

Etude de l'extension d'une liaison par faisceau hertzien du réseau cellulaire de l'opérateur Orange RDC cas de la liaison Bawi PK24 et PK50 Bengamisa sur la route Buta/RD. Congo

Kabuyaya Kalungero Charles est

Assistant à l'ISPT Muhangi (Nord Kivu /RDC)

Resumé

Cet article traite sur l'étude de l'extension d'une liaison par faisceau hertzien du réseau cellulaire Orange RDC des sites Bawi à Bengamisa. Il évoque de prime à bord un besoin réel ressenti par les habitants de cette contrée, et le manque à gagner de l'opérateur cellulaire Orange RDC. Le choix de l'opérateur Orange pour desservir Bengamisa a été fondé sur la seule raison qu'elle a son terminal à une distance relativement proche du site à couvrir. Ainsi, il nous a été nécessaire de présenter le centre Bengamisa au PK50 et brièvement évoquer les notions des principes et caractéristiques des transmissions d'information par faisceau hertzien. Sachant que le pylône de Bawi est de 34m de hauteur, grâce aux calculs, avec une fréquence de 15GHz, la mesure du pylône de Bengamisa devra être de 24,6 m de hauteur, et on devra y fixer des antennes paraboliques de type Cassegrain [4] de foyer à cornet d'un bon gain de 41,83dB, avec un niveau de réception de -40dBm. Vu la démographie de centre Bengamisa estimée à 71878 habitants [9], nous osons croire que l'opérateur Orange serait intéressé d'élargir son réseau pour accroître ses recettes par l'établissement de son réseau cellulaire dans cette entité et ainsi désenclaver numériquement celle-ci, quoique le coût global estimatif de l'implantation de ce réseau demanderait 543 400\$.

Date of Submission: 14-10-2022

Date of Acceptance: 30-10-2022

Sigles est abréviations

AEL	Affaiblissement d'Espace Libre.	LMS	Libenge MultiService SARL
At	Atténuation totale	L_r	Atténuation au niveau de réception
Bth	Bruit thermique	M	Marge d'évanouissement
d	Distance qui sépare les deux sites	ODU	Out Door Unit
fb	facteur de bruit	P_b	Puissance de bruit
FH	faisceau Hertzien	P_e	Puissance émise en dB.
Gr	Gain d'antenne coté réception	PK	Point Kilométrique
Ge	Gain d'antenne coté émission.	Pr	Puissance de sortie
H	hauteur	Ps	Puissance de seuil
IDU	In Door Unit	RFU	Radio Frequency Unit
K	constante de Boltzmann ($K = 1,38.10^{-28}J/°K$)	RLS	Niveau de réception
Kis	Kisangani	S/B	Rapport signal/bruit
L_e	Atténuation au niveau d'émission	To	Température ambiante
Lf	Longeur de feeder	Φ	diamètre du réflecteur parabolique

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les réseaux des télécommunications sans fil font partie de notre quotidien. Leurs domaines d'applications sont multiples : téléphonie mobile, liaisons satellitaires, réseaux locaux d'entreprise, etc. [12]. Dans le souci de permettre aux populations de communiquer partout et en temps réel, bon nombre d'entreprises s'interrogent sur les infrastructures de transmission à utiliser. La mise en œuvre de ces infrastructures de transmission demeure un important vecteur de développement d'un pays.

Les systèmes radio utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement Faisceaux Hertiens (FH). Une liaison Faisceau Hertzien exploite le support d'ondes radioélectriques, par des fréquences porteuses allant de 1Ghz à 86Ghz, focalisées et concentrées grâce à des antennes directives. Par conséquent, les FH sont des supports de transmissions permettant de relier deux points éloignés à distance avec un bon débit.

1.1 PROBLEMATIQUE

Bawi PK24 et Bengamisa PK50 s'égrènent le long de la Route Nationale 4 reliant la ville de Kisangani à celle de Buta et comptent parmi des entités rurales de la nouvelle province de la Tshopo en RDC. Bawi sur PK24 est actuellement le seul point terminal de l'opérateur Orange RDC. Ce site Orange PK24 et Bengamisa PK50 sont dans une zone forestière, et la majeure partie de la terre entre eux est marécageuse. Le site Bawi au PK24 est distancé de quelques kilomètres du centre de Bengamisa au PK 50. Notre préoccupation se situe autour des questions suivantes :

- Serait-il possible d'étendre le réseau téléphonique en établissant une liaison permanente qui relierait Bawi à Bengamisa pour désenclaver cette dernière grâce aux services de l'opérateur réseau Orange RDC ?
- Quel serait alors le support approprié pour établir une liaison optimale entre PK24 et PK50 ?
- Y a-t-il une opportunité économique pour l'opérateur Orange d'étendre son réseau vers ce centre PK50 ?

1.2 HYPOTHESES

En cherchant à établir une liaison de transmission de données entre ce deux sites PK24 et PK50, il y aurait deux solutions envisageables citons :

- Liaison par fibre optique entre deux sites, avec comme avantages un bon gain de transmission, une bonne bande passante, mais son coût d'implantation et maintenance onéreux...
- Liaison par faisceau hertzien.

Au regard de la zone séparant les deux sites à relier qui est forestière, marécageuse avec des grandes rivières telles que ITIMBIRI, RUBI, LINDI, les risques de coupure de fourniture de réseau dus aux intempéries y sont élevés. L'ébranlement des bois de forêts par le vent risque de couper la fibre optique si la liaison est aérienne, le coût de l'implantation de la fibre optique souterrain et de la maintenance de ce type de liaison serait important. Ainsi, la solution optimale et moins onéreuse serait de faire la liaison par faisceau hertzien entre ces deux sites et permettrait l'établissement du réseau permanent, moins sensible aux intempéries par rapport à la solution précédente, et ainsi désenclaver numériquement Bengamisa en y offrant les services de la téléphonie grâce à l'opérateur Orange RDC.

