

TABLE DES MATIERES

Résumé	vi
Dédicace	vii
Remerciements	ix
TABLE DES MATIERES	x
Table des figures.....	vii
Liste des Tableaux	viii
Liste des Acronymes.....	1
Introduction Générale	2
Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell	5
Sommaire.....	6
Introduction	7
I.1 Faisceaux hertziens	7
I.1.1 Définition	7
I.1.2 Application des faisceaux hertziens	7
I.1.3 Types de faisceaux hertziens.....	7
I.1.3.1 Les faisceaux hertziens en visibilité directe.....	8
I.1.3.2 Les faisceaux hertziens transhorizon ou troposphériques	8
I.1.4 Caractéristiques d'un faisceau hertzien	8
I.1.5 Choix de la fréquence	9

I.1.6 Description du système Faisceaux hertzienne	9
I.1.7 La transmission	11
I.2 Approche des travaux de RainCell	12
I.2.1 Détection et estimation de la pluie	12
I.2.2 La relation A-R	13
I.2.3 Reconstruction de la pluie.....	14
Conclusion.....	15
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats	14
SOMMAIRE.....	15
Introduction	16
II.1 Présentation de la zone d'étude.....	16
II.2 Présentation des données de puissances	17
II.3 Présentation des données de pluies.....	18
II.4 Campagne pour la mise en œuvre de RainCell Sénégal	19
II.5 Analyse des premiers résultats	19
II.5.1 La faisabilité de RainCell au Sénégal	19
II.5.2 La possibilité de localiser la pluie.....	20
Conclusion.....	20
Chapitre III Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.....	22
Sommaire.....	23
Introduction	24
III.1 Impact qualitatif de la pluie sur les liaisons FH.....	24

III.2	Corrélation entre la pluie et les pertes de puissances	26
III.3	La possibilité de détecter la pluie grâce à ses liaisons	27
	Conclusion.....	28
	Conclusion Générale et Perspectives	28
	BIBLIOGRAPHIQUES	29

Table des figures

Figure 1 : La structure générale d'une liaison hertzienne.....	10
Figure 2 : Schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien.....	10
Figure 3 : Schématisation des défauts de propagations de l'onde.....	11
Figure 4 : Carte de la zone d'étude autour de Kaolack, Kaffrine et Nganda avec ces liaisons	16
Figure 5 : Données RSL de la liaison Kaffrine-Ngainth Peulh entre Août et Octobre 2016 ...	18
Figure 6 : Quantité de pluies mesurées entre Août et Octobre 2016 par le pluviomètre Installée à Kaolack.....	18
Figure 7 : Évolution de la variation journalière de la puissance reçue à Nganda (bleu) et	25
Figure 8 : liaison Kaffrine et de Nganda considéré.....	26

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Les 14 sites considérés et leurs coordonnées géographiques	17
Tableau 2 : Pertes sur les liaisons de Kaffrine et de Nganda du 16 Aout 2016.....	28

Liste des Acronymes

FH : Faisceau Hertzien

TSF : Télégraphie Sans Fil

DECT : Téléphone Sans Fil Amélioré

LOS : Line Of Sight

FOV : Field Of View

UIT : Union Internationale des Télécommunication

RF : Radio Fréquence

RLS : Received Signal Level

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Les hommes ont toujours eu le besoin de communiquer malgré les distances. Dans l'antiquité des messages parcouraient à pied la distance entre l'émetteur et le récepteur du message. A cette époque, l'information ne se déplaçait pas à la vitesse de la lumière et on ne connaissait pas les autoroutes de l'information. Plus tard, l'homme utilisait des liaisons optiques. D'abord rudimentaires (signaux de fumée, feu pour avertir d'un danger), elles ont été améliorées plus tard: le télégraphe Chappe permettait vers 1800 de transmettre les messages en utilisant des signaux optiques à l'aide de sémaphores. En 1832, Samuel Morse invente le télégraphe. C'est le premier système de transmission utilisant des signaux électriques se propageant sur une ligne. On transmet sur la ligne une suite d'impulsions brèves ou longues pour créer des symboles (lettres de l'alphabet). Ce système était très intéressant mais il nécessitait un support physique (une ligne électrique) entre l'émetteur et le récepteur. A la fin du 19ème siècle, les physiciens ont mis en évidence les ondes électromagnétiques (Maxwell, Hertz). Guglielmo Marconi, un physicien italien réalise en 1895 la première transmission radio (on parlait alors de TSF: Télégraphie sans fil) sur une distance de 1,5 km. Au cours du 20ème siècle, les progrès ont été spectaculaires en France, en février 2009, il y avait 58 millions de clients aux téléphones mobiles pour un peu plus de 64 Millions de français. Nous vivons à l'époque des télécommunications [1].

A cette évolution des télécommunications, on est passé par la transmission radio à faisceaux hertziens ensuite par liaisons satellites. Les communications sans fil représentent aujourd'hui la plus grande part de l'industrie des télécommunications. En effet, les utilisateurs exigent en tout temps la mobilité, le haut débit et le multimédia. Dans ses systèmes de communication sans fil, les émetteurs et les récepteurs sont reliés par des ondes électromagnétiques. Il n'existe aucune liaison physique entre l'émetteur et le récepteur radioélectrique.

La communication sans fil à micro-ondes est un type de communication efficace. Elle est utilisée dans la liaison point à point à multipoint. Dans une liaison à micro-ondes, il y'a deux options : la première option consiste à relier deux points quelconques situés à des distances sur la terre, il s'agit dans ce cas de liaison terrestre. La deuxième utilise des liaisons micro-ondes dites encore faisceaux hertziens est dans les liaisons entre station terrestre et les satellites placés en orbites

Ainsi, les liaisons radios à FH sont utilisées aujourd'hui dans beaucoup de domaines (dans la radiocommunication, dans la téléphonie, dans la télédiffusion etc.) à cause de ces différents avantages. Elles ne nécessitent pas de support physique, elles ont la possibilité d'avoir des débits

INTRODUCTION GENERALE

et des portées très élevées, elles ont un moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles, leur installation facile et rapide.

Par ailleurs, le principal inconvénient des signaux FH est leur vulnérabilité par rapport aux effets d'hydrométéores tels que : la pluie, le neige, la gèle, le brouillard etc. En particulier, la pluie provoque des atténuations sur ces signaux. On considère généralement que les effets de la pluie sont plus importants pour les fréquences de fonctionnement supérieur à 5GHz environ, ces effets se renforçant rapidement lorsque la fréquence croît [2]. Le grand problème est d'étudier l'effet de la pluie sur les liaisons de télécommunications radios au Sénégal, voilà la question qui nous préoccupe dans ce travail.

Un pays comme le Sénégal où les télécommunications radios occupent de plus en plus une place très importante, l'idée d'étudier l'effet de la pluie sur ces liaisons radios devient une chose excellente. C'est dans cette logique que s'oriente notre travail de recherche autour de la zone d'étude composée de trois grandes villes à savoir: Kaolack, Kaffrine et Nganda avec leurs sites considérés.

La suite de ce manuscrite se tournera essentiellement autour de trois chapitres :

Nous avons au premier chapitre étudié le système de transmission par liaison faisceaux hertzien ou nous avons donné la définition et la structure d'une liaison FH et donné une approche sur RainCell.

Au deuxième chapitre, nous avons présenté la zone d'étude, partie dans laquelle les données utilisées (puissances et pluies) sont étudiées et analyse des premiers résultats obtenus.

