. Ils ont un connecteur externe fendu qui se brise facilement après un certain nombre d'interconnexions. Ceux-ci sont généralement trouvés sur les équipements de Lucent/Orinoco/Avaya.

Les adaptateurs, qui s'appellent également adaptateurs coaxiaux, sont des connecteurs courts à deux côtés qui sont utilisés pour joindre deux câbles ou composantes qui ne peuvent pas être reliés directement. Les adaptateurs peuvent être utilisés pour relier ensemble des dispositifs ou des câbles de différents types. Par exemple, un adaptateur peut être utilisé pour brancher un connecteur SMA à un BNC. Les adaptateurs peuvent également être utilisés pour joindre des connecteurs du même type mais qui ne peuvent pas être directement unis en raison de leur genre. Par exemple un adaptateur très utile est celui qui permet de joindre deux types de connecteurs N, ayant des connecteurs femelles des deux côtés. [1] [4]

### ***A1.5 Conclusion***

Il est nécessaire de connaître d'autres matériels, comme l'ODU (unité extérieure), IFU (unité d'interface).

## ANNEXE 2 LISTE DE RECOMMANDATIONS SELON L'UIT

Voici les listes des recommandations selon l'Union International de la télécommunication

UIT-R P.525-2 Calcul de l'atténuation de l'espace libre.

UIT-R P.526-11 Propagation par diffraction.

UIT-R P.676-8 Atténuation par les gaz atmosphériques.

UIT-R P.836-4 Vapeur d'eau: densité surfacique et teneur totale en colonnes.

UIT-R P.837-5 Caractéristiques des précipitations pour la modélisation de la propagation.

UIT-R P.838-3 Modèle d'atténuation spécifique pour la pluie utilisé dans les méthodes de prévision.

UIT-R P.453-9 L'indice de réfraction radioélectrique: sa formule et ses données de réfraction.

UIT-R P.452-14 Procédure de prévision pour l'évaluation des interférences micro-ondes entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,7 GHz.

UIT-R P.530-14 Données de propagation et méthodes de prévision requises pour la conception des systèmes terrestres de ligne de visée.

UIT-R P.1510 Température de surface moyenne annuelle.

UIT-R F.1093 Effets de la propagation par trajets multiples sur la conception et le fonctionnement des systèmes de relais hertziens numériques à ligne de vue.

UIT-R F.1605 Estimation de l'exécution et de la disponibilité des erreurs pour les systèmes hertziens fixes terrestres à hiérarchie numérique synchrone.

UIT-T G.821 Performance d'erreur d'une connexion numérique internationale fonctionnant à un débit inférieur au débit primaire et faisant partie d'un réseau numérique à intégration de services

UIT-T G.827 Paramètres et objectifs de performance en matière de disponibilité pour les trajets numériques bit à bit internationaux de bout en bout.

UIT-T G.826 Paramètres et objectifs de performance d'erreur de bout en bout pour des trajets internationaux de liaison permanente.

UIT-T G.828 Paramètres de performance et objectifs d'erreur pour les trajets numériques synchrones internationaux à débit constant.

UIT-R F.1703 Objectifs de disponibilité pour les vraies liaisons fixes numériques fixes utilisées dans 27 500 km chemins de référence hypothétiques et connexions.

UIT-R F.1492 Objectifs de disponibilité pour les liaisons de relais radio numériques réelles faisant partie d'une trajectoire numérique à débit binaire constante de portion internationale égale ou supérieure au débit primaire.

UIT-R F.1493 Objectifs de disponibilité pour les liaisons radioélectriques numériques réelles faisant partie de la portion nationale Trajet numérique à débit constant égal ou supérieur au débit primaire.

UIT-R F.557-4 Objectif de disponibilité pour les systèmes de faisceaux hertziens sur un circuit de référence hypothétique et un trajet numérique de référence hypothétique.

UIT-R F.695 Objectifs de disponibilité pour de vrais relais hertziens numériques faisant partie d'un circuit de haute qualité au sein d'un réseau numérique à intégration de services.

UIT-R F.696-2 Objectifs de performance et de disponibilité des erreurs pour les sections numériques de référence hypothétiques faisant partie ou la totalité de la partie de qualité moyenne d'une connexion de réseau numérique à services intégrés à un débit inférieur au débit primaire utilisant des systèmes de relais hertziens numériques.

UIT-R F.697-2 Objectifs de performance et de disponibilité des erreurs pour la partie de qualité locale à chaque extrémité d'une connexion de réseau numérique à services intégrés à un débit inférieur au débit primaire utilisant la radio numérique systèmes de relais.

UIT-R F.1668 Objectifs de performances erronés pour de véritables liaisons fixes numériques fixes utilisées dans 27 500 km chemins de référence hypothétiques et connexions.