Eu égard à la démographie, du pouvoir d'achat de la population visée par cette couverture du réseau cellulaire et les activités qui y sont exercées telles que le ravitaillement et échanges avec les contrées voisines des produits agricoles, manufacturés et miniers (or et diamant), l'établissement du réseau téléphonique par faisceau hertzien au PK50 permettrait un désenclavement numérique du milieu et à l'opérateur Orange d'accroître ses recettes (orange money, crédit d'appel et data).

1.3 OBJECTIF ET INTERET

Au regard de l'importance démographique dans le milieu étudié et l'inévitable besoin des communications à nos jours, nous tentons à élaborer un document technique de référence en vue d'éclairer des recherches futures sur le désenclavement numérique par le déploiement et la rentabilisation des réseaux de téléphonies dans des zones non couvertes actuellement.

1.4 METHODOLOGIE

Pour élaborer cet article, nous avons utilisé la méthode structuro-fonctionnelle qui nous a permis de comprendre la structure et le fonctionnement des réseaux de téléphonie mobile et l'établissement des liaisons en faisceau hertzien en partant de la présentation des sites existants et des outils élaborés pour évaluer les différents paramètres techniques.

Dans cet article, nous avons eu recours à deux techniques à savoir :

- La technique d'interview qui nous a permis de collectionner des informations judicieuses auprès des spécialistes œuvrant dans le secteur de téléphonie mobile

- La technique documentaire qui nous a permis de consulter les ouvrages, la webographie relatifs à notre sujet.

1.5 DELIMITATION DE L'ARTICLE

Cet article est centré sur l'établissement de la liaison du site Bawi PK24 à Bengamisa PK50 par faisceaux hertziens pour étendre le réseau cellulaire Orange RDC. Cette étude a été effectuée dès Janvier à Juillet 2022.

II. REVUE DE LITTERATURE

Dans cette section, nous faisons l'étude du milieu et présentons le principe de fonctionnement et structure de FH, ses caractéristiques et ses avantages tels que son utilité d'avoir une bonne transmission de l'information entre deux sites avec un meilleur débit, et une installation facile, fiable et coût faible de déploiement comparé à la fibre optique ; et ses inconvénients.

1.6 MILIEU D'ETUDE

La Province Orientale était l'une de 11 Provinces que comptait la République Démocratique du Congo avant 2018. Elle était située dans la partie Nord-Est du pays. Sa superficie était de $503\,239\text{Km}^2$, pour une population estimée à 9765 814 habitants, avec une légère prédominance de femmes 4966 190, comparé aux 4799624 hommes [13]. La province de la Tshopo est une des provinces qui a vu le jour après que le gouvernement ait décidé le passage de 11 à 26 provinces en RDC conformément à la constitution promulguée en 2006 [16]. En outre, la Tshopo est l'une des 7 provinces issues du démembrement de l'ancienne Province Orientale. La Tshopo comprend plusieurs centres urbains parmi lesquels Kisangani chef lieu de la province ainsi que des centres urbano-ruraux tels que Bengamisa au PK 50 et Bawi au PK 24, etc. Ces deux dernières entités sont celles qui font l'objet de notre étude ; et sont celles où les habitants vivent des activités champêtres, commerciales et de l'exploitation des carrières minières. Malheureusement, le PK50 se trouve enclavé numériquement et nécessite une couverture en réseau téléphonique pour élargir et rentabiliser leurs services. Par manque des données précises sur le nombre réel d'habitants de Bengamisa PK50, nous nous sommes fiés aux données de la zone de santé de Bengamisa [13]. Le centre de négoce Bengamisa situé au PK50 route Buta est administrativement un district de la Tshopo, en RDC et est proche du territoire de BANALIA. Ce dernier est le chef lieu du territoire de Banalia qui apparaît économiquement moins important parmi les autres centres agro-économiques en direction de Buta chef lieu de la province de Bas-Uélé. La superficie sanitaire du secteur Bengamisa est de $10\,732\text{Km}^2$ avec une population estimée à 102 684 habitants pour une densité démographique de 9H/Km^2 . Plus de 70% de cette population se regroupe dans le centre de Bengamisa et le reste réside dans les petites agglomérations proches [9]. Bengamisa rayonne sur plus de 380 hectares de terre arable qui produit le manioc, le riz, l'huile de palme, de banane gros Michelet, l'arachide, etc. Cependant, depuis quelques décennies, le petit commerce y est devenu florissant surtout avec l'émergence de quelques carrières minières actives dans les parages. Quand la Route Nationale n°4 (RN4) avait été réhabilitée, Bengamisa était l'atout majeur de la croissance économique de ce milieu. La production agricole s'était élevée à 12000 Tonnes de vivres en 2012 comparativement à 7 100 Tonnes de vivres en Décembre 2021 [8]. Bawi au PK24 s'étend sur les deux rives de la boucle tracée en cet endroit par la rivière Rubi, un affluent de l'Itimbiri. Il se situe sensiblement à la tangente de la latitude d'Isiro, et littéralement enfoncée dans la forêt équatoriale. Il subit une chaleur humide qui la différencie des agglomérations de la savane. Altitude 357 m, Situé à 50Km de Kisangani, à 298Km de la ville de Buta, à 399Km de Bumba, à 459Km de Basangousou et à 507 Km d'Isiro.

Coordonnées topographiques [17]

Tableau 1 : Coordonnées topographiques

SITE	LONGITUDE	LATITUDE	ALTITUDE	DISTANCE
Ville de Kisangani	0°31'60" North	25°10'60" East	379m	Origine
PK 24 route Kis- Buta	22° 46' 57" East	5° 39' 10" North	366m	24Km
PK 50 route Kis-Buta	24° 43' 60" East	2° 49' 0" North	357m	50Km

2.2 SYSTEME DE TRANSMISSION PAR FAISCEAUX HERTZIENS

La transmission d'information est l'échange des informations entre un terminal A et un terminal B éloignés géographiquement l'un de l'autre. Cet échange est réalisé à l'aide des équipements spéciaux, par intermédiaire d'un équipement des télécommunications.

Dès ses débuts, en télécommunications, on faisait usage des fils métalliques pour guider les signaux porteurs d'informations. Plus tard il y a eu évolution de cette liaison matérielle entre émetteur et récepteur pour faire un usage direct du rayonnement plus ou moins étroitement dirigé (faisceau) des ondes électromagnétiques.

