

Approche Technique D'analyse Comparative Des Modèles De Planification Des Couvertures Des Réseaux Cellulaires Des Normes 4G/LTE Dans La Ville Province De Kinshasa

Luvuezo Dikizeyiko
Chef Des Travaux

Henri Bulambo Dibwe
Professeur Associé ; Patrice Bondo Muteba Professeur Ordinaire

Résumé

Avec l'arrivée des technologies 3G, les réseaux de télécommunications ont connu une grande expansion. Ces réseaux ont permis l'intégration de nouveaux services et un débit adéquat, permettant ainsi aux opérateurs de répondre à la demande croissante des utilisateurs. Cette rapide évolution a porté les opérateurs à adapter leurs méthodes de planification aux nouvelles technologies qui, augmentent la complexité au niveau du réseau. Cette complexité devient plus importante quand ces réseaux regroupent plusieurs technologies d'accès différents en un réseau hétérogène, comme dans le cas des réseaux mobiles de prochaine génération ou réseaux 4G. La planification fait alors intervenir de nouveaux défis tels que : l'augmentation considérable des demandes de services, la compatibilité avec les réseaux actuels, la gestion de la mobilité intercellulaire des utilisateurs et l'offre d'une qualité de services les plus flexibles. Ainsi, pour créer un réseau flexible aux ajouts et aux retraits d'équipements, une bonne méthode de planification s'impose. C'est dans ce contexte que se situe ce mémoire, qui vise à faire la planification d'un réseau 4G à partir d'un réseau 3G existant. De façon générale, le problème de planification fait intervenir plusieurs sous-problèmes avec chacun un niveau de complexité différent. Dans ce travail, le sous-problème qui est traité concerne l'analyse comparative des ces réseaux cellulaires. Ce problème consiste à déterminer les modèles de propagation appropriés pour la planification des couvertures.

Mots clés : Planification, cellules, réseau LTE

Date of Submission: 04-08-2026

Date of Acceptance: 14-08-2026

I. Introduction

Les télécommunications sont un monde très prisé, à très forte valorisation, et dont le nombre d'abonnés ne cesse de croître. La rentabilisation offrant des chiffres bien flatteurs encourage à investir mais surtout poussent les opérateurs à se soucier de la qualité de leur service. C'est ainsi qu'est né LTE (Long Term Evolution)[25], une technologie de la 4^{ème} génération se présentant comme le digne successeur de l'HSPA (3G).

Les opérateurs, compte tenu des exigences des utilisateurs, se doivent de faire face à plusieurs défis techniques pour la mise en place de leur nouveau réseau dont le plus important se trouve être sans doute le processus de planification. En effet, une bonne planification du réseau permet une exploitation optimum des Qos. Ainsi, le déploiement des différentes infrastructures requiert par conséquent une étude approfondie sur la zone à couvrir.

Dans cet article, nous allons justement nous focaliser sur cette partie, et ainsi donc faire une étude de la planification du réseau d'accès d'un réseau LTE et enfin comparer leurs modèles de propagations.

Les modèles de propagation sont largement utilisés dans la planification des réseaux mobiles, en particulier pour la réalisation d'études de faisabilité et lors du déploiement initial [2] [3]. Ils sont également très utiles pour la réalisation d'études d'interférence à mesure que le déploiement se poursuit. Ces modèles peuvent être classés en trois types; empirique, déterministe et stochastique. Les modèles empiriques sont ceux basés sur des observations et des mesures seules. Dans le cas échéant, nous verrons les modèles de Hata Okumura, Cost-Hata et Erceg-Greenstein en particuliers. Tous ces modèles prédisent la perte de trajet en fonction de divers paramètres, par exemple la distance, les hauteurs d'antenne, etc. Bien que les modèles de propagation empiriques pour les systèmes mobiles aient été complètement validés, le choix du meilleur modèle se fait en fonction du type de zone.

Ainsi dans cette dissertation, la validité des différents modèles empiriques pour le scénario choisi sera déterminée en comparant les prédictions de couverture des différents modèles et leur perte de trajet (MAPL).

II. Méthodologie Et Moyens D'étude

Milieu d'études.

