

Optimisation du modèle d'Okumura Hata par la régression linéaire. Application à la ville de Yaoundé au Cameroun.

Deussom Djomadji Eric Michel ¹, Tonye Emmanuel ².

^{1&2} (Département de génie électrique et des télécommunications ; Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé ; Université de Yaoundé I, CAMEROUN)

Résumé: Les modèles de propagation sont des outils essentiels pour la planification et l'optimisation radio dans les réseaux mobiles. Ils permettent d'évaluer la puissance du signal reçu par un terminal mobile, d'évaluer les rayons de couvertures et d'en déduire le nombre de cellules nécessaires pour couvrir une zone donnée. Cet article prend en compte le modèle standard K facteur pour ensuite utiliser un algorithme de régression linéaire s'appuyant sur la méthode des moindres carrés ordinaires pour mettre sur pied un modèle de propagation adapté au milieu physique de la ville de Yaoundé au Cameroun. Les mesures radio ont été faites sur le réseau CDMA2000 1X-EVDO de l'opérateur CAMTEL. Le calcul de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne entre les données réelles issues des mesures radio et les données de prédiction issues du modèle mis en place permet de valider les résultats obtenus. Une étude comparative faite entre la valeur du RMSE obtenue par le nouveau modèle et celles obtenues par les modèles standard d'OKUMURA HATA et K facteurs, nous permet de conclure que le nouveau modèle est meilleur et plus représentatif de notre environnement local que celui d'OKUMURA HATA. Le nouveau modèle obtenu peut être utilisé pour la planification radio dans la ville de Yaoundé au Cameroun.

Mots clés: Mesures radio, modèle de propagation, racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, régression linéaire.

I. Introduction

Un modèle de propagation adapté à un environnement donné est un élément essentiel pour la planification et l'optimisation d'un réseau mobile. Les points clés de la planification radio sont : la couverture, la capacité et la qualité de service. Afin de permettre aux usagers d'accéder aux différents services mobiles, un accent particulier doit être mis sur le dimensionnement de la couverture radio. Les modèles de propagation sont largement utilisés dans la planification réseau, en particulier pour la réalisation d'études de faisabilité et le déploiement initial du réseau, ou alors lors des extensions réseau notamment dans les nouvelles métropoles. Pour déterminer les caractéristiques du canal de propagation radio, les tests des modèles de propagation réels et la calibration des modèles existants sont nécessaires pour obtenir un modèle de propagation qui reflète exactement les caractéristiques de propagation radioélectrique dans un environnement donné. Plusieurs types logiciels de planification incluant la calibration de modèles existent sur le marché à savoir : ASSET de l'entreprise AIRCOM en Angleterre, PLANET de l'entreprise MARCONI, ATTOL de l'entreprise française FORK etc.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la calibration des modèles de propagation, nous avons par exemple : Chhaya Dalela, et al [1] qui ont travaillé sur « tuning of Cost231 Hata model for radio wave propagation prediction », Medeisis and Kajackas [2] ont présenté « the tuned Okumura Hata model in urban and rural zones at Lithuania at 160, 450, 900 and 1800 MHz bands », Prasad et al [3] ont travaillé sur « tuning of COST-231 Hata model based on various data sets generated over various regions of India », Mardeni & Priya [4] ont présenté optimized COST-231 Hata model to predict path loss for suburban and open urban environments in the 2360-2390MHz, certains auteurs se sont particulièrement intéressés à l'utilisation de la méthode des moindres carrés pour calibrer ou déterminer les modèles de propagation nous avons par exemple : Mingjing Yang; et al [5] en Chine ont présenté « A Linear Least Square Method of Propagation Model Tuning for 3G Radio Network Planning », Chen, Y.H. et Hsieh, K.L [6] à TAIWAN ont présenté « A Dual Least-Square Approach of Tuning Optimal Propagation Model for existing 3G Radio Network », Simi I.S et al [7] en Serbie ont présenté « Minimax LS algorithm for automatic propagation model tuning », Allam Mousa, Yousef Dama et All [8] en Palestine ont présenté « Optimizing Outdoor Propagation Model based on Measurements for Multiple RF Cell ».