Un faisceau hertzien est un système de transmission des signaux aujourd'hui principalement numérique monodirectionnelle ou bilatérale et généralement permanente, entre deux sites géographiques fixes. Il exploite le support d'ondes radio électriques, pour des fréquences porteuses allant de 1GHz à 40 GHz (gamme des micros

ondes, nous utiliseront les fréquences 6, 8, 11, 15,18, 23 et 38 GHz), focalisées et concentrées grâce à des antennes directrices [10].

Les Faisceaux Hertiens sont destinés à la mise en œuvre des réseaux des télécommunications, initialement conçus pour transmettre des multiples services téléphoniques ou des images analogiques, connaissent une évolution constante liée à la numérisation des supports de transmission ainsi qu'au traitement de l'information.

Le système de transmission par faisceaux hertiens est constitué par :

- Des stations terminales utilisant les émetteurs et des récepteurs se dirigeant dans le même sens.
- Des stations relais : utilisant les émetteurs et les récepteurs dans le sens contraire ;

Donc, dans sa forme la plus simple, le faisceau hertzien comprend : deux stations terminales, une station terminale pour l'émission et une station terminale pour la réception et éventuellement une ou plusieurs stations relais selon, la distance à couvrir.

Les faisceaux Hertiens numériques offrent de grandes capacités de débits et sont évolutifs en fonction des besoins de l'utilisateur, ils sont souvent complémentaires de réseaux de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement.

Les débits vont de 2 à 800 Mbps. C'est le développement de la téléphonie, et en particulier l'apparition du téléphone mobile qui a permis un grand développement aux faisceaux hertiens.

2.2.1 Principe d'une liaison FH

Une liaison hertzienne est dans le cas général constituée d'Emetteur, un dispositif de liaison Emetteur et antenne (directive et de polarisation soit verticale soit horizontale) - émission pour un site A et pour le site B une antenne (directive et même polarisation que celui de son émetteur) de réception, un dispositif de liaison récepteur- antenne de réception et le récepteur. L'Emetteur est caractérisé par sa puissance émise P_e .

Liaison émetteur- antenne émission est généralement réalisée en câblecoaxial ou guide d'onde. Elle est caractérisée par son atténuation L_e , exprimée en dB.

L'Antenne émission est caractérisée par son Gain d'antenne G_e , exprimé en dBi.

La distance d est celle entre l'antenne de l'émetteur et celui du récepteur. On peut montrer (à partir du calcul de la sphère de l'antenne isotrope et de la définition du gain d'antenne), que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation en espace libre (AEL) égale à :

$$AEL = 20 * \log(4 * \pi * d) - 20 * \log(\lambda) \quad (1).$$
 Cette grandeur est exprimée en dB.

Comme pour la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation L_r , exprimée en dB. L'antenne réception est caractérisée par son gain d'antenne G_r , exprimé en dBi.

Pour le récepteur, le seul paramètre qui nous intéresse ici est P_r qui est la puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm.

Pour déterminer la puissance reçue par le récepteur P_r , il suffit en partant de P_e de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal A_t et d'ajouter les gains d'antenne G_t .

$$On \text{ obtient ainsi : } P_r = P_e + G_e + G_r - (AEL + L_r + L_e) \quad (2)$$

Les faisceaux hertiens présentent certaines caractéristiques [10], entre autres:

- ❖ *La sécurité* : On équipe les stations avec des matériels radios de très grande fiabilité c'est-à-dire de très haute fréquence et on utilise des antennes extrêmement directives avec des gains qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de dB ;
- ❖ *Full Duplex* : la transmission se fait dans les deux sens (bilatérales, elles doivent se faire simultanément, donc elle suppose l'emploi de deux fréquences distinctes dans les deux sens ;
- ❖ Une *succession des stations relais* ayant pour chaque sens de transmission des émetteurs, des récepteurs et des antennes ;
- ❖ Un *rapport signal bruit(S/B)* élevé ;
- ❖ Le *réglage* se fait à l'aide des appareils de mesure appropriés avec une procédure bien établie.

2.2.2. Structure d'une liaison par faisceau hertzien

Le faisceau hertzien est un système de type « pseudo-u-fils fréquentiel » car les deux sens de transmissions sont portés par des fréquences différentes. Les antennes sont généralement communes aux deux sens. Le trajet hertzien entre un émetteur et un récepteur constitue un bond. Les conditions de propulsion (distance-visibilités) obligent souvent à diviser une liaison en plusieurs bonds séparés par des stations relais qui reçoivent le signal hyperfréquence, l'amplifient et le réémettent, généralement avec une autre porteuse, en direction de la station suivante. Dans de cas exceptionnels, des relais passifs (plan réflecteur) peuvent permettre de contourner un obstacle.

La modulation (analogique ou analogique discrète) se fait à une fréquence intermédiaire de 70 ou 140 MHz. Le signal ainsi modulé est transporté dans le domaine des hyperfréquences par mélange avec la fréquence d'un oscillateur local afin d'obtenir la fréquence porteuse utilisée pour la transmission hertzienne [7].

2.2.3 Types de faisceaux hertziens

Il existe deux types de faisceaux hertziens à savoir :

- Le faisceau hertzien à visibilité directe
- Le faisceau hertzien transhorizon ou troposphérique

a) Faisceau hertzien à visibilité directe

Les faisceaux hertziens à visibilité directe sont ceux dans lesquels les trajets radio entre les deux stations terminales sont suffisamment dégagés de tout obstacle sans encombrement. Les ondes ultracourtes se propagent en ligne droite comme des ondes lumineuses nécessitent une vision directe entre les antennes d'émission et de réception. Le phénomène de diffraction dans ce cas a une influence négligeable sur le réseau du signal reçu, la distance entre station est comprise entre 50 et 60 km et les relais spéciaux ou satellite positionné à 36.000 km pour les liaisons entre satellite et la terre. Les dimensions des antennes doivent être grandes par rapport à la longueur d'onde (c'est-à-dire le diamètre plus élevé que la longueur d'onde). Les faisceaux hertziens à visibilité directe présentent quelques avantages : La transmission simultanée de plusieurs milliers des voies à la possibilité de transmettre les canaux de télécommunication mais le nombre élevé des stations relais tout les 50 km constituent un inconvénient pour les faisceaux hertziens à visibilité directe. Cette condition limite la portée des liaisons hertziennes sans relais.