Barumbu est l'une des communes historiques de la ville province de Kinshasa. Située dans la partie centrale de la capitale congolaise, elle joue un rôle important dans la vie économique, sociale et culturelle de la ville. Malgré sa petite superficie, Barumbu est l'une des communes les plus densément peuplées de Kinshasa [26].

La commune de Barumbu est l'une de 12 premières entités territoriales décentralisées de la ville province de Kinshasa. Elle a été créée par le décret-loi du 26 Mars 1957. La commune est dirigée par un bourgmestre titulaire et son adjoint.

Ses limites actuelles sont celles fixées par l'arrêté ministériel n°69 0042 du 23 Janvier 1969 déterminant le nombre, la dénomination et les limites des communes de la ville province de Kinshasa.

Son fonctionnement actuel est réglementé par les dispositions de la loi n°82-008 du 25 février 1982 fixant le statut de la ville province de Kinshasa, et portant organisation territoriale de la République Démocratique du Congo (RDC).

La superficie de la commune de Barumbu est de 4.72 km²

La densité est très forte, elle est estimée à 257 habitants par kilomètre carré (hab./km²) [26].

Matériels et relevés des données

Les données nous fournies par l'opérateur Affricell sont données dans le tableau 1.1 suivant :

Vendor	*eNodeB Name	LTE Freq Indicator	Cluster	Latitude	Longitude	Frequency	Band	Maxpo	TX RX mode
Huawei	KIN009	1800	Barumb	-4.311	15.31752	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN012	1800	Barumb	-4.323	15.32141	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN015	1800	Barumb	-4.317	15.32932	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN016	1800	Barumb	-4.310	15.33092	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN078	1800	Barumb	-4.318	15.32624	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN151	1800	Barumb	-4.320	15.32653	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN208	1800	Barumb	-4.309	15.3223	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN236	1800	Barumb	-4.302	15.3331	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN253	1800	Barumb	-4.322	15.3252	20	10M	430	2TR2
Huawei	KIN351	1800	Barumb	-4.316	15.3188	20	10M	430	2TR2

Source : Africell Operateur 2025

Les données de nos calculs simulés sont dans le tableau 1.2 :

Paramètres	Valeur
Zone d'étude	Commune de Barumbu/ Kinshasa
Type d'environnement	Urbain
Catégorie de terrain	B
Hauteur de station de base	30 m
Hauteur du terminal mobile	0.5m
Fréquences étudiées	900Mhz ; 1800Mhz et 2600Mhz
Rayon de cellule	1.5km ; 2 km ; 6 km ; 7 km

Méthodes

Un modèle de propagation RF est une formule mathématique utilisée pour caractériser la propagation de l'onde radio entre l'émetteur et le récepteur. Cette formule dépend de plusieurs facteurs, à savoir :

- La fréquence de l'onde.
- La distance parcourue par l'onde.
- Les hauteurs des antennes de l'émission et de la réception.
- Type de terrain (morphologie).
- Clutter (caractéristiques et densité des bâtiments), etc.

On fait recours à un modèle de propagation dans le but d'estimer la valeur de l'atténuation de parcours [24]. Il n'est pas évident de mettre en place une seule équation faisant intervenir tous les facteurs, ce qui explique l'existence d'une multitude de modèles de prédiction de propagation dans le monde des télécommunications, dont on va citer quelques-uns dans cette section. Ces modèles peuvent être théoriques ou empiriques (basés sur la collection d'une grande quantité de mesures pratiques pour approximer la réponse du canal de propagation radio).

L'affaiblissement de parcours en espace libre (Free Space) est la perte générée lorsque le signal traverse un milieu de propagation vide des obstacles (réflexions, diffractions, dispersions, etc.). Bien que ce modèle soit idéal, il peut être considéré comme étant le point de départ pour tout autre modèle. L'affaiblissement de parcours dans un espace libre est donné par :

$$L_{fs} = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi d F}{c} \right)^2 \right] = 20 \log \left[\frac{4\pi d F}{c} \right] \quad (1.1)$$

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé, basé sur les mesures d'Okumura prises dans la région de Tokyo. Ce modèle prend en considération plusieurs facteurs, essentiellement la nature de l'environnement en spécifiant son degré d'urbanisation (urbain, urbain dense, sous urbain, rural). L'affaiblissement selon ce modèle est donné par les modèles mathématiques de OKUMURA – HATA [1] repris dans le tableau (2.1) relation (1.2).