Enfin, le troisième chapitre nous a permis de mettre en évidence l'impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertzien : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Sommaire

I.1 Faisceaux hertziens.....	15
I.1.1 Définition.....	15
I.1.2 Application des faisceaux hertziens.....	15
I.1.3 Types de Faisceaux.....	15
I.1.3.1 Les faisceaux hertziens à visibilité direct.....	15
I.1.3.2 Les faisceaux hertziens transhorizon ou troposphériques.....	16
I.1.4 Caractéristiques d'un faisceau hertzien.....	16
I.1.5 Choix de la fréquence.....	17
I.1.6 Constitution de transmission par liaison hertzien.....	17
I.1.7 Transmission.....	18
I.2 Approche des travaux de RainCell.....	18
I.2.1 Détection et estimation de la pluie.....	18
I.2.2 La relation A-R.....	19
I.2.3 Reconstruction de la pluie.....	20

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Introduction

Une chaîne de transmission est l'ensemble des dispositifs permettant le transport d'une information sur des distances souvent importante. Cette transmission comprend trois éléments essentiels : une source, un canal de transmission et un destinataire. Dans ce chapitre, nous essayons de présenter les principales caractéristiques de la transmission de l'information par faisceau hertzien et nous essayons de faire une étude d'approche sur RainCell.

I.1 Faisceaux hertziens

I.1.1 Définition

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) bilatérale et permanente entre deux points fixes : on parle de liaison point à point. Il utilise comme support les ondes radioélectriques avec des fréquences porteuses de 1.5 GHz à 38 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du faisceau hertzien augmente [3]

I.1.2 Application des faisceaux hertziens

Les faisceaux hertziens sont utilisés principalement pour raccorder des points à distance à savoir :

La radiodiffusion (en modulation d'amplitude ou de fréquence),

La télédiffusion (analogique ou numérique, terrestre ou par satellite),

La radiocommunication : Talkie-walkie, liaison VHF pour avions ou bateaux,

La téléphonie : téléphone DECT (réseau de téléphones sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise), téléphone mobile,

L'internet : Liaison Wifi (réseau Internet sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise) [1].

Ces technologies FH sont aussi beaucoup utilisées dans le cadre du déploiement des réseaux de téléphonie mobile.

I.1.3 Types de faisceaux hertziens

Il existe deux types de faisceaux hertziens que sont :

Les faisceaux hertziens en visibilités directe,

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Les faisceaux hertziens transhorizon ou troposphériques.

I.1.3.1 Les faisceaux hertziens en visibilité directe

Ce sont ceux dans lesquels le transfert radio électrique entre les deux stations terminales est suffisamment dégagé de tout obstacle sans encombrement. Les ondes ultracourtes se propagent en ligne droite comme les ondes lumineuses nécessitent une visibilité 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 composée entre 50 et 60 km. 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).

Toute fois les faisceaux hertziens en visibilité directe présentent plusieurs 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 tous les 50 km constituent un inconvénient pour les faisceaux hertziens à visibilité directe. Cette condition limite la portée des liaisons hertziennes sans relais.

I.1.3.2 Les faisceaux hertziens transhorizon ou troposphériques

Un faisceau dit transhorizon lorsqu'elle va au-delà de l'horizon. On réalise une diversité d'espace et des fréquences pour améliorer la qualité de la liaison contrairement au précédent, la distance entre station n'étant pas limitée par condition de visibilité. On peut placer des stations relais à proximité des agglomérations que l'on veut desservir.

Les faisceaux hertziens transhorizon nécessitent les puissances tellement plus grandes avec un nombre de voies assez réduit ne dépassent pas 10 voies téléphoniques. Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent la diffusion et la diffraction des ondes électriques dans la zone turbulente de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes.

I.1.4 Caractéristiques d'un faisceau hertzien

Les faisceaux hertziens présentent certaines caractéristiques tels que :

La sécurité : la liaison par faisceau hertzien doit donner une sécurité, c'est ainsi qu'on l'équipe de station avec des matériels radios de très grandes fiabilité c'est-à-dire de très hautes fréquence et on utilise des antennes extrêmement directives à des gains qui peuvent atteindre plusieurs dizaine de dB,

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Le duplex : La transmission se fait dans les deux sens, donc elle suppose l'emploi de deux fréquences distinctes dans les deux sens,

La succession de stations relai ayant pour chaque sens de transmission des émetteurs, des récepteurs et des antennes,

Le rapport signal bruit(S/B) élevé.

Le réglage se fait à l'aide des appareils de mesure appropriés avec une procédure bien établie [4].

I.1.5 Choix de la fréquence

Le domaine de fréquence des faisceaux hertzien s'étend de 250 MHz à environ 22 GHz. Dans ce domaine, seules certaines bandes de fréquences bien définies ont été attribuées aux faisceaux hertiens terrestres. La partie inferieur du domaine n'offre que des bandes relativement étroites et ne convient qu'a des systèmes de faibles capacités. La plupart des faisceaux hertiens se situe au-dessus de 17 GHz. Toutefois, à partir de 12 GHz, l'absorption due à la pluie conduit à un affaiblissement croissant. Ce domaine ne convient pratiquement qu'à des faisceaux numériques.

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

Les couplages parasites possibles entre antennes situés sur le même support ; d'interface entre faisceaux voisin due à l'imparfaite directivité des antennes,

La possibilité d'altérer la polarisation (horizontale ou verticale) dans les canaux adjacents,

La sélectivité des récepteurs,

Le souci d'utilisation optimale du domaine fréquentiel disponible [5].

I.1.6 Description du système Faisceaux hertzienne

Le faisceau hertzien est un système de type pseudo-4-fils fréquentiel car les deux sens de transmission sont portée par des fréquences différentes.

La structure générale d'une liaison hertzienne (analogique ou numérique) sous forme simplifier est [6].