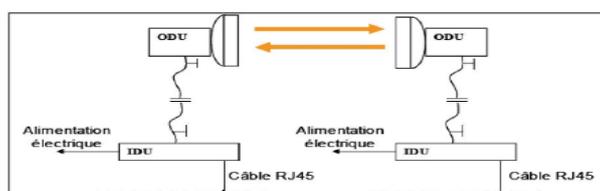


Figure 1 : La liaison par faisceau hertzien à visibilité directe.

b) Faisceaux hertziens transhorizon

Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion et la diffraction des ondes électromagnétiques dans les zones turbulentes de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes.

2.2.4 Notions sur la Propagation des ondes :

L'étude de la propagation consiste à déterminer la puissance reçue d'une antenne tout en connaissant la puissance rayonnée par une antenne émettrice, par une longueur d'onde quelconque, pour des dispositions quelconques des deux antennes, dans tous les milieux qu'ils peuvent rencontrer et en présence de tous les obstacles possible [6]. Une onde électromagnétique est la résultante d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H, couplés entre eux : les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase.

a) Propagation en espace libre :

La propagation en espace libre est un cas théorique qui, dans la pratique, n'est que rarement vérifiée. Dans certains cas, il est toutefois possible de considérer que l'impact des obstacles environnants est négligeable et que par conséquent, l'affaiblissement du signal est très proche de celui de l'espace libre.

b) Propagation en visibilité :

La présence de la terre et de l'atmosphère apporte divers phénomènes physiques : la réflexion, la réfraction, la diffraction, l'absorption que va subir le signal sur l'obstacle. Ces phénomènes peuvent perturber notablement la propagation en espace libre dans certaines circonstances. Ils peuvent également modifier profondément le champ calculé en espace libre. Pour déterminer si la propagation se fait dans des conditions de propagation en visibilité ou non, il convient de considérer les ellipsoïdes de Fresnel[14]. Le premier ellipsoïde de Fresnel a pour foyers les antennes émettrices et réceptrices tel que la somme des distances d'un point de l'ellipsoïde aux antennes émettrices et réceptrices dépasse de 1/2 longueur d'onde la distance entre ces antennes. Le rayon R du

premier ellipsoïde de Fresnel est défini par la relation : $R = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda * d + \frac{\lambda^2}{4}}$ (4)

Avec R=rayon de l'ellipsoïde d'ordre 1 ; d=distance entre site A et site B ; λ la longueur d'onde.

L'absorption des ondes dans l'atmosphère :

Les ondes deviennent facilement absorbables par divers éléments de l'atmosphère (oxygène, vapeur d'eau, pluie, brouillards, neige, grêle...) si leur fréquence dépasse 10GHz.

Distance maximal de visibilité :

Si on a des antennes de hauteurs h_1 et h_2 , la distance maximal de visibilité d_m est donnée par la formule: $d_m = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})(5)$

2.2.5 Les antennes

Les antennes sont des organes de transfert assurant les échanges d'énergies entre générateur haute fréquence et milieu de propagation des ondes ou réciproquement, entre ce dernier et un récepteur. Les liaisons antennes génératrices ou antennes réceptrices, sont bien entendues constituées par des lignes de transmission. Elle peut aussi être définie comme étant la structure associée à (ou avec) la région de transition entre une onde guidée (par une ligne de transmission) et celle de l'espace libre et vice-versa.

L'antenne est caractérisée par son impédance, sa hauteur effective, sa résistance, son coefficient d'efficacité, sa largeur de faisceau, son gain de directivité en dB, sa longueur effective, sa polarisation, sa directivité, sa fréquence de résonance et sa bande passante. La hauteur effective (h_e) est une caractéristique propre de l'antenne, non reliée à la longueur du mât qui la porte.

Il existe de nombreux types d'antennes qui se différencient par leur mode de fonctionnement, géométrie, technologies, utilisation et paramètres. Parmi tant des types d'antennes, nous pouvons citer : parabolique, cornet,....

a) L'Antenne cornet

C'est une antenne en forme de cylindre, de cône ou pyramide tronquée employée pour des liaisons directes ou comme antenne-source pour éclairer un réflecteur parabolique.

L'antenne cornet utilise le principe d'ouverture rayonnante, la forme de cornet assurant simplement l'adaptation progressive de l'onde électromagnétique entre le point de couplage et la surface de rayonnement. Son gain théorique est directement lié à la surface rayonnante, qui pour une ouverture nettement plus grande que la longueur d'onde, est presque égale à la surface équivalente. Ce gain théorique n'est obtenu qu'avec la géométrie correcte et l'adaptation du couplage.

Quoique des antennes de type cornet puissent être réalisées à toutes fréquences, elles sont surtout utilisées en hyperfréquences (3 à 300 GHz). Aux fréquences basses, l'attaque s'effectue en général avec un coaxial couplé par un quart d'onde. Aux fréquences hautes, le couplage direct à un guide d'onde est seul utilisable, dans ce cas le cornet n'est qu'une extension évasée du guide d'onde.

b) L'antenne parabolique

La parabole, comme son nom l'indique est un réflecteur de forme parabolique. Les installations de radiocommunication par faisceau hertzien se composent de deux antennes paraboliques, l'une à l'emplacement d'émission, l'autre à l'équipement de réception.

Leurs rôles principaux est d'assurer l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Les 4 principaux modèles de paraboles sont les suivants :

- La parabole "**PRIME FOCUS**" dont l'inconvénient principal est de créer une zone d'ombre.
- La parabole "**OFFSET**" très commune qui permet de ne plus avoir de zone d'ombre et qui en plus permet de garder la parabole en position presque verticale.
- La parabole "**CASSEGRAIN**" avec un réflecteur supplémentaire, d'un rendement élevé.
- La parabole "**GREGORIENNE**" de type OFFSET et munie d'un réflecteur supplémentaire.