Dans notre étude, nous utilisons les données collectées dans le réseau CDMA1X-EVDO RevB Phase II de l'opérateur CAMTEL et ceci dans la ville de Yaoundé. Pour ce faire nous utilisons 6 BTS réparties de part et d'autres dans la ville. Nous utilisons un algorithme basé sur la régression linéaire pour déterminer un modèle de propagation adapté à la ville de Yaoundé.

Cet article sera articulé comme suit : Dans la section 1, les détails expérimentaux seront présentés, suivi par une description de la méthodologie adoptée à la section 2, les résultats sur l'implémentation de

l'algorithme, la validation des résultats et les commentaires seront fournis à la section 3 et enfin une conclusion sera présentée à la section 5.

II. Détails expérimentaux.

II.1 Environnement de propagation.

La ville sur laquelle s'est basée notre étude est celle de Yaoundé, capitale politique du Cameroun. Nous nous sommes appuyés sur le réseau CDMA 2000 1X_EVDO existant pour effectuer des mesures radio dans la ville. Pour ce faire, nous avons subdivisé la ville en 3 catégories à savoir : Le centre ville de Yaoundé, la zone centre ville vers périphérie et enfin la périphérie de la ville. Pour chaque catégorie, nous avons utilisé 2 types d'environnement similaires afin de comparer les résultats obtenus. Nous avons le tableau ci-dessous qui présente les catégories avec les BTS concernées :

Tableau 1 : Types d'environnement

Catégories	A	B	C
Caractéristique urbain	Urbain dense	Urbain	Périphérie
BTS concernées	Ministere PTT (A1) Bastos (A2)	Hotel du plateau(B1) Biyem Assi(B1)	Ngouso Eleveur (C1) Nkomo Awae (C2)

II.2 Description des équipements

II.2.1 Description simplifiée des BTS utilisées.

Les BTS que nous avons utilisées pour nos mesures radio sont celles de CAMTEL fournies par l'équipementier HUAWEI Technologies, nous avons utilisé 2 types de BTS à savoir les BTS3606 et DBS3900 toutes CDMA. Le tableau ci-dessous présente les spécifications techniques des BTS utilisées [9]:

Tableau 2 : Caractéristiques des BTS utilisées.

	BTS3606	DBS3900
Type de BTS	Indoor compacte	Outdoor Distribuée
Nombre de sectorielles	3	3
Bande de fréquence	Band Class 0 (800 MHz)	Band Class 0 (800 MHz)
Fréquence descendante	869 MHz à 894 MHz	869 MHz à 894 MHz
Fréquence montante	824 MHz à 849 MHz	824 MHz à 849 MHz
Puissance max (mono porteuse)	20 W	20 W
Puissance total de la BTS (dBm)	43 dBm	43 dBm

Les paramètres radio des BTS utilisées sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Paramètres radio des BTS utilisées.

Informations sur la BTS											
Typ e de BTS	Nom et secteur BTS	Cod e PN	Latitude degré)	Longitu de degré)	Altitude BTS (m)	Hauteur de l'antenn e	Elévatio n moyenne	Hauteur effective de l'antenne	Gain (dBi)	7/8 Feeder Câble(m)	nombres de connecteurs
3606	MinistryPTT_800	28	3,86587	11,5125	749	40	741,82	47,18	15,5	45	2
3900	Ngouso-Eleveur	128	3,90097	11,5613	716	25	712,05	28,95	17	0	0
3900	Hotel du plateau	60	3,87946	11,5503	773	27	753,96	46,04	17	0	0
3606	Biyem-Assi_800	132	3,83441	11,4854	721	40	709,54	51,46	15,5	45	2
3900	Camtel Bastos	100	3,89719	11,50854	770	28	754,86	43,14	17	0	0
3900	Nkomo Awae	40	3,83224	11,5598	713	25	709,54	28,46	17	0	0

II.2 Descriptions des autres équipements.