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

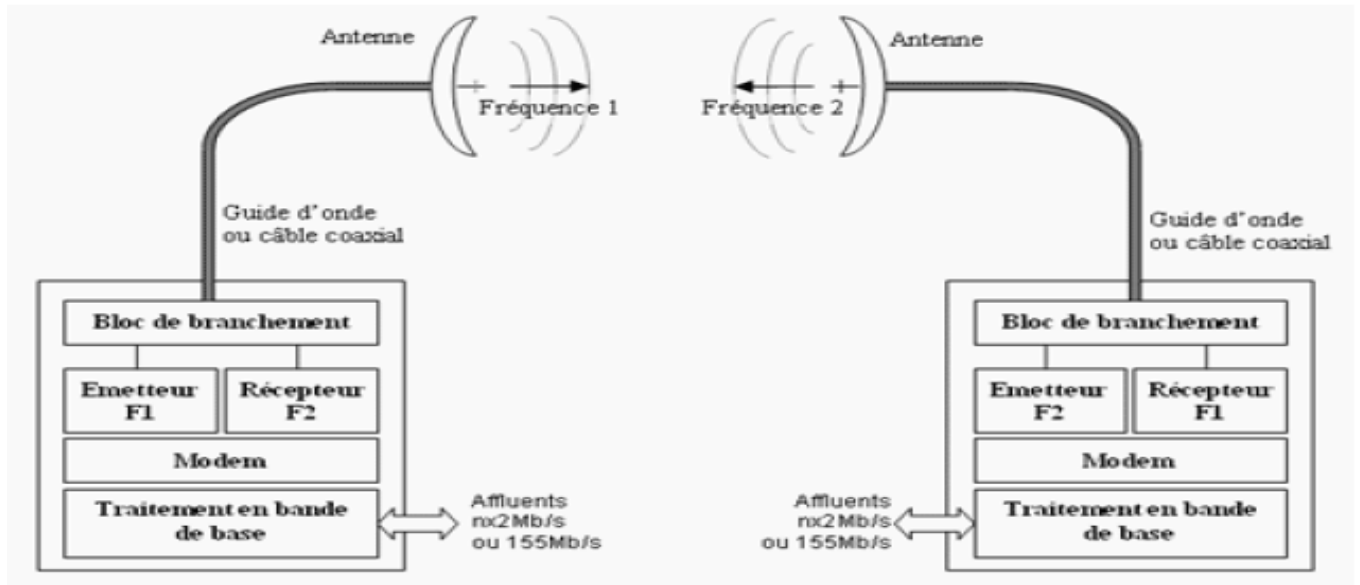


Figure 1 : La structure générale d'une liaison hertzienne

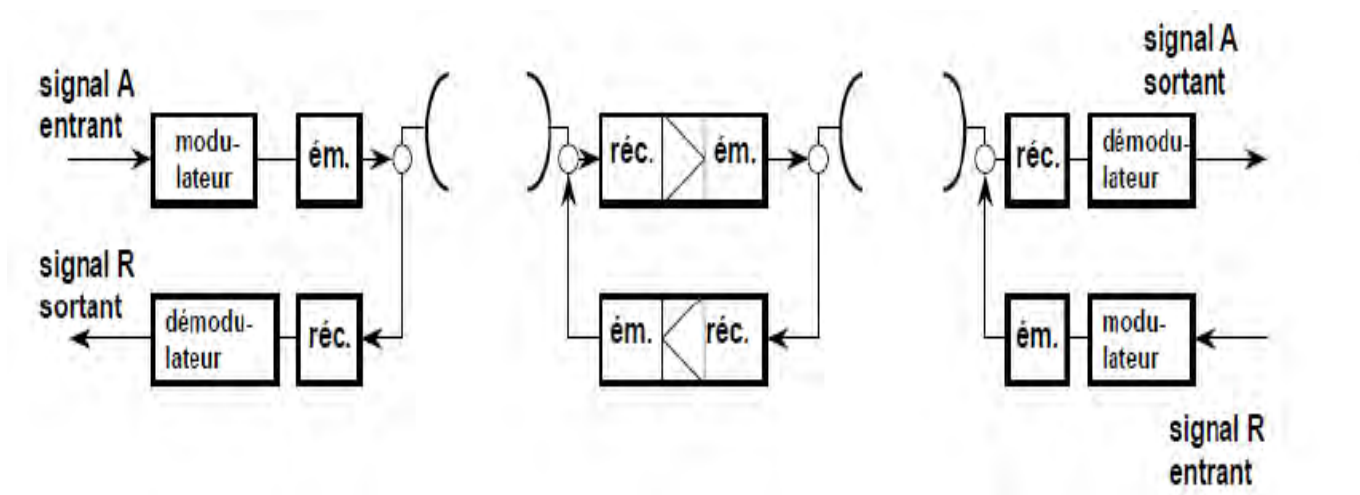


Figure 2 : Schéma synoptique typique d'un faisceau hertzien

Une liaison hertzienne comprend deux stations terminales et des stations relais, elle est composée de plusieurs bonds [6].

L'organisation représentée par le schéma ci-dessus est essentiellement celles des FH terrestres qui sont bidirectionnels.

Afin de se propager correctement, les signaux doivent être modulés sur leur fréquence porteuse. On retrouve donc, à l'entrée de la liaison, un modulateur auquel correspond un démodulateur à la sortie de la liaison.

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

On trouve ensuite l'émetteur qui transpose le signal en hyperfréquence et l'amplifie. IL lui correspond un récepteur qui amplifie et égalise le signal reçue, le transpose en fréquence intermédiaire. L'émetteur et les récepteurs sont reliés aux antennes par des guides ondes, et des câbles RF. L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : elle assure l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation.

Dans les stations relais, peut être amplifié en fréquence intermédiaire sans retour en base bande. Une transposition de fréquence permet alors de passer de la fréquence reçue à la fréquence FI puis une autre de la FI à la fréquence réémise.

I.1.7 La transmission

Lorsque l'onde traverse un milieu elle subit une atténuation qui dépend de ce milieu de transmission, une partie de l'onde pénètre à l'intérieur de l'objet. L'énergie de l'onde incidente est divisée entre l'onde transmise et l'onde réfléchie.

Plus le milieu de propagation comprend d'obstacles, plus l'exposant d'atténuation va être élevé et l'atténuation de l'onde en fonction de la distance sera d'autant plus importante.

La figure 2 permet d'expliquer le phénomène de propagation de la liaison sans fil de l'onde à l'intérieur d'un objet.

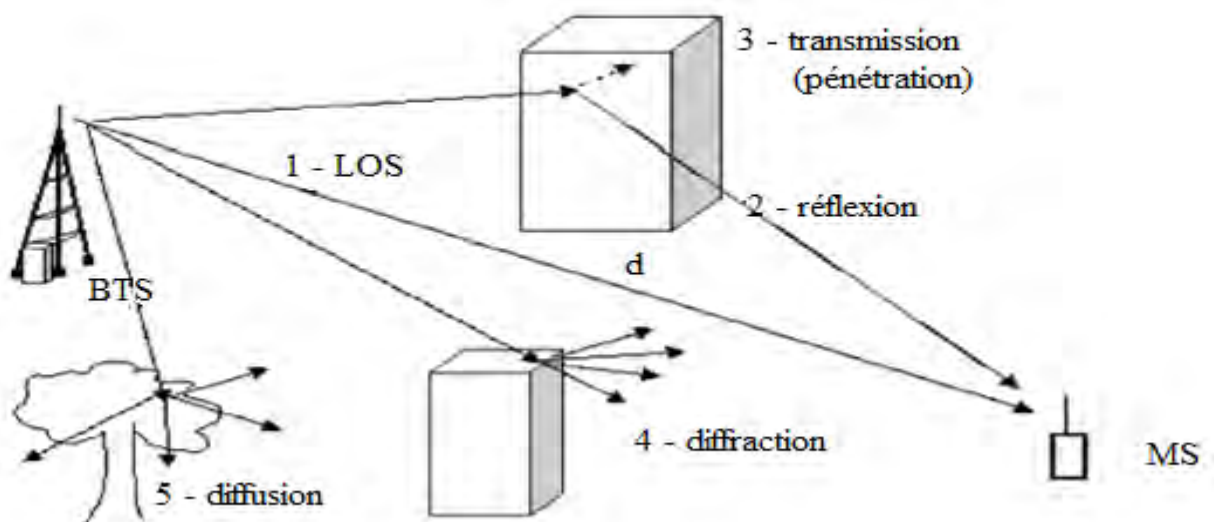


Figure 3 : Schématisation des défauts de propagations de l'onde

Aussi appelé liaison point -à- point, la liaison LOS directionnelle utilise des émetteurs à faisceaux étroits et des récepteurs à faible FOV (Field of View). Elle maximise l'efficacité

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

énergétique et minimise la consommation, car l'émetteur est focalisé sur l'objet direct. Elle simplifie également l'utilisation des concentrateurs sur le récepteur grâce à la minimisation de la dépendance à l'angle de réception, et réduit le niveau de puissance du bruit optique reçu.

Ce type de liaison ne souffre pas à la dispersion due aux multi-trajets car les contributions en puissance des réflexions sont souvent relativement très faibles par rapport à la puissance reçue du trajet direct.