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

réflecteur est éclairé par un dipôle ou cornet, $K=0,6$. Ce gain se calcule par : $G_{(dB)} = 10 \log \frac{4 \cdot \pi \cdot K \cdot \theta^2}{\lambda^2}$ (13)

Avec K : rendement du système d'illumination (de la source) en moyenne 0,55

2.2.6 Le bilan de liaison[7]

Les caractéristiques des équipements d'extrémités à prendre en compte pour le calcul du bilan énergétique sont :

- Puissance d'émission P_e : C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer. Elle est couramment comprise entre 20 et 30 dB ;
- Seuils de réception : Définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($T_{EB} = 10^{-3}$ ou 10^{-6}), ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation (vis-à-vis du bruit thermique (B_{th})).

Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre 70 et 90 dB à perte de branchement (guide d'onde, connectique...). Pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de les relier par un guide d'onde émetteur/récepteur à l'antenne.

Le bilan de liaison est la sommation de la puissance émise (P_e) de tous les gains (G_t) et les pertes rencontrées jusqu'au seuil de réception.

Dans une liaison sans fil, le signal envoyé par l'émetteur est atténué par les pertes de branchements, pertes dans les feeders en créant ainsi un affaiblissement total et la fraction qui arrive au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et de l'amplificateur. Le signal est donc dégradé. En outre, divers éléments introduisent une puissance de bruit qui va également dégrader les performances.

Ainsi, l'affaiblissement total **At** est donné par la relation **At=AEL+Pf+Lf-Gt**(7). La puissance de bruit est calculée par **Pb=Bth*fb** (8) et la valeur du bruit thermique est donnée par **Bth=K*To*B** (9)

La grandeur intéressante pour l'évaluation de ces performances est le rapport signal à bruit et est donnée par **S/B=Pr-Pb**. En fin la marge d'évanouissement est donnée par **M=Pr-Ps** (10)

➤ **Le choix de la liaison :**

L'équipement est choisi selon les besoins d'utilisation et la position des sites, on utilise la fibre optique si les points sont accessibles ou bien on passe à l'installation d'un faisceau hertzien.

➤ **Détermination des fréquences à utiliser :**

La détermination des fréquences est une opération fondamentale dans la transmission par faisceaux hertziens. La stabilité de la liaison va en dépendre. En fonction de la distance à couvrir et des conditions du milieu, un choix judicieux de fréquences sera effectué afin de garantir une bonne qualité de communication. Ce choix est aussi fonction du débit (besoin) et des conditions de propagation.

Le tableau 2 ci-dessous récapitule les longueurs des bonds possibles ainsi que le diamètre des antennes en fonction des fréquences sélectionnées [5].

Bandes de fréquences	Diamètre antennes	Longueur des bonds
4 - 11 GHz	2m	Moyenne 50 Km (à 7GHz)
13 - 15 GHz	1,80 m	15 à 60 Km (moyenne 25 Km)
15 - 18 GHz	0,90 m	7km à 25Km (moyenne 15km)
18 - 26 GHz	0.60 m	0.5 à 10 km (moyenne 3km)
Bande 38 GHz	0.30m	0.5 à 6Km (moyenne 2Km)

Tableau 2 : Les longueurs des bonds et diamètre des antennes en fonction des fréquences.

➤ **Calcul de niveau de réception :**

Il se calcule par la relation suivante : **RLS= Pe + Ge - Lfs + Gr** (11)

➤ **Puissance sortie d'émission :**

Voici les valeurs normalisées des puissances sortie d'émission d'ODU en fonction des fréquences

ODU Type	Puissance EM (dBm) Pe
15 GHz	+ 23
18 GHz	+ 23
23GHz	+ 23

Tableau 3 : Les puissances sorties d'émission Pe des ODU selon les fréquences

Bien que l'ODU ait physiquement 3 types (15/18/23GHz), Pe est la même (+23dBm).

➤ **Gain d'antenne**

Voici Ge ou Gr (Gain d'antenne)[11].

Diamètre d'antenne	Gain d'antenne (dB) Ge / Gr		
	15 GHz	18 GHz	23 GHz
0.3 m	31,9 dB	34,0 dB	34,9 dB
0.6 m	36,6 dB	38,7 dB	40,1 dB
1.2 m	42,6 Db	44,7 dB	46,0 dB

Tableau 4 : le gain d'antenne en fonction de diamètre et fréquences

➤ **Affaiblissement d'espace libre :**

En dB l'affaiblissement est **AEL = 10 log (4πd/λ)²** (12)

2.3. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES FAISCEAUX HERTZIENS:

2.3.1. Les avantages des faisceaux hertziens :

- Gestion de la qualité de service.
- Ils permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès.
- Portée étendue et éventuellement extensible. Un accès internet très haut débit dédié et sécurisé de 800 Mbit/s.
- Une gamme de débits adaptée à vos besoins sous réserve d'éligibilité technique.
- Peu de latence et de gigue et un taux de perte de paquets quasi nul.

- Un débit symétrique et garanti.
- Faible coût de déploiement comparé à la fibre optique.
- La possibilité d'avoir des débits et des portées très élevées.
- Matériel flexible et évolutif.

2.3.2. Les inconvénients des faisceaux hertziens :

- Impact de la topologie de la zone concernée.
- Absorption par les ions de l'atmosphère.
- Problèmes de portée.
- Obstacles dans la trajectoire « gouttes d'eau, poussière et d'autres ».
- Nécessite des lignes de vue.
- Obligation de vue directe entre les paraboles (LOS : Line Of Sight).
- Liaison sensible aux intempéries, notamment lors de fortes pluies.

III. RESULTATS DE RECHERCHES

Nous présentons dans ce point les résultats de calculs de la liaison par faisceau hertziens entre Bawi et Bengamisa. Ci-dessous la figure illustrant la liaison à dimensionner.