Urbain	$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - \alpha(h_m)$ $+ [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ Avec $\alpha(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$
Urbain dense	$L_{Ud} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b)$ $- \alpha(h_m). [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ Avec $\alpha(h_m) = 8.29 \cdot [\log_{10}(1.54 h_m)]^2 - 1.1$, pour $F \leq 400 \text{ MHz}$ $\alpha(h_m) = 3.2 \cdot [\log_{10}(11.75 h_m)]^2 - 4.9$, pour $F \geq 400 \text{ MHz}$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2 \cdot [\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78 [\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ $\alpha = 35.94$, si la zone est rurale quasi-ouverte. $\alpha = 40.94$, si la zone est rurale ouverte.

Avec :

- F : désigne la fréquence en MHz.
- H_b : désigne la hauteur de la station de base en mètre (30 à 200).
- H_m : désigne la hauteur du terminal mobile en mètre.
- d : désigne la distance en Km.

COST-231 Hata

Compte tenu que le modèle Okumura-Hata opère uniquement pour une plage de fréquence inférieure à 1000 MHz, le groupe COST 231 a proposé de modifier ce modèle pour créer un autre opérant sur la bande 1500-2000 MHz dans les zones urbaines, puis l'ajuster, en ajoutant des termes correctifs pour tous les autres environnements (sous urbain, urbain dense et rural) [13], [14], [15]. Le tableau 2.2 reprend les modèles mathématiques de cost – 231 HATA.

Tableau 2.2 : Modélisation mathématique du modèle COST-231 Hata relation (1.3)

Urbain	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - \alpha(h_m)$ $+ [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d)$ Avec $\alpha(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$
Urbain dense	$L_U = 46.3 + 33.9 \log_{10}(F) - 13.82 \log_{10}(h_b) - \alpha(h_m)$ $+ [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)]. \log_{10}(d) + 3$ Avec $\alpha(h_m) = [1.1 \log_{10}(F) - 0.7]. h_m - [1.56 \log_{10}(F) - 0.8]$
Sous Urbain	$L_{SU} = L_U - 2 \cdot [\log_{10}(F/28)]^2 - 5.4$
Rural	$L_R = L_U - 4.78 [\log_{10}(F)]^2 + 18.33 \log_{10}(F) - \alpha$ Avec $\alpha = 35.94$, si la zone est rurale quasi-ouverte. $\alpha = 40.94$, si la zone est rurale ouverte.

Modèle d'Erceig Greenstein

Le modèle Erceig Greenstein est un modèle empirique développé pour les applications sans fil large bande. Le groupe qui l'a développé, a remarqué que le modèle d'Okumura - Hata n'est pas convenable pour les zones boisées et montagneuses, c'est pour cette raison qu'ils ont créé un modèle valable pour trois différents types de terrain A, B et C [25]

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0 F}{c} \right) + 10 \gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h \quad (1.4)$$

Avec :

- $d_0 = 100$ mètres, d distance en mètres
- $\gamma = a - b h_b + c/h_b$
- $X_f = 6 \log_{10}(F_{MHz}/2000)$
- $X_h = -10,8 \log_{10}(h_m/2)$, pour les terrains de type A et B

III. Calcul Des Paramètres Et Résultats De Planification

Calcul d'affaiblissement selon le modèle OKUMURA HATA

Le calcul des affaiblissements selon le modèle d'OKUMURA HATA est fait en utilisant les relations (1.2) en milieu urbain noté B pour les différentes distances soit : 1.5 km, 2 km, 6 km et 7 km