Néanmoins une liaison LOS directionnelle nécessite une alimentation parfaite entre l'émetteur et le récepteur. Par conséquent, en cas de blocage de la liaison par l'indisponibilité de la visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur, la communication est interrompue. Cela représente un frein pour les applications avec des terminaux mobiles.

I.2 Approche des travaux de RainCell

RainCell (Rain measurement from Cellular phone networks), est une nouvelle méthode qui a vu le jour il y a aujourd'hui plus d'une décennie. Elle s'appuie sur le constat que la pluie affecte les signaux des réseaux sans fil [7]. Ceci peut s'expliquer de façon simple par les phénomènes de diffusion et d'absorption de l'onde par les gouttes d'eau. En effet, depuis 2006, les travaux sur RainCell n'ont cessé de progresser.

I.2.1 Détection et estimation de la pluie

Pour détecter et / ou estimer la pluie, il est nécessaire de déterminer et de calibrer le niveau de base ou Baseline ou zéro level. Autrement dit, il faut différencier l'atténuation due à la pluie et celle non causée par la pluie. Pour ce faire, il faut alors séparer les périodes sèches des périodes pluvieuses en utilisant par exemple un réseau de station [8]. Plusieurs approches sont utilisées pour déterminer la Baseline. Parmi ces méthodes, il y a la corrélation des liaisons voisines qui est utilisée par Overeem et al. [9]. Ces derniers proposent une méthode utilisant les RSL (puissance minimale reçue ou Niveau de signal reçu ou Received Signal Level) maximales et minimales avec une précision temporelle de 15 minutes. Ils établissent que, pour les liaisons de longueurs inférieure ou égales à 10 Km, la transition vers la pluie est détectable de par la relation

$$\text{Max } \{P_{\min}\} - P_{\min} > 2\text{dB}$$

Avec P_{\min} la puissance minimale instantanée reçue.

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Schleiss et Bernes [10] suggèrent une approche consistant à calculer l'écart-type des données RSL dans une fenêtre prédéterminée de 15 à 35 minutes. Néanmoins, pour cette approche, la longueur de la fenêtre temporelle et le seuil de décision doivent être d'abord défini.

Chawala et al. [11] proposent à leur tour une autre méthode de fenêtrage utilisant cette fois-ci la transformation de fourrier rapide sur les RSL. En divisant le spectre en deux régions basse et haute, la puissance dans chaque région est calculée. La différence entre ces deux puissances, comparée à un seuil probablement défini, permet de dire si la période est pluvieuse ou pas.

Après avoir détecté la pluie et, pour estimer cette dernière, il faut faire la conversion de la perte en pluie. Il s'agit, connaissant les pertes dues à la pluie ; d'en déduire la quantité de pluie. Cette méthode est simple mais présente un inconvénient majeur : elle indique implicitement que la pluie est constante le long de la liaison. En plus, elle n'est pas précise à cause des erreurs pouvant être dues à l'humidité des antennes, au vent etc. [8] C'est pourquoi souvent les données radars, Satellite ou de station pluviométriques sont utilisés pour avoir une idée sur la variation spatiale de la pluie.

I.2.2 La relation A-R

La relation A-R est l'approche la plus empirique, liant l'atténuation due à la pluie (A) et l'intensité de pluie (R) [12] [8]. C'est une méthode théorique utilisant une répartition uniformément aléatoire des gouttes de pluie modelées sous forme de sphères d'eau ou de forme plus complexes. L'approximation de la relation la plus utilisée est la loi de puissance simplifiée [13], défini sur l'équation (1). A est l'atténuation linéique (dB/Km), R est l'intensité horaire de la pluie (mm/h), a et b sont des paramètres dépendant de la fréquence et de la polarisation. Ces paramètres a et b peuvent être obtenue par calcul ou grâce à un tableau de valeurs établies par l'ITU-R après diverses expériences. La plupart des travaux se base sur les recommandations de l'UIT [14] [15] donnant les valeurs approximatives de a et b, suivant la fréquence et la polarisation. La validité de cette approximation a été prouvée pour les fréquences entre 1 et 1000 GHz [12].

$$A_{dB}/km = aR^b \quad (1)$$

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

Cette relation est une approximation. En effet l'impact de la pluie dépend de plusieurs facteurs qu'elle ne prend en compte : température de la pluie et distribution des gouttes d'eau de la pluie. Ces paramètres ne sont pas constants et peuvent varier pendant la même pluie, particulièrement la distribution de la pluie qui varie dans l'espace et dans le temps [16].

La relation générale A-R est l'équation (2).

$$A_{dB/km} = aR^b [\sum_{n=2}^{\infty} c_n f^n R^{nd}] \quad (2)$$

Les paramètres a , b , d et c_n sont toutes des fonctions de la température de la pluie, de la distribution des gouttes de pluie, de la fréquence. Le facteur d'un paramètre constant dépend de la distribution des gouttes d'eau. La fréquence f est en GHz. Lorsque f tend vers 0 (fréquences basses, <1GHz), l'équation devient la relation A-R simplifiée. Ceci est aussi vrai lorsque f tend vers 1 (fréquences optiques, >1000Ghz). La relation A-R établie et validé par l'UIT n'est pas valable dans certaines zones à cause de la différence des conditions météorologiques comme la température. Beaucoup de recherches ont prouvé aussi la nécessité de corriger cette relation dans certaines régions. [17].

I.2.3 Reconstruction de la pluie

La reconstruction des cartes pluviométriques est un aspect important et difficile. Comme vu précédemment, la distribution spéciale de la pluie est pratiquement jusqu'à la impossible à prendre en compte totalement. L'atténuation sur les données RSL ne donne que la moyenne de la pluie sur toute la liaison. Néanmoins, beaucoup d'algorithmiques ont été proposés. La plus part de ces algorithmes ne tiennent pas compte de l'évolution temporelle.

Zinevich et al. [18] ont été les premiers à travailler sur la reconstruction de la pluie en utilisant RainCell. Ils proposent une méthode topographique non linéaire qui traite le problème de la variabilité de la taille de cellule (une cellule est définie comme une zone comprise entre les liaisons), compte tenu de l'irrégularité de la topologie des réseaux backhails (longueur de liaison etc.), la quantification de l'observation et la non- linéarité de la relation A-R pour différentes liaisons.

Goldstein et al. [19] propose un algorithme qui subdivise la liaison entre K intervalles (pour prendre en compte la variabilité spéciale de la pluie sur la liaison). Cet algorithme consiste a un

Chapitre I : Transmission par liaison faisceau hertzien et Approche RainCell

prétraitement des données suivi d'un algorithme de moindres carrés pondérés pour extraire la quantité de pluie de n'importe quel point dans l'espace. Cette reconstruction nécessite de prendre en compte les liaisons voisines. Pour chaque liaison, le poids est choisi comme étant l'inverse de la distance.

Overem et al. [20][21] suggèrent aussi une méthode pour reconstruire des cartes pluviales à l'échelle d'un pays utilisant des mesures minimales et maximales RSL d'une résolution de 15 minutes. Avec des ajustements grâce aux données de radar le long des liaisons, les intensités sont dérivées.

Zinevich et al. [22] propose un algorithme qui prend en compte la variabilité temporelle de la pluie mais en supposant que celle-ci est entraînée par le vent. Avec cette méthode, ils ont déterminé la vitesse et la direction du vent pendant l'orage en utilisant des données RSL.

Sendik et Messer [23] proposent une approche utilisant une fonction bidimensionnelle (par exemple une carte de pluie) échantillonnée par des projections le long des liaisons.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commençons par une introduction et d'une bref définition d'un faisceau hertzien, puis nous avons donné une étude générale de la transmission par FH.