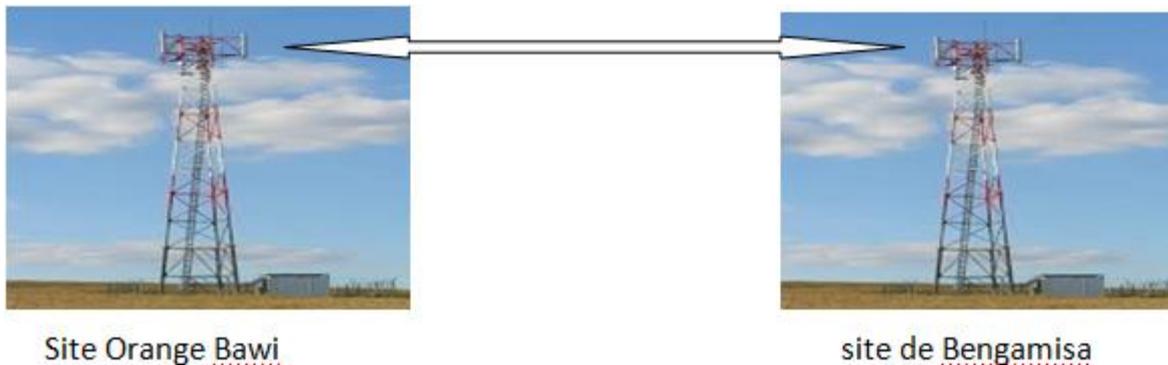


Figure 2: Tracé de la liaison Bawi –Bengamisa

3.1 Détermination de la hauteur des pylônes d'antennes

Pour une bonne transmission en onde hertzien, la visibilité des deux antennes est exigée. Connaissant la hauteur du pylône de PK24 qui est de 34m, il nous faudra déterminer la hauteur du pylône du PK50 afin d'assurer le dégagement du premier ellipsoïde de FRESNEL. Pour y arriver, il nous faut connaître la longueur d'onde λ qui sera trouvée grâce à la fréquence F et la Célérité de la lumière C. Nous allons transmettre en onde électromagnétique de F=15GHz de fréquence soit $15 \cdot 10^9$ Hz et la célérité de la lumière est $C = 3 \cdot 10^8$ m/s. La relation 14 donne la valeur de λ

$$\lambda = \frac{C}{F} \quad (14)$$

$$\text{Alors } \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^9} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9}}{15} = \frac{0,3}{15} = 0,02 \text{ m} \quad \text{Donc } \lambda = \mathbf{0,02m}$$

Le rayon max sera donné par la relation(4)

$$r_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda * d + \frac{\lambda^2}{4}} \quad \text{Et vu que le terme } \frac{\lambda^2}{4} \text{ donne une valeur trop faible, on le néglige et on écrit :}$$

$$r_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda * d} \quad (15)$$

or la distance entre 2 antennes est $d = 26Km$

$$r_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{0,02 * 26000} = \frac{1}{2} \sqrt{520} = \frac{1}{2} * 22,80 = 11,4 \text{ m}$$

$$\text{Donc } r_{max} = \mathbf{11,4m}$$

La hauteur du pylône d'antenne de ce site PK50 se calcule par la relation 16 ci-dessous :

$$H = r_{max} + \frac{d^2}{8R_0} \quad (16)$$

Avec : $R_0 = 6.400Km$;

$$\text{Donc on peut écrire : } H = 11,4 + \frac{(26000)^2}{8 \cdot 64 \cdot 10^5} = 11,4 + \frac{676 \cdot 10^6}{512 \cdot 10^5} = 11,4 + 13,20 = 24,6m$$

La hauteur du pylône de Bengamisa sera de $\mathbf{24,6 m}$

$$H = \mathbf{24,6m}$$

3.2 Affaiblissement en espace libre

Lorsque le trajet de la propagation est entièrement dégagé l'affaiblissement entre les antennes d'un bond de faisceau hertzien est donné par la relation (12) suivante : $AEL = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$

$$AEL = 20 \log(4 * \pi * d) - 20 \log \lambda = 20 \log(4 * 3,14 * 14 * 26000) - 20 \log(0,02) = 144,08 \text{ dB}$$

AEL = 144,08 dB

3.3 Gain de l'antenne

Le gain d'une antenne est le rapport de la quantité d'énergie reçue ou émise dans une direction et la quantité d'énergie reçue ou émise par une antenne de référence dans la même direction.

Le gain des antennes est calculé par la relation (13) suivante:

$$G_{(dB)} = 10 \log \frac{4 * \pi * K \phi^2}{\lambda^2}$$

Avec : K = coefficient d'éclairage de réflecteur (K = 0,6 si le réflecteur est éclairé par un dipôle ou un cornet) [3]. Or il est recommandé d'utiliser les antennes paraboliques pour les fréquences égales à 15GHz, c'est ainsi que pour notre étude, nous retenons la fréquence à 15GHz, avec une antenne parabolique de 90 cm de diamètre, éclairée par le foyer en cornet

$$G = \frac{4 * 3,14 * (0,9)^2 * 0,6}{(0,02)^2} = \frac{6,10416}{0,0004} = 15260,4$$

En décibel nous avons $G \text{ (dB)} = 10 \log 15260,4 = 10 * 4,183 \text{ dB}$ donc **G (dBi) = 41,83 dBi**

Le gain total sera donc trouvé par la relation (17) ci-dessous : $G_t = G_e + G_r$ (17)

Ainsi $G_t = 41,83 + 41,83 = 83,67 \text{ dB}$; donc **G_t (dBi) = 83,67 dBi**

3.4 Pertes

Les **pertes de branchements (dB)** sont déterminées suivant l'organisation des canaux :

- pertes de branchement à l'émission : 3,4dB ;
- pertes de branchement à la réception : 3dB ;
- pertes totales de branchement 6,4dB.

Les **pertes dans les feeders** sont fonction de la longueur des feeders utilisées. Ainsi le raccordement de l'antenne se fera par câble GEDELEX 9/50 dont la valeur d'affaiblissement varie selon des fréquences de 10 à 30GHz et à température constante de 20°C comme suit : 0,73 à 1,29dB /100m[15]. Ainsi dans notre cas d'étude à une fréquence de 15GHz la perte dans ce câble est estimée à 0,09 dB/m.