UIT-R F.1491-2 Objectifs de performance en matière d'erreur pour les liaisons radio numériques réelles utilisées dans la partie nationale d'une trajectoire de référence hypothétique de 27 500 km égale ou supérieure au taux primaire.

UIT-R F.1397-2 Objectifs de performance en matière d'erreur pour les liaisons radio numériques réelles utilisées dans la partie internationale d'une trajectoire de référence hypothétique de 27 500 km égale ou supérieure au taux primaire.

UIT-R F.634-4 Objectifs de performance d'erreur pour les liaisons radioélectriques numériques réelles faisant partie de la partie de haute qualité des liaisons numériques internationales à un débit inférieur au débit primaire au sein d'un réseau numérique à intégration de services.

UIT-R P.617-1 Techniques de prédiction de la propagation et données nécessaires à la conception des systèmes de faisceaux hertziens transhorizon. [10]

### ANNEXE 3 LISTES DE VALEURS DE PERTE PAR LES DIFFERENTES NATURES DES OBSTACLES

#### *A3.1 Liste*

Noms d'obstructions	valeurs
Paroi intérieure	3,0 dB
Mur extérieur	10,0 dB
Fenêtre	2,0 dB
[16]	
Mur intérieur clair (plâtre), fenêtre	3,4 dB
Murs intérieurs en béton ou en brique	6,9 dB
Plancher (béton armé <30cm d'épaisseur)	18,3 dB
[17]	
<25% Forêts	5,0 dB
25 à <50% Forester	10,0 dB
50 à <75% Forêt	15,0 dB
> = 75% Forêt	20,0 dB
Dense Swamp	25,0 dB
Développement rural	0,0 dB
Développement urbain	5,0 dB
Développement des banlieues	10,0 dB
Développement urbain	15,0 dB
Développement urbain dense	20,0 dB

Résidentiels et bâtiments commerciaux légers	5,0	dB
Petits ou moyens bureaux, magasins ou usines	10,0	dB
Grands immeubles commerciaux	15,0	dB
Automobile typique	10,0	dB

[18]

## ANNEXE 4 : LES UNITES DECIBELS

**dB** : variation dans le sens de l'augmentation (+) ou de la diminution (-), mais sans unité de référence. Ne permet pas la conversion en unité de référence mais simplement le calcul de la variation.

- **dB<sub>i</sub>** : utilisé pour la comparaison du gain d'une antenne par rapport à une antenne isotrope. Les constructeurs d'antenne spécifient souvent seulement dB au lieu de dB<sub>i</sub> pour créer une ambiguïté par rapport à dB<sub>d</sub> qui représente le gain par rapport à une antenne dipôle. Cet effet purement marketing permet de donner l'illusion d'un plus grand gain de l'antenne car un dB<sub>d</sub> vaut 2,15 dB<sub>i</sub>. En l'absence de référence explicite, il faut toujours considérer les gains exprimés en dB comme étant des dB<sub>d</sub> et non des dB<sub>i</sub> (c'est-à-dire moins puissante que ce que l'on pourrait croire...).
- **dB<sub>d</sub>** : utilisé pour exprimer le gain d'une antenne par rapport à une antenne dipôle au lieu de le comparer à une antenne isotrope. Les dB<sub>d</sub> sont particulièrement utilisés pour tout ce qui est téléphonie portable. La relation entre dB<sub>i</sub> et dB<sub>d</sub> s'exprime par :  $dB_i = dB_d - 2,15dB$  ou  $dB_d = dB_i + 2,15dB$ .
- **dBW** : Puissance en Watt mais exprimée en dB pour simplifier la lecture et permettre l'utilisation de l'addition et de la soustraction de dB afin de calculer les variations de cette puissance. L'ajout de deux valeurs en dBW ne se fait pas par l'addition directe comme nous l'avons vu précédemment (voir exemple des décibels dB<sub>SPL</sub>).
- **dBm** : Puissance en milliwatts au lieu de Watt. Le rapport entre dBW et dBm peut être écrit de la façon suivante :  $dBW = dBm - 30dB$  et  $dBm = dBW + 30dB$ .
- **dB<sub>r</sub>** : Mesure relative par rapport à une mesure de référence. [13]