Tableau 3.1 : affaiblissement des ondes selon le modèle Okumura Hata

Fréquence (MHz)	Distance (km)	Affaiblissement (dB)
900	1,5	79,27
900	2	82,68
900	6	100,49
900	7	102,84
1800	1,5	87,13
1800	2	91,54
1800	6	108,35
1800	7	110,70
2600	1,5	91,34
2600	2	95,75
2600	6	112,56
2600	7	114,91

Calcul des affaiblissements par Modèle COST-231 Hata

En utilisant la relation [1.3] on détermine les affaiblissements pour les différentes distances dans un milieu B urbain

Tableau 3.2 : affaiblissement des ondes selon le modèle Cost-231 Hata

Fréquence (MHz)	Distance (km)	Affaiblissement (dB)
900	1,5	135,17
900	2	139,57
900	6	157,99
900	7	159,91
1800	1,5	143,37
1800	2	147,77
1800	6	166,19
1800	7	168,11
2600	1,5	147,72
2600	2	152,12
2600	6	170,54
2600	7	172,46

Calcul des affaiblissements par le modèle d'Erceig Greenstein

Le calcul des affaiblissements par le modèle d'Erceig Greenstein est déterminé par la formule (2.4) pour les différentes distances [1], [2].

Tableau 3.3. Affaiblissements par le modèle d'Erceig

Fréquence (MHz)	Distance (km)	Affaiblissement (dB)
900	1,5	170,5
900	2	176,9
900	6	200
900	7	203,84

1800	1,5	179,3
1800	2	182,77
1800	6	209,1
1800	7	212,6
2600	1,5	182,86
2600	2	189,33
2600	6	212,71
2600	7	216,2

Calcul des nombres de cellules pour les différents eNode B

Le calcul des nombres de cellules ainsi que les sites eNode B est déterminé par la formule 3.1 :

Capacité = Bande passante x efficacité spectrale. (3.1)

Pour la bande passante de 20 Mhz et une efficacité spectrale = 4 bits/s/Hz. Ainsi donc pour les différentes fréquences et différentes distances, le tableau (3.4) suivant nous donnent les cellules et enode B [8]

Tableau (3.4) général de : affaiblissement, nombre des cellules et sites

N°	Fréquence (MHz)	Rayon de cellule (km)	Okumura-Hata (dB)	COST-231 Hata (dB)	Erceg-Greenstein (dB)	Nbre des cellules	Nbre des sites
1	900	1,5	79,27	135,17	170,5	3	1
2	900	2	82,68	139,57	176,9	3	1
3	900	6	100,49	157,99	200	3	1
4	900	7	102,84	159,91	203,84	3	1
5	1800	1,5	87,13	143,37	179,3	6	2
6	1800	2	91,54	147,77	182,77	6	2
7	1800	6	108,35	166,19	209,1	6	2
8	1800	7	110,70	168,11	212,6	6	2
9	2600	1,5	91,34	147,72	182,86	9	3
10	2600	2	95,75	152,12	189,33	9	3
11	2600	6	112,56	170,54	212,71	12	4
12	2600	7	114,91	172,46	216,2	12	4

Ce tableau nous donne d'une manière générale la fréquence, les affaiblissements pour les différents modèles, le nombre de cellule pour chaque type de fréquence et le nombre des eNodeB.

IV. Discussion

Dans le tableau 3.4 ci-dessus, nous constatons que :

- La configuration MIMO avec la fréquence de 900 MHz, les atténuations sont très faibles pour les 3 modèles et le nombre des cellules du site eNodeB est égal à 1. Ceci est très économique pour l'opérateur mais la qualité de service médiocre pour insuffisance des ressources [10], [17]
- La configuration MIMO avec la fréquence de 1800Mhz donne pour les mêmes modèle un nombre des cellules 6 pour 2 enodeB et ces affaiblissements sont élevés pour ceux de la fréquence. La QOS sera faible pour la population de Barumbu qui est un milieu à forte densité de la population.
- La configuration MIMO 2600Mhz donne des affaiblissements élevés par rapport aux deux précédentes fréquences, mais la QOS est très bonne car le nombre des cellules est très grands soit 12 cellules pour 4 sites eNodeB [17].