La détermination de la longueur des feeders :

- site Bawi du PK24 : hauteur de pylône : 34m ;
- site Bengamisa PK50 route Buta: hauteur de pylône : 24,6m.

La hauteur mini **câble de FH D₂₀₈** (câble abritant l'équipement hertzien) est de **1,850m**.

D'où la longueur de feeder sera :

- ❖ Site PK24 route Buta : $34 - 1,850 = 32,15 \text{ m}$;
- ❖ Site du centre PK50 route Buta : $24,6 - 1,850 = 22,75 \text{ m}$;
- ❖ La longueur totale des feeders : $32,15 \text{ m} + 22,75 \text{ m} = 54,9 \text{ m}$

Et les pertes **dans les feeders** seront : $54,9 \text{ m} * 0,09 \text{ dB} = 4,9 \text{ dB}$. Donc **P_f = 4,9 dB**

3.5 Affaiblissement totale (At)

L'affaiblissement total est donné par la relation (7) ci-après : $A_t = AEL + P_f + L_f - G_t$

$$A_t = 144,08 + 4,9 + 13 - 83,67 = 78,31 \text{ dB}$$

3.6 Puissance du récepteur (Pr)

La puissance du récepteur est donnée par la relation suivante : $P_r = P_e - A_t$ (18)

Avec : **P_e** : Puissance d'émission et **A_t** : atténuation totale.

Pour notre étude nous utiliserons la version II qui est plus performante, $P_r = 30 - 24,2 = 5,8 \text{ dB}$ donc

P_r = 5,8 dB

3.7 Le niveau de réception

Sachant que les relations (11) et (17) donnent : $RSL = P_e + G_t - AEL$ et $G_t = G_e + G_r$

Or $P_e = +23 \text{ dBm}$ (la puissance sortie d'émission pour ODU de bande 15 GHz doit être de +23dB) ;

$G_e = 40,1 \text{ dBi}$ (le gain d'antenne au diamètre de 0.9 m)

AEL : 144,08dB

$G_r = +40,1 \text{ dB}$ (le gain d'antenne de réception au diamètre de 0.9 m)

On a ainsi, $RSL = 23 + 40,1 - 144,08 + 40,1 = -40,88 \text{ dBm}$. Ainsi **RSL = -40,88 dBm**

3.8 Polarisation des antennes :

Pour les liaisons longues distances, on choisit la polarisation verticale parce que le signal est nettement mieux reçu sans distorsion. Tandis que la polarisation horizontale est employée pour les distances courtes. La

polarisation verticale peut diminuer le temps d'interruption de 30% par rapport à la polarisation horizontale. Pour que notre liaison fonctionne correctement, notre antenne de réception sera polarisée de la même façon que l'antenne d'émission donc en verticale.

3.9 Détermination de facteur de B mit (fb)

Le facteur de Bruit est exprimé par la relation suivante : $f_b = 1 + \frac{T_r}{T_0}$ (19) Avec :

- $T_r = 273$ K ;
- $T_0 =$ température ambiante, ($T_0 = 300$ K, valeur normalisée).

$$f_b = 1 + \frac{273}{300} = \frac{273 + 300}{300} = \frac{573}{300} = 1,90$$

En dB : $f_b = 10 \log 1,90 = 10 \cdot 0,278$

fb(dB) = 2,78 dB

3.10 Bruit thermique (Bth)

Le bruit thermique est calculé comme le montre la relation (9) : $B_{th} = K \times T_0 \times B$

Avec : $K =$ constante de Boltzmann ($K = 1,38 \cdot 10^{-28} \text{J}/^\circ\text{K}$) et $B =$ Bande passante (pour notre cas $B = 15\text{GHz}$)

$B_{th} = 1,38 \times 10^{-28} \times 300 \times 15 \times 10^9 = 62,1 \cdot 10^{-19}$. En dB : $B_{th(dB)} = 10 \log 62,1 \cdot 10^{-19} = -172,02 \text{dB}$ **$B_{th(dB)} = -172 \text{dB}$**

3.11 Puissance de bruit (Pb)

La puissance de bruit est calculée par la relation (8) suivante : $P_b = K \times T_0 \times f_b \times B$

Or selon la relation (9) on a $B_{th} = K \times T_0 \times B$

$B_{th} = 62,1 \cdot 10^{-19}$

Et $f_b = 2,78 \text{ dB}$

Donc $P_b = 62,1 \cdot 10^{-19} \cdot 2,78 = 172,63 \cdot 10^{-19}$. En dB : $P_b \text{ (dB)} = 10 \log 172,63 - 10 \log 10^{-19} = -167,63 \text{dB}$

$P_b \text{ (dB)} = -167,63 \text{dB}$

3.12 Rapport signal sur bruit (S/B)

Le rapport signal sur bruit est donné par la relation suivante

$(S/B)_{dB} = P_r - P_b$ (20) = $5,8 - (-167,63) = 173,43 \text{dB}$,

$(S/B)_{dB} = 173,43 \text{dB}$

3.13 Marge d'évanouissement

Elle est calculée par la relation (10) suivante : $M = P_r - P_s$

Sachant que la puissance de seuil pour notre transmission est $P_s = -83 \text{dB}$, on a la marge d'évanouissement : $M = 5,8 - (-83) = 88,8$ on a donc : **$(M)_{dB} = 88,8 \text{dB}$**

Le tableau synthèse de résultats pour une bonne liaison en faisceau hertzien est le suivant :

Désignation	Symbole	Valeur	Unités
Hauteur du pylône de Bengamisa	H	24,6	m
Gain total	Gt	83,67	dBi
Affaiblissement en espace libre	AEL	144,08	dB
Pertes de branchement total		6,4	dB
Longueur de feeder	Lf	13	m
Pertes feeders	Pf	4,9	dB
Affaiblissement totale	At	78,31	dB
Niveau de réception	RLS	-40,88	dBm
Facteur de bruit	Fb	2,78	dB
Bruit Thermique	Bth	-172	dB
Puissance de bruit	Pb	-167,63	dB
Polarisation des antennes	Verticale		
Puissance de Seuil	Ps	-83	dB
Rapport Signal/Bruit	S/B	173,43	dB
Marge d'évanouissement	M	88,8	dB

Tableau 5 : Les résultats obtenus après calcul

3.14 Coût estimatif de l'implantation du réseau à Bengamisa

D'après des recherches effectuées auprès des sociétés de télécommunications et des informations reçues de la part de l'agence de maintenance réseau de télécommunication LMS Kisangani, nous sommes arrivés à donner le coût estimatif de la liaison proposée dans ce tableau 6.