Afin d'effectuer les mesures radio, nous avons utilisé un véhicule de marque Toyota Prado VX, un ordinateur portables de type ACER ASPIRE, un logiciel de mesure radio à savoir Pilot Pionner de Dingli communication V6.0, un terminal mobile LG de type CDMA, un terminal GPS, un convertisseur DC/AC pour alimenter le PC durant la mesure. La figure ci-dessous nous montre le kit de collecte de données installées sur véhicule.



Figure 1 : Kit de mesure et de collecte installé sur véhicule.

Les mesures radio faites dans les zones A1, A2, B1, B2, C1 et C2 ont données les graphiques ci-dessous :

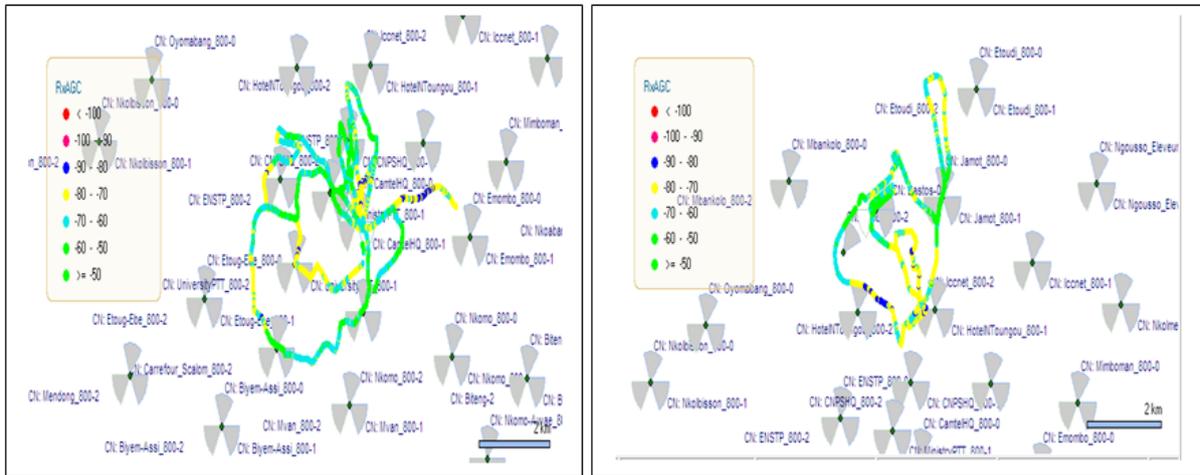


Figure 2 : Mesures radio centre ville (image de gauche) et quartier Bastos (image de droite)

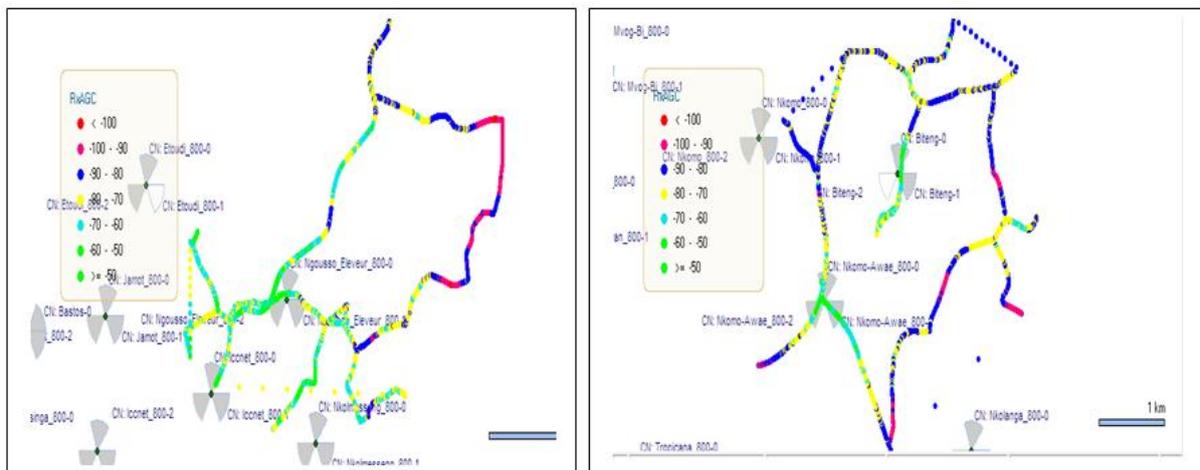


Figure 3 : Mesures radio Nguosso eleveur (image de gauche) et Nkomo Awaë (image de droite)