Ensuite, nous avons présenté la transmission de l'onde radioélectrique, partie dans laquelle le principe d'émission et de réception des signaux par la liaison LOS a été élucidé. Enfin, nous avons donné une petite approche des travaux de RainCell au Sénégal.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

SOMMAIRE

II.1	Présentation de la zone d'étude	23
II.2	Présentation des données de puissances.....	24
II.3	Présentation des données de pluies.....	25
II.4	Campagne pour la mise en œuvre de RainCell Sénégal.....	26
II.5	Analyse des premiers résultats.....	26
II.5.1	La faisabilité de RainCell au Sénégal.....	26
II.5.2	La possibilité de localiser la pluie.....	27

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

Le tableau 1 illustre le nom des 14 sites considérés et leur position géographique. La zone d'étude comporte au total 21 liaisons FH (BTS) qui feront l'objet de notre travail.

Site	Latitude	Longitude
Kaffrine	14.103097	-15.550647
Kaolack	14.001952	-16.109441
Nganda	13.830369	-15.425138
Ngainth Peulh	14.002925	-15.450002
Mbeune Diouma	14.014697	-15.589466
Ndiedieng	13.947688	-16.154797
Koumbal	14.018711	-16.021788
Mbeuleupe	13.932166	-15.538141
Mbirkilane	14.217175	-15.748227
Médina Thiss	13.814877	-15.663904
Ndakhhar Peul	13.804233	-15.518063
Khoube	13.785327	-15.241444
Niakhène	14.027227	-15.190669
Ndiao Banbaly	13.856697	-15.549155

Tableau 1 : Les 14 sites considérés et leurs coordonnées géographiques

.En plus de ces liaisons, trois stations pluviométriques ont été installés dans chacune de ces trois villes. Elles sont installées le 14 Aout 2016, et jour à partir duquel la collecte de donnée a commencé. Ces stations serviront d'outils de validation les données de puissances.

II.2 Présentation des données de puissances

Pour chaque liaison, SONATEL a fourni les informations de supervision : puissance minimale et maximales de réception et d'émission, fréquence utilisée, etc. La résolution temporelle de ces données est journalière. Cependant, l'opérateur fait des mesures chaque quart d'heure (15 minutes), et sort les puissances minimales et maximales. A la fin de chaque journée, les puissances maximale et minimale reçues et émises sont récupérées. La figure 4 représente un exemple de données fournies par la SONATEL pour la liaison Kaffrine-Ngainth Peulh. Le principal constat est qu'il y a des différences nettes entre la puissance reçue minimale et maximale pour certains jours qui s'avèrent être des jours de pluie.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

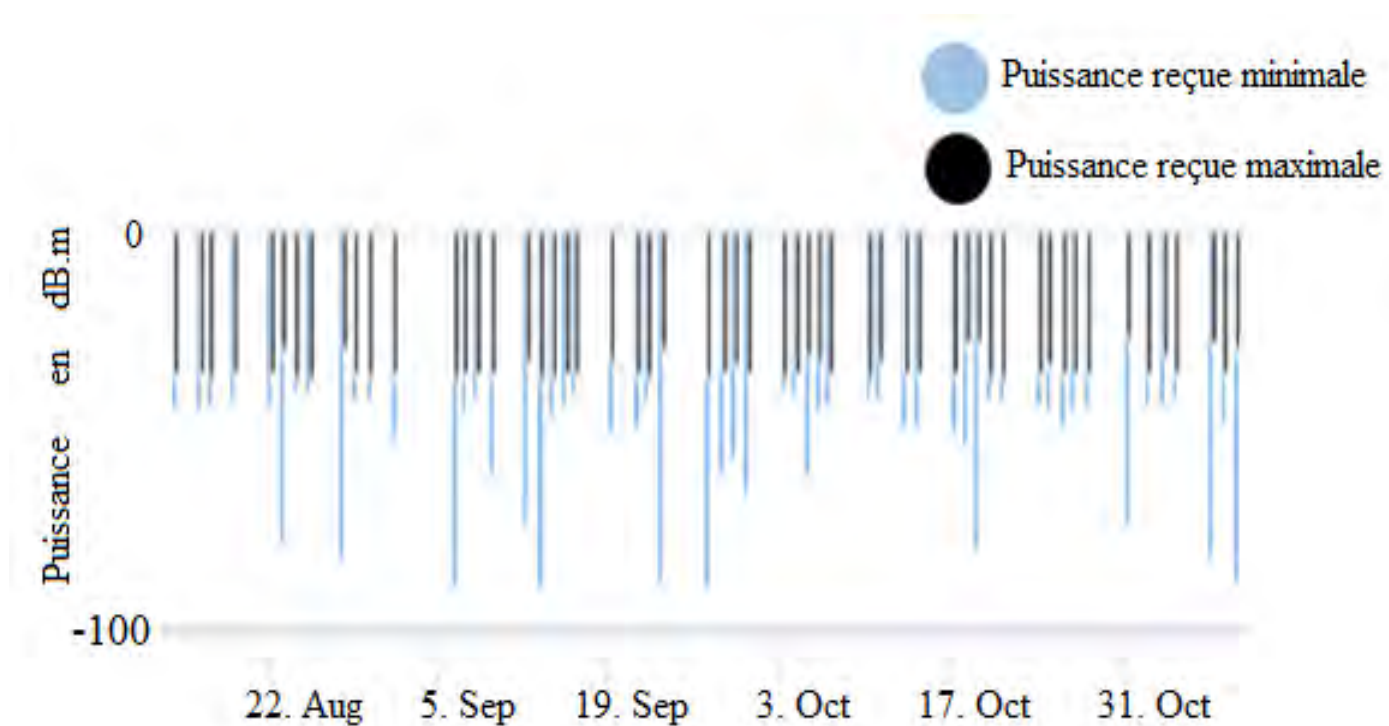


Figure 5 : Données RSL de la liaison Kaffrine-Ngainth Peulh entre Août et Octobre 2016

II.3 Présentation des données de pluies

La figure 5 représente un exemple de quantités de pluie mesuré par la station de Kaolack durant toute la saison des pluies de 2016 (entre Aout et Octobre). On constate est que, la quantité maximale de pluie a été enregistrée le 29 Septembre 2016.

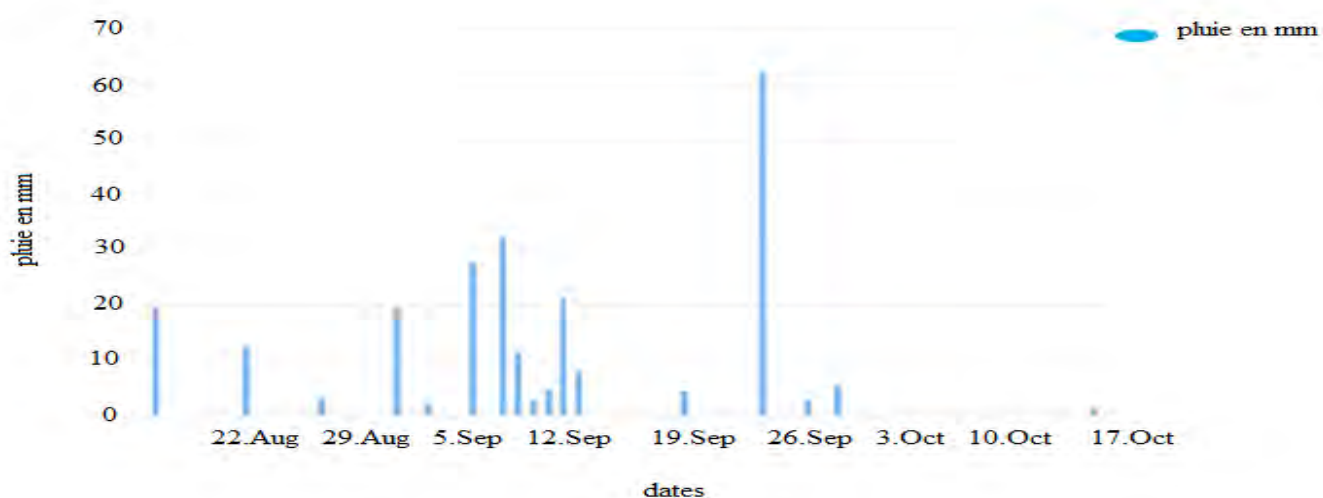


Figure 6 : Quantité de pluies mesurées entre Août et Octobre 2016 par le pluviomètre Installée à Kaolack