V. Conclusion

Dans la technologie LTE, le privilège revient à l'utilisation d'une fréquence de 2600Mhz dans notre milieu d'étude qui est la commune de Barumbu pour avoir une bonne QOS au lieu d'utiliser une fréquence de 1800Mhz comme cela est fait actuellement. Les opérateurs de télécommunication privilégient plus la couverture que la bonne qualité et surtout en contournant l'achat de la licence que l'autorité de régulation des télécommunications ARPTC l'exige [10] [24]. Nous recommandons à l'autorité de rester vigilante avec les opérateurs qui privilégient la réduction des dépenses en fournissant une mauvaise Qos à la population et au besoin réduire les frais de licence qui réduira le cout aux opérateurs.

Bibliographie

- [1]. Communication System BPSK And QPSK Modulation, India, Tejbir Singh Hanzra, Gurpartap Singh 10.9790/2834-0133843
- [2]. Power Ratio Measurement Of Discrete Time OFDM Signal, India Dr Amandeep Singh Sappal, Parmeet Kaur 10.9790/2834-0134447.
- [3]. Development And Operation Practires Vis-A-Vis 4G Wireless Technology, Shannon Hills (2007), Introduction To Mobile Computation 3rd Ed,NJ Prentice Hill.
- [4]. Hillebrad, Trosby, Holley, Harris (2010) SMS The Creation Of Personal Global Text Messaging Wiley