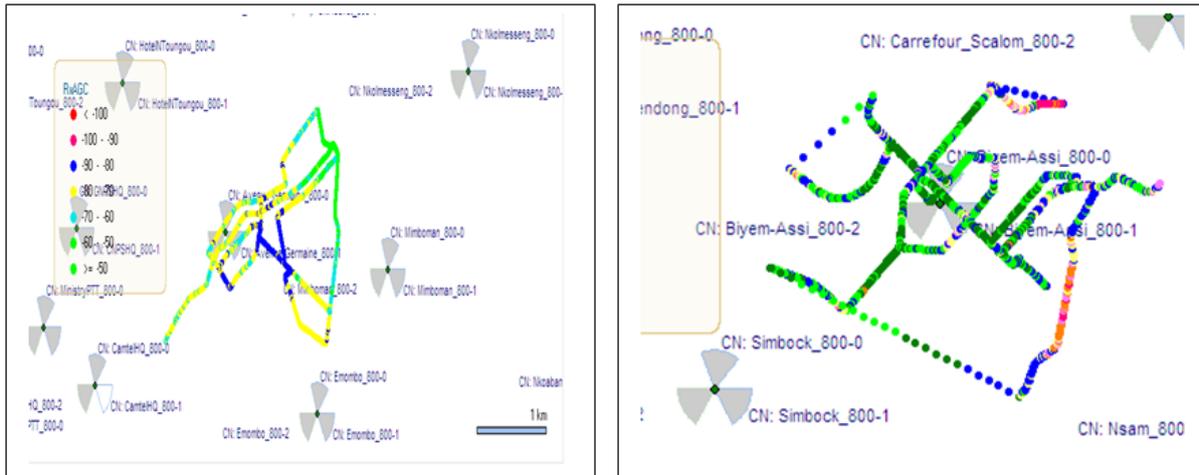


Figure 4 : Mesures radio dans les quartiers Essos (image de gauche) et Biyem Assi (image de droite)

III. Méthodologie.

Plusieurs modèles de propagations existent dans la littérature scientifique sur la propagation, nous allons présenter uniquement le modèle K facteurs sur lequel nous nous sommes appuyés pour le présent travail.

III.1 Modèle de propagation K facteurs [10].

La forme générale du modèle K facteur est donnée par la relation ci-dessous :

$$L_p = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b) + K_6 * \log(h_b) \log(d) + K_7 \text{diffn} + K_{clutter} \quad (1)$$

Les valeurs des paramètres K varient en fonction du type de terrain et des caractéristiques de l'environnement de propagation des villes, la table ci-dessous donne des valeurs de K et de celui du facteur d'atténuation du à l'encombrement pour une ville moyenne.

Tableau 4 : valeurs des K pour le modèle K facteurs

Nom du paramètre K	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Kclutter
Valeur du paramètre	149	44.9	-2.49	0.00	-13.82	-6.55	-0.8	0

L'équation (1) ci-dessus peut être réécrite sous la forme ci-dessous :

$$L_p = (K_1 + K_7 \text{diffn} + K_{clutter}) + K_2 \log(d) + K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b) + K_6 \log(h_b) \log(d)$$

$$K'_1 = (K_1 + K_7 \text{diffn} + K_{clutter})$$

En posant $K'_1 = (K_1 + K_7 \text{diffn} + K_{clutter})$, l'équation (1) ci-dessus devient :

$$L_p = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b) + K_6 \log(h_b) \log(d) \quad (2)$$

$$L_p = (K_1 + K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b)) + (K_6 \log(h_b) + K_2) \log(d) \quad (3)$$

Posons $A = K_1 + K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b)$ et $B = K_6 \log(h_b) + K_2$

$$L_p = A + B \log(d) \quad (4)$$

ou encore sous forme vectorielle comme ci-dessous:

$$L_p = [1 \quad \log(d)] * \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

C'est cette dernière forme modifiée que nous utiliserons par la suite pour notre travail.