Désignation	Quantité	Prix unitaire en \$	Prix total en \$
Equipement FIA	1	400 000	400 000
Equipement Multiplex	1	30 000	30 000
Equipement MIC	1	7 000	7 000
Equipement GAS	1	6 000	6 000
Feeders et antennes	1	20 000	20 000
Alimentation en énergie électrique			5 000
Lot et notice	1	6 000	6 000
Frais d'installation			20 000
Total			494 000
Imprévis (10%)			49 400
Coût global			543 400

Tableau 6: coût estimatif de l'implantation de réseau Bengamisa

Nous venons d'établir le bilan de la liaison par faisceaux hertziens proposée entre PK24 et PK50. Vu les résultats obtenus sur les éléments fondamentaux de calcul de la liaison, et le coût global de l'implantation de ce réseau, nous pouvons affirmer que cette liaison est techniquement et financièrement réalisable par l'opérateur Orange RDC.

IV. CONCLUSION

Les Faisceaux Hertziens restent aujourd'hui le moyen le plus rapide et le moins onéreux pour installer un réseau des télécommunications. Il est utilisé dans les régions inaccessibles par fibre optique.

Dans cet article, notre préoccupation était de montrer que grâce aux principes de transmissions d'informations par Faisceau Hertzien, il est possible de désenclaver des entités où il est difficile d'implanter une fibre optique pour les couvrir d'un réseau téléphonique cellulaire. Pour y parvenir, nous avons présenté le milieu d'étude, brièvement parler du système de transmission par FH, puis procéder aux calculs du bilan de la liaison d'un réseau de transmission d'informations par faisceau hertzien entre ce deux sites qui sont Bawi -Bengamisa et en estimer le coût de son implantation. Vu l'impraticabilité de la région (grandes rivières et forêt dense, marécage,...), nous ne pouvions pas utiliser la fibre optique.

Les calculs effectués sur l'étude de cette liaison nous ont permis de vérifier la faisabilité d'une transmission des différentes données avec un débit qui peut atteindre 800 Mbits/s.

Toutefois, malgré sa simple réalisation et son faible coût, la liaison par Faisceau Hertzien réalisée est limitée par le débit. Pour surpasser cette limitation, nous proposons l'utilisation de la Radio Agrégation.

Quant à nous, nous estimons avoir fait une œuvre utile et susceptible d'attirer l'attention à l'opérateur Orange pour qu'il en tire bénéfice et que la population enclavée numériquement puisse enfin profiter des services qu'offre le réseau téléphonique mobile.

Bibliographie

- [1]. Adoum Youssouf Moussa.2010/2011. « Etude et mise en service de la liaison FH loubila- Kamboncé». Ingénieur des Travaux en Technologie des réseaux et systèmes Informatique.
- [2]. BENDENNAH Lydia et ALLIK Madjda .2013/2014. « Etude des liaisons FH d'un réseau WLL : Acquisition des données radioélectriques dans la région de Tizi-Ouzou ».
- [3]. BEYA Léon.2010/2011. « Interconnexion entre deux cellulaires de norme GSM par faisceau hertzien, cas de CCT et Vodacom RDC », ISTA/N'DOLO .
- [4]. E. MUTSUVA. 2011/2012. « Notes du cours de la Radioélectricité, G2 Electronique » Institut Supérieur Pédagogique et Technique MUHANGI.
- [5]. ETSI, « EN 302 217-1, Fixed Radio Systems ;Characteristics and requirement for point-to-point equipment and antennas;Part1:Overview,Common characteristics and system-dependent requirements», 2016.
- [6]. http://www.ebay.fr/itm/N-Type-Plug-Male-LDF4-50a-LCF12-50J-Andrew-Heliox-1-2-Corrugated-Coax-LDF-450-et-http://f6kcz.free.fr/Technique/Montage%20des%20prises%20HF/Montage_prises_HF.htm
- [7]. <https://blog.f6krk.org> « calcul_première_ellipse_de_Fresnel-transmission_FH »
- [8]. Jean-Jacques Rousseau.2012. «les guides d'ondes rectangulaire : Informatique et réseau ».Université du Marie, le Mans-Laval.
- [9]. LUBASEKO BANSIMBA. 2010/2011. « Notes de cours de Faisceaux hertziens, G2 Radio-Transmission », ISTA/N'DOLO.
- [10]. Ministère Provincial THOPO d'Agriculture, Pêche et élevage, Statistiques de la production des produits vivriers provincial, Décembre 2021.
- [11]. MUNYONSONGOTE C. MILABO P. VINCENT Witumbula V,2010, Rapport de participation communautaire à la santé dans les zones de santé de la province Oriental(RDC) .Cahier Santé vol15, n°10,octobre-novembre-décembre 2010.
- [12]. NLANDU BASINGA Anael. 2011/2012. « Etude d'un réseau de transmission d'information par faisceau hertzien entre 2 ports ». Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa ISTA/N'DOLO -ingénieur en radio transmission
- [13]. P. Angueira et J.A Romo, Microwave Line Of Sight Link Engineering, John Wiley & Sons,Inc,2012.
- [14]. Quinchy RIYA. Février 2011. «Evolution et incidences de la technologie de la communication». Université Paris-Est Marne-La-Vallée.
- [15]. WWW.cour-constitutionnelle.cd
- [16]. WWW.MapRDC
- [17]. WORLD HEART ORGANIZATION AFRICAN REGION, Services de santé pour et par les populations Africaines, rapport d'étude en RDC/Est, Août 2011.