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

II.4 Campagne pour la mise en œuvre de RainCell Sénégal

La mise en œuvre du RainCell reste un aspect délicat. En effet, cette approche n'est toujours pas mature et elle dépend fortement des conditions environnementales de la zone. Bien que la relation A-R reste applicable en estimation et que l'impact de la pluie sur les réseaux sans fil soit prouvé, n'y a pas de formule ni de modèle applicable partout. Ainsi, la mise en œuvre de RainCell nécessite d'abord une étape importante : sa faisabilité au Sénégal. Pour cela, il faut utiliser une ou plusieurs approches traditionnelles [24]. D'une part, il faut vérifier l'impact de la pluie sur les réseaux backhuls. Après cela, il faut établir une corrélation entre la pluie et les pertes de puissance. Le LPAO-SF dispose d'un réseau de station classique. Néanmoins, il a fallu concevoir des stations automatiques dans le cadre de ce projet.

Ainsi, grâce à la collaboration avec la SONATEL une campagne a été menée à partir du mois d'Aout 2016. Elle consiste d'abord à un déploiement de stations pluviométriques connectées conçue dans le cadre du projet SenPluvio autour de la zone d'étude. La SONATEL assure la collecte des données de supervisions de ces réseaux Backhuls. Ainsi, les données de pluie pendant toute la saison des pluies de 2016, associées à celles des liaisons ont été récupérées et utilisé dans ce travail.

II.5 Analyse des premiers résultats

II.5.1 La faisabilité de RainCell au Sénégal

Nos études faites ont montré la faisabilité de RainCell au Sénégal. Les données sont analysées sur un certain nombre de liaisons de la SONATEL. Le résultat est que :

- Toutes les journées de pluies sont marquées par une très forte atténuation des signaux. En effet, lors qu'il pleut dans un site (mesure faite par la station pluviométrique), toutes les liaisons de ce site sont affectées. Même s'il y a d'autres phénomènes affectant les signaux, les travaux scientifiques sur RainCell permettent quand même de dire qu'une partie de ces pertes est due à la pluie. C'est pourquoi, la différence entre les puissances maximale et minimale est élevée. Cette différence permet d'approximer la perte due à la pluie. La comparaison pertes et pluies a montré que cette différence est plus significative pour les jours ou il a plu.
- Certains jours présentent des pertes aussi grandes alors que les stations pluviométriques n'ont pas mesuré de pluie. Les liaisons étant toutes FH, donc visibilité directe, les pertes dues à des

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

phénomènes inconnus (non pris en charge dans le bilan des liaisons), ne devrait pas être aussi énormes. De ce fait, toutes les atténuations fortes sont dues à des pluies sur les liaisons et entre les deux sites concernées : c'est la distribution spatiale de la pluie.

Ces résultats ont été tous obtenus en utilisant le réseau d'un opérateur sénégalais dans un environnement sénégalais. Ils confirment les travaux sur la validité du concept RainCell. Par conséquent, ceci montre bien que l'application de ce concept est faisable au Sénégal.

II.5.2 La possibilité de localiser la pluie

L'avantage du réseau backhaul de la SONATEL utilisé est surtout sa densité. En effet, en faisant un zoom sur Kaffrine et Nganda et leurs liaisons, le constat est que ces liaisons ne sont pas très éloignées. L'analyse des données de liaisons et de pluies montre.

- Considérant une liaison donnée entre deux sites, s'il pleut dans un des sites, toutes les liaisons de ce site sont affectées (résultat précédent), alors que toutes les liaisons de l'autre site ne sont pas affectées.
- Considérant une liaison donnée entre deux sites, s'il pleut dans chacun de ces deux sites, alors toutes les liaisons de ces deux sites sont affectées.
- Considérant une liaison donnée entre deux sites, s'il pleut seulement entre les deux sites et non dans les deux sites, alors les liaisons de ces sites ne sont toutes affectées.

Ces résultats démontrent que, en tenant de la distribution spatiale de la pluie, les données, d'une même pluie peut affecter différents sites (à des instants différents ou pas). En utilisant la distribution de ces sites inclue les sites dans lesquels la pluie est détectée, il est possible de faire la reconstruction de la pluie.

Conclusion

Ce chapitre commence par une présentation générale de notre zone d'étude, puis d'une brève présentation des données utilisées à savoir les données de pluies et de puissances. Ensuite, nous avons donné l'étude de la campagne de mise en œuvre de RainCell au Sénégal. Enfin, ce

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude, des données utilisées et analyse des premiers résultats

chapitre est terminé par l'analyse des premiers résultats obtenus, partie dans laquelle la faisabilité de RainCell au Sénégal est étudiée et la localisation de la pluie.

Chapitre III Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

Sommaire

III.1 Impact qualitative de la pluie sur les liaisons FH.....	29
III.2 Corrélation entre la pluie et les pertes de puissances.....	30
III. 3 La possibilité de détecter la pluie grâce à ses liaisons.....	31

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

Introduction

Dans ce chapitre, l'objectif est d'abord de déterminer l'impact de la pluie sur les liaisons FH dans notre zone d'étude. Cette partie nous a permis, de faire la corrélation de la pluie et les pertes de puissances ensuite de déterminer la possibilité de détecter la pluie grâce aux liaisons FH.

III.1 Impact qualitatif de la pluie sur les liaisons FH

Les données de la SONATEL sont des données journalières. Il n'est pas possible de déterminer les pertes de puissances réelles aux mêmes instants. Néanmoins, la différence entre la puissance maximale émise et la puissance minimale reçue (pour chaque sens) permettrait de déterminer les pertes de puissances maximales. Ces pertes donnent les atténuations totales au pire des cas et dans le pire instant de la journée concernée. Pour montrer l'impact de la pluie sur les liaisons FH une observation est faite sur la variation de la puissance reçue au fil des jours.

Après analyse de la perte pendant certains jours, certains événements sont identifiés. Le tout est mis sur la figure 6. Les flèches en noires représentent les journées de coïncidence entre les pertes de puissances et les mesures effectives de pluviomètres installés.