## BIBLIOGRAPHIES

- [1] Louis.REYNIER « *TS SE : Bilan de liaison* », Application SFH 534, Fevrier 2017.
- [2] Tahiana Ezechiel RAKOTONDRAINA « *Faisceau Hertzien* »cour I3-TCO, Ment.TCO-ESPA ; A.U : 2015-2016.
- [3] Omar SAHLI, Youssouf ZEMAM, « *Etude de la liaison BTS/BSC du réseau GSM* », Mai 2013.
- [4] W. PIRARD, « *Fonctionnement de réseau GSM1* », section électronique appliquée, Institut Scientifique de Service Publique, novembre 2001.
- [5] Mike Willis, “*The fundamentals*”, Introduction Maxwell's equations, plane waves, free space loss, gas loss, refraction, diffraction, reflections, tropo-scatter, rain effects, vegetation statistics, link budgets, Noise multipath, measurements models, May 2007.
- [6] SAGEMCOM « *Faisceau Hertzien Evolution, support de stage Formation* » livre de TELMA Analakely, avril 2014.
- [7] Tahiana Ezechiel RAKOTONDRAINA « *Antenne* » cour I3-TCO, Ment.TCO-ESPA ; A.U : 2015-2016.
- [8] Mendum Ellipse 8.4, “*Release Notes*”, Introduction, Avril 2014.
- [9] Mendum Ellipse 8.4, “*Users Guide*”, Understanding propagation models, Avril 2014.
- [10] Mendum Ellipse 8.4, “*Microwaves Link Planing*”, Propagation models and losses, Avril 2014.
- [11] Link Budget FH calculators, “*Link Budget: Ground Multipath*”, Block, 2011.
- [12] Mike Willis « *Training materials for wireless trainers* », May 2007.
- [13] Joe Wolf, « *Le décibel théorie Générale* », <http://www.décibelthéoriegénérale.com>, Fevrier 2017.

- [15] Mendum Ellipse 8.4, “*Edit : propagation models*”, ITU-R P.452-14, Avril 2014.
- [16] Louis E. Frenzel, « *Electronique Design –Top 5* » Essentiels d'ingénierie, Février 2017.
- [17] John S. Davis « canaux RF sans fil intérieur », <http://www.wirelesscommunication.NL>, 1997.
- [18] Chris Fagas, « *Caractéristiques de propagation par radiofréquence de 800 à 900 MHz* », Avril 2012.

## **FICHE DE RENSEIGNEMENT**

**Nom :** RAZAFINDRAKOTO

**Prénoms :** Tahiana Claude

**Adresse de l'auteur :** Lot II I 154B Alarobia Amboniloha

Antananarivo 101 – Madagascar

Tel : 0343628886/0332316113

E-mail : [tahinaraints@outlook.fr](mailto:tahinaraints@outlook.fr)



**Titre du mémoire :**

**«SIMULATION D'OPTIMISATION DE PARAMETRE  
FH DE TELMA SELON : MENTUM ELLIPSE »**

**Nombre de pages :** 81

**Nombre de tableaux :** 4

**Nombres de figures :** 38

**Directeur de mémoire :**

**Nom :** RADONAMANDIMBY

**Prénoms :** Edmond Jean Pierre

**Grade :** Assistant d'Enseignement et de Recherche

**Tel :** +261 33 29 777 11

**Encadreur professionnel:**

**Nom :** RAKOTONDRA SOA

**Prénoms :** Ny Ando

**Grade :** Ingénieur Transmission

**E-mail :** nyando@telma.mg

**Tel :** 0340016477

## RESUME

Les faisceaux désignent les liaisons hertziennes point-à-point entre deux stations radioélectriques fixes équipées d'antennes directives. Ces types de liaisons sont couramment utilisés par les opérateurs à cause de leur rentabilité ainsi que leur facilité de déploiement. Toutefois, la conception de la liaison FH sur un territoire donné doit être adaptée aux caractères spécifiques de ce dernier (relief, climat, infrastructure,...). Pourtant selon la conception de TELMA, les différentes paramètres configurés sont toujours les mêmes pour toutes liaison, et pour toutes types de régions. Ainsi, ce mémoire propose d'utiliser des conceptions différentes pour chaque type de région à Madagascar, en vue d'une optimisation de la disponibilité de la liaison hertzienne. Les résultats des simulations sur le logiciel « *Mentum Ellipse* » nous montrent une augmentation du temps de la disponibilité de la liaison hertzienne annuelle.

**Mots clés :** Pertes, Modèles de propagations, Disponibilité, Régions, Faisceau Hertzien, *Mentum Ellipse*, Paramètres, Optimisation, Simulation.

## ABSTRACT

Microwave link describe point-to-point radio links between two fixed radio stations equipped with directional antennas. These types of links are commonly used by operators because of their cost-effectiveness and ease of deployment. However, according on the design of TELMA the different parameters configured are always the same for all links, and for all types of regions. Those, this book suggest to use different designs for each type of region in Madagascar, with a view to optimizing the availability of a radio link. The results of the simulations on the “*Mentum Ellipse*” software show an increase in the time of the annual availability.

**Keywords :** Loss, Propagations model, Availability, Regions, Hertzian beam, *Mentum Ellipse*, Parameters, Optimization, Simulation.