- [5]. SUPERVISION INTELLIGENTE ET OPTIMISATION DES PERFORMANCES DES RÉSEAUX BACKBONE DES CAMPUS AFRICAINS : ÉTUDE DE CAS UTILISANT PRT, Kasongo Roger 1,*, Kasengedia Motumbe Pierre 2, Mbuyi Mukendi Eugène 3, Nduhura Munga Justin 4, VOL. 3, 1 (2026) 1-17, Journal Africain Des Sciences, VOL. 3, 1 (2026) 1-17 ;
- [6]. SYSTÈME DE PAIEMENT ÉLECTRONIQUE SÉCURISÉ BASÉ SUR ETHEREUM, Héritier Kayembe Mpiana 1,*, Eugène Mukendi Mbuyi 1, Jean Didier Mwambanzambi Batubenga 1, Pierre Motumbe Kasengedia 2, Journal Africain Des Sciences, VOL. 3, 4 (2026) 91-102 ;
- [7]. MODÉLISATION DES NŒUDS AUTONOMES D'UN RÉSEAU INFORMATIQUE AD HOC PAR LA THÉORIE DES JEUX DES STRATÉGIES, Etienne Bimbala Ngwaba 1,*, Vince Tshitabi Muladi 2, Rostin Makendo Mabela 2, Pierre Katalay Kafunda 2, Journal Africain Des Sciences, VOL. 3, 3 (2026) 34-41 ;
- [8]. OPTIMISATION DES PERFORMANCES ET DE LA CONNECTIVITÉ D'UN RÉSEAU MULTISITE PAR L'INTÉGRATION DU SD-WAN : CAS DE LA DINACOPE, Jacques Kitambo Nokele , Journal Africain Des Sciences, VOL. 3, 4 (2026) 117-135 ;
- [9]. OPTIMISATION DES DÉCISIONS DANS LA RÉGULATION DU SECTEUR DE TÉLÉCOMMUNICATIONS EN RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO, Fiston Chrisnovic Balanganayi Kabutakupua 1,*, Pierre Kafunda Katalay 1, Simon Ntumba Badibanga 1, Eugène Mbuyi Mukendi 1, Journal Africain Des Sciences, VOL. 3, 2 (2026) 171-179 ;
- [10]. BIG DATA ET DÉTECTION DES COMMUNAUTÉS DANS UN RÉSEAU COMPLEXE, Pierre Katalay Kafunda 1,*, Gradi Lubwele Kamingu, Journal Africain Des Sciences, VOL. 2, 1 (2025) 1-10 ;
- [11]. Modelisation Du Protocole BSC (Basic Synchronus Communication) Par Approche Petri , Kasongo Mbuya B, Muteba Ngoyi W, Bintu Mbise A, Ann Fac Des Sciences UNIKIN, Vol. 1 (2016).
- [12]. Broadband Printed Rectangular Monopole Antenna , Indonesia , Aymen; Emhehemed Alkurbo, Shohelah Haok Promono, Didik Rahadi Santoso 10.9790/2834-0242024, ISOR
- [13]. Handset Antenna Design For Mobile Communication System , Indonesia , Anis Suliman Ali , Sholeh Hodi Pramono , M.Surosi 10.970/2834-0243035, ISOR
- [14]. Deng , Heng And Feng , Zhenghe 2007, A Tiple Band Compact Monopole Antenna For Mobile Handset IEEE Antennas And Popagation Society International Symposium : 2069-2072.
- [15]. Hang , Yi And Boyle K.2008, Antennas: From Theory To Practice Singapore John Willy And Sons LTD;
- [16]. Mohamed Sanad And Noha Hassan 2009. A Multiband Antenna Configuration For MIMO Wimax In Multi Standard Multifunction Handset , Mobile Wimax Symposium ; IEEE: 195-200.
- [17]. A Compact Size Reconfiguration Antenna For Ultra Wideband Applications , India ; Manisha , Juhi Priyani , Abhijeet Dasgripta
- [18]. Dual Mode Patch Antenna Switched By PIN Diode, IEEE Tropical Conference On Wireless Communication Technology 148-149,2003, Qiang Chen , Makoto Kurahashi And Knio Sawaya
- [19]. A Deployment Ready Framework For Integration AI Into 5G And 6G Networks With Self Optimization To Strengthen US , Telecom Infrastructure USA , Pratim Prakash Rai 109290/5834-2101011928, Serie1 (Jan-Feb 2026);
- [20]. Channel Enconding Tecniques In 5G Cellular Networks LDPC And Polar Code, Dunga Satalak Shimi S 103790/2834-2001013038, Jan –Feb 2025.
- [21]. Etude De Validation Du Dimensionnement Du Backbone À Fibre Optique Kinshasa-Muanda Yangindu Lusamba D, Luhumbu Luwembo P, Moanda Ndeko J.M., Ilunga Kazadi C., Ethiere N'Kie P. ANNALES DE LA FACULTE DES SCIENCES, Vol. 1 (2015) 1-7
- [22]. Design And Implementation Of A Secure And Scalable SMS-Based Academic Results Notification System Olaniyan Olabisi Lukeman, Ibiyomi Michael Adeniyi, Fakoya Johnson Tunde, Abiona Akeem Adekunle, EWORO Aricha Elizabeth. GSJ: Volume 13, Issue 12, December 2025, Online: ISSN 2320-9186 Ww.Globalscientificjournal.Com
- [23]. L'analyse Stratégique Des Entreprises De Télécommunication : Cas De Orange Côte d'Ivoire (OCI). Strategic Analysis Of Telecommunications Companies: The Case Of Orange Côte d'Ivoire (OCI).
- [24]. Auteur 1 : KOUROUMA Ahmed Bangali, African Scientific Journal ISSN : 2658-9311 Vol : 03, Numéro 28 Février 2025
- [25]. 4G LTE (Long Term Evolution), Regional Forum For ARAB Region: Imtsystems Technology, Evolution And Implementation Tunis, Tunisia, 7 - 9 May 2013
- [26]. Tshilumba, P., & Mbayo, J. (2020). Évaluation De La Couverture 3G/4G Dans Les Zones Urbaines De Kinshasa : Étude Comparative Des Modèles De Propagation. Revue Africaine Des TIC Et Télécommunications, 12(2), 45–59
- [27]. Monographie De La Ville De Kinshasa, Shomba S, Mukoka F, Olenga Nonga D, Ed ICREDES Kinshasa – Montreal-Washington 2015. https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_Frequency-Division_Multiplexing Principe D'ofdma
- [28]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_\(R%C3%A9seaux_Mobiles\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/LTE_(R%C3%A9seaux_Mobiles)) Fréquences Utilisées Par La Technologie LTE.
- [29]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_\(T%C3%A9l%C3%A9communications\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/MIMO_(T%C3%A9l%C3%A9communications)) MIMO Multiple-Input Multiple-Output