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

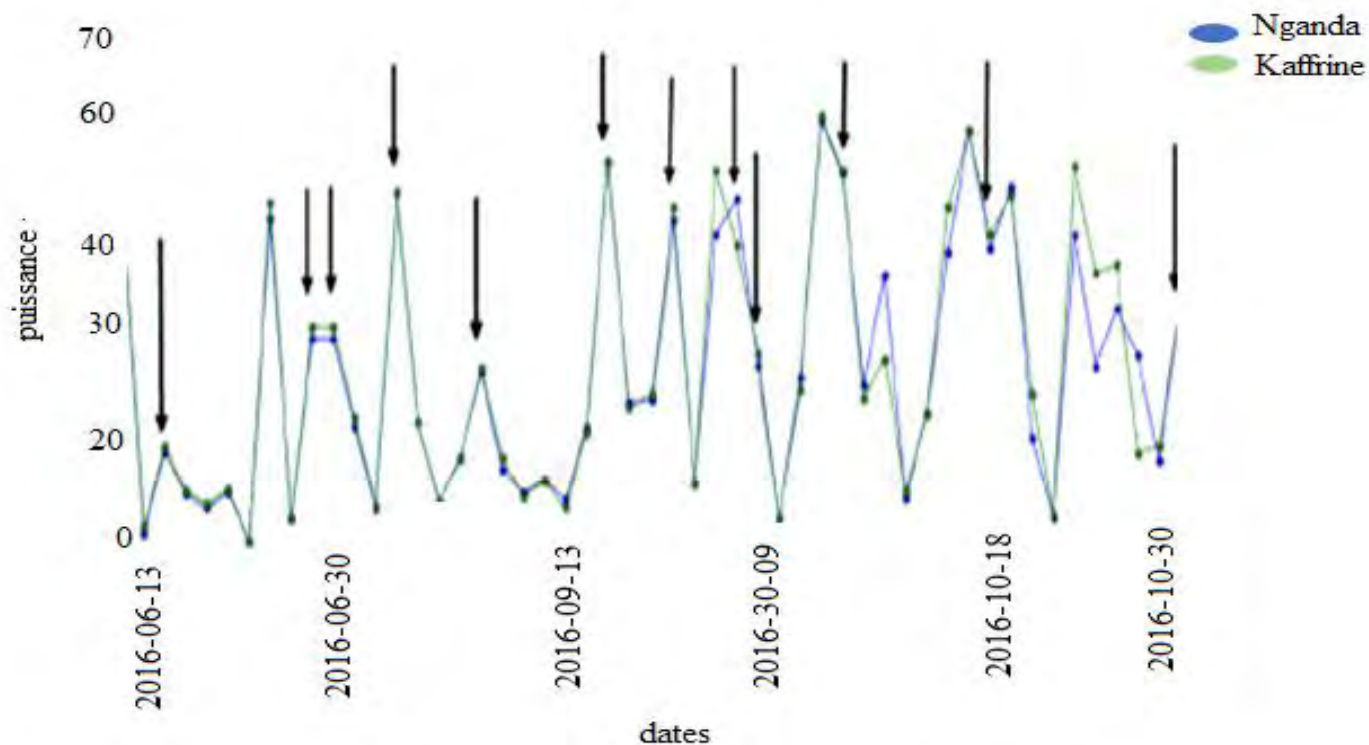


Figure 7 : Évolution de la variation journalière de la puissance reçue à Nganda (bleu) et Kaffrine (vert)

Les résultats de l'analyse sont les suivants :

- Lorsqu'il pleut à Kaffrine ou Nganda : la différence entre la puissance reçue maximale et minimale est très significative : présente de perte due à la pluie.
- Lorsqu'il ne pleut ni Kaffrine ni à Nganda, Cette différence est souvent très petite, mais est parfois importante. Ce résultat peut être expliqué du fait, qu'il est difficile de savoir la distribution de la pluie sur une liaison. En effet, il peut ne pleuvoir ni à Kaffrine ni à Nganda et pleuvoir seulement entre ces deux sites. Autrement dit, il peut bien pleuvoir sur l'axe Kaffrine-Nganda sans que les stations de Kaffrine et Nganda ne mesurent de la pluie.

L'observation de la variation fait remarquer une similitude entre les pertes de Kaffrine et celles de Nganda. Ces résultats sont encore retrouvés : les pertes exagérées correspondant à la différence des puissances maximale et minimale reçu, sont pratiquement les mêmes dans tous les deux sites.

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

III.2 Corrélation entre la pluie et les pertes de puissances

D'après les différents résultats qu'on a trouvés, il est maintenant clair que la pluie atténue les signaux sur les liaisons FH. Mais quelle corrélation peut sortir entre la pluie et cette atténuation. Pour répondre à cette question la liaison Kaffrine – Nganda est prise comme liaison de référence. Ce choix est motivé par le fait qu'une station automatique est placée dans chacun de ses deux (02) sites. Chaque site comporte aussi ces propres liaisons secondaires avec d'autres sites comme représenté sur la figure 7.



Figure 8 : liaison Kaffrine et de Nganda considéré

Quelques hypothèses :

Plusieurs hypothèses peuvent être dès lors commencées à se poser :

- Hypothèse 1 : S'il pleut à Kaffrine (respectivement Nganda), toutes les liaisons de Kaffrine (respectivement Nganda) sont affectées.
- Hypothèse 2 : S'il pleut à Kaffrine (respectivement Nganda), toutes les liaisons de Nganda (respectivement Kaffrine), sont toutes affectées.

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

- Hypothèse 3 : S'il pleut à Kaffrine et Nganda, toutes les liaisons de chacun de ces deux sont affectées.
- Hypothèse 4 : S'il pleut entre Kaffrine et Nganda, les liaisons de Kaffrine ni celles de Nganda, ne sont pas toutes affectées.

III.3 La possibilité de détecter la pluie grâce à ses liaisons

L'impact de la pluie sur les liaisons FH étant démontré, le deuxième résultat obtenu est qu'il est possible de savoir s'il pleut dans un site en observant simplement ses liaisons. La pluie de chacun des trois (03) sites ayant une station est analysée et corrélée avec des pertes de puissances sur les liaisons.

- Tout d'abord, la pluie est évaluée. Pour chaque jour de pluie, les pertes sur les liaisons sont étudiées. Cette étude montre que la pluie dans un site affecte toutes les liaisons de ce site de façon considérable.
- En faisant la procédure inverse c'est à dire évaluer d'abord les pertes de puissances et voir s'il a plu, le même résultat est retrouvé. En effet, l'analyse montre qu'il pleut dans un site lorsque toutes les liaisons de ce site ont des pertes de puissances considérables. De même, lorsque toutes les liaisons d'un site n'ont pas de pertes de puissances considérables, alors il n'a plu dans ce site.

Ce résultat double montre que la pluie dans un site et les pertes sur toutes les liaisons à ce site vont de paires. Par conséquent, la pluie dans un site peut être détectée par les pertes de puissances de ces liaisons. Ce résultat propose une méthode plus précise et donc améliore l'approche dans laquelle une seule liaison est étudiée.

Les pertes de puissances sur les liaisons de Kaffrine et Nganda sont notées dans le tableau 2 pour la journée de pluie du 16 Aout 2016.

Chapitre III : Impact de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens : cas de la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

	Liaison 1	Liaison 2
Kaffrine / gainth	53.7 dB / 52.8 dB	X
Kaffrine / mbeune	2.9 dB / 2.2 dB	3.1 dB / 2.3 dB
Kaffrine / mbirkilane	5.1 dB / 5.8 dB	5.1 dB / 5.7 dB
Kaffrine / médina	3.6 dB / 4.6 dB	3.7 dB / 4.7 dB
Nganda / mbeuleupe	51.7 dB / 49.0 dB	46.6 dB / 45.3 dB
Nganda / ndakhar	7.7 dB / 7.9 dB	7.9 dB / 7.6 dB
Nganda / khoube	8.6 dB / 7.2 dB	8.4 dB / 7.4 dB
Nganda / ndiao	4.0 dB / 4.9 dB	3.9 dB / 4.9 dB
Nganda / niakhene	10.5 dB / 8.3 dB	9.5 dB / 11.3 dB

Tableau 2 : Pertes sur les liaisons de Kaffrine et de Nganda du 16 Aout 2016

Le constat ici est que : hormis les liaisons Kaffrine – Gainth et Nganda – Mbeuleupe, les liaisons de Nganda sont toutes plus atténuées que celles de Kaffrine. Les pertes sur certaines liaisons de Kaffrine sont faibles et peuvent être vues comme des pertes non dues à la pluie (ou due aux traces de pluies). On peut noter qu’il a plu à Nganda alors que les liaisons de Kaffrine ne sont pas toutes affectées.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre on a fait une étude globale de l’impact de la pluie sur les liaisons FH dans la zone de Kaolack, Kaffrine et Nganda. D’après les résultats obtenus dans cette partie, est maintenant claire que la pluie affecte les signaux hertziens. Il permet de dire s’il pleut dans un site en regardant tout simplement ses liaisons

Conclusion Générale et Perspectives

Au cours de ce projet de fin d'étude de mémoire, nous avons étudié l'influence de la pluie sur les liaisons radios. Ainsi, nous avons développé la transmission du signal radio par faisceau hertzien dans la zone d'étude choisie autour de trois grandes villes à savoir Kaolack, Kaffrine et Nganda au Sénégal.

Nous avons étudié RainCell Sénégal qui est une nouvelle méthode qui nous a permis d'étudier que la pluie affecte les signaux des réseaux sans fil. Cette méthode peut s'expliquer de façon simple par les phénomènes de diffusion et d'absorption de l'onde par les gouttes d'eau. Cela nous a permis de mieux comprendre le phénomène d'atténuation de la pluie sur les liaisons faisceaux hertziens à travers les puissances maximale et minimale. L'étude de la différence entre la puissance maximale émise et la puissance minimale reçue permettrait de déterminer les pertes de puissances maximales. Ces pertes donnent les atténuations totales de la pluie sur ces liaisons au pire des cas et dans le pire instant de la journée de pluie concernée.

Ce projet de fin de cycle nous a permis d'enrichir notre connaissance dans le domaine des systèmes de télécommunication radio à faisceaux hertziens.

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : L. Laynier, «Liaisons hertziennes1», Available: <http://www.louisreynier.com/fichiers/Liaison%20hertzienne%201.pdf>.
- [2] : Rec. UIT-R P.838 Modèle d'affaiblissement linéique dû à la pluie destiné aux méthodes de prévision
- [3] : Y. M. ADOUM, «Etude et mise en service de la liaison faisceau hertzien Loumbila-Kamboincè au Burkina Faso», Institut supérieur d'informatique et de gestion (ISIG), 2009. [En ligne]. Available: http://www.memoireonline.com/02/12/5364/m_tude-et-mise-en-service-de-la-liaison-par-faisceau-hertzien-Loumbila-Kamboince-au-Burkina-Faso15.html.
- [4] : A. Nlandu, «Etude d'un réseau de transmission d'information par faisceau hertzien entre deux ports de la province du bas- Congo. Cas de port de Matadi et Boma en RDC», 2012. Available: http://www.memoireonline.com/10/13/7633/m_Etude-d-un-reseau-de-transmission-d-information-par-faisceau-hertzien-entre-deux-ports-de-la-provin19.html.
- [5] : Ana el Nlandu, Etude d'un réseau de transmission d'information par faisceau Hertzien entre deux ports de la province du bas- Congo. Cas de port de Matadi et Boma en RDC, 2012.
- [6] : «LES FAISCEAUX HERTZIENS», Available: <https://fr.scribd.com/doc/52496989/COURS-DE-FH>.
- [7] : <http://www.osiris.sn/Le-Cameroun-va-implementer-la.html>, June 2017.
- [8] : Hagit Messer and Omry Sendik. A new approach to precipitation monitoring : A critical survey of existing technologies and challenges. IEEE signal processing magazine, 32(3) : 110-122, 2015.
- [9] : A. Overeem, H. Leijnse, and Ruijlenenhoet. Measuring urban rainfall using microwave links from commercial cellular networks. Water Resources Research, 47(12), 2011.

BIBLIOGRAPHIQUES

- [10] : Marc Schleiss and Alexis Berne. Identification of dry and rainy periods using télécommunication Microwave links. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(3) :611–615, 2010.
- [11] Christian Chawala, Andreas Gmeiner, Wei Qiu, Susanne Hipp, David Nienaber, Uwe Siart, T Eibert, Martin Pohl, J Seltmann, Jürgen Fritz, et al. Précipitation observation using microwave backhaul links in the alpine and pre-alpine région of southern germany. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8) :2647–2661, 2012.
- [12] : ROGERS Olsen, D V Rogers, and D Hodge. The are b relation in the calculation of rain attenuations. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 26(2) :318–329, 1978.
- [13] : DV Rogers and RL Olsen. Calculation of radiowave attenuations due to rain at frequencies Up to 1000 gHz, crc rep. 1299, dep. Of commun. Commun. RES. Center, Ottawa, Ont, 1976.
- [14] : ITURP Recommandation. 838-2. specific attenuations model for rain for use in prédiction methods. ITU-R Recommendations, P Series Fasicle, ITU, Geneva, Switzerland, 2003.
- [15] ITURP Recommandation. 838-3. specific attenuations model for rain for use in prédiction methods. ITU-R Recommendations, P Series Fasicle, ITU, Geneva, Switzerland, 2005.
- [16] Sounmaila Moumouni, Marielle Gosset, and Etienne Houngrinou. Main features of Rain drop size distributions observed in benin, West africa, with optical disdrometers. *Geophysical Research Letters*, 35(23), 2008.
- [17] : Abayomi IO Yussuff and Nor Hisham Haji Khamis. Modified itu-r rain attenuation prediction model for a tropical station. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 1(3), 2013.
- [18] Artem Zinevich, Pinhas Alpert, and Hagit Messer. Estimation of rainfall fields using commercial microwave communication networks of variable density. *Advances in water ressources*, 31(11) :1470–1480, 2008.

BIBLIOGRAPHIQUES

- [19] Oren Goldshtein, Hagit Messer, and Artem Zinevich. Rain rate estimation using measurements from commercial télécommunications links. *IEEE Transactions on Signale Processing*, 57(4) :1616–1625, 2009.
- [20] Aart Overeem, Hidde Leijnse, and Remko Uijlenhoet. Country-wide rainfall maps from a commercial cellular telephone network. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, volume 14, page 5937, 2012.
- [21] Aart Overeem, Hidde Leijnse, and Remko Uijlenhoet. Country-wide rainfall maps from cellular communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(8) :2741–2745, 2013.
- [22] : Artem Zinevich, Hagit Messer, and Pinhas Alpert. Frontal rainfall observation by a commercial microwave communication network. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(7) :1317–1334, 2009.
- [23] : Omry Sendik and Hagit Messer. On the reconstructability of images sampled by random line projections. In *Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), 2012 IEEE 27th Convention of*, pages 1–5. IEEE, 2012.
- [24] : Ali Doumounia, Marielle Gosset, Frederic Cazenave, Modeste Kacou, and François Zougmore. Rainfall monitoring based on microwave links from cellular telecommunication Networks : First results from a West african test bed. *Geophysical Research Letters*, 41(16) :6016–6022, 2014.