1.1 Organigramme de détermination.

La figure ci-dessous nous donne l'organigramme de détermination du modèle de propagation utilisant la régression linéaire.

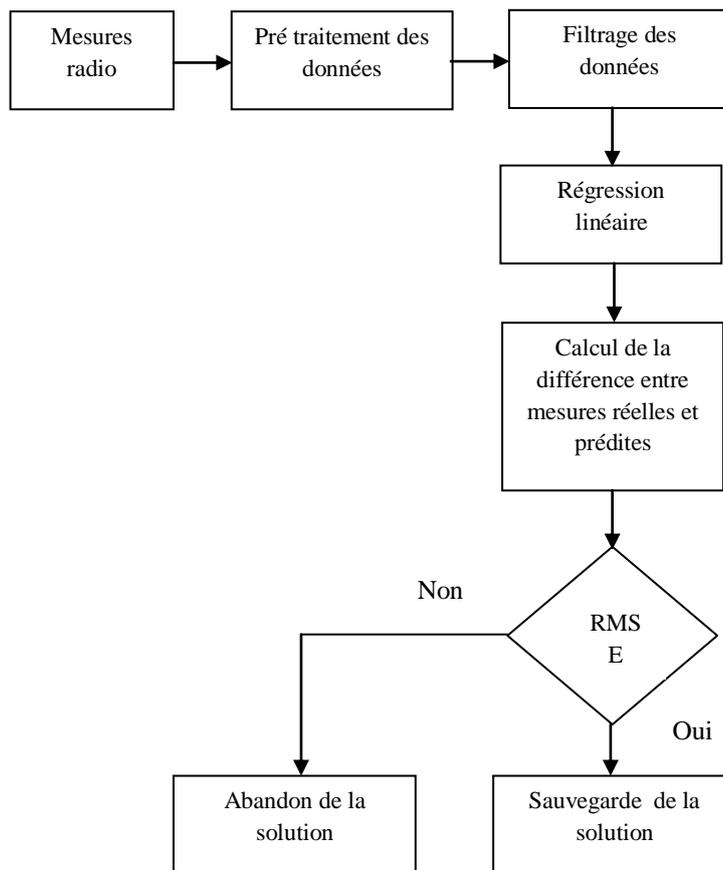


Figure 5 : Organigramme d'implémentation de l'algorithme.

Dans cet organigramme, le filtrage des données s'est fait en respectant les critères ci-dessous pour la distance et la puissance de signal reçue.

Tableau 5 : critères de filtrage sur la distance et la puissance reçue. [10], [11]

Distance minimale (m)	100
Distance maximale (m)	10 000
Puissance reçue minimale (dBm)	-110
Puissance reçue maximale (dBm)	-40

III.2 Méthode par régression linéaire.

Cette méthode se base sur l'équation (3) présentée ci-dessus. Tout d'abord, nous allons classer les paramètres de l'équation (2) en 2 grands groupes [12]:

- Les paramètres d'ajustement globaux.
- Les paramètres de micro ajustement.

Les paramètres d'ajustements globaux sont ici K_1 et K_2 , tandis que les autres coefficients sont des paramètres de micro ajustement et de ce fait, leurs valeurs par défaut dans le modèle standard peuvent être considérées comme constantes.

Partant de l'équation (5) ci-dessus pour N point de mesures radio pour différentes distances quelconques d_i nous obtiendrons des valeurs des pertes L_i pour $i = 1: N$ et (5) deviendra:

$L_i = A + B \log(d_i)$ Ce qui pourra encore s'écrire:

$L_i = [1 \quad \log(d_i)] * \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$ et pour toutes les valeurs des points de mesures, nous aurons

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \log(d_1) \\ 1 & \log(d_2) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \log(d_N) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad \text{Et en posant: } M = \begin{bmatrix} 1 & \log(d_1) \\ 1 & \log(d_2) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \log(d_N) \end{bmatrix} \text{ et } K = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (6)$$

on obtient: $L = M * K$ (7)

Or il est question de minimiser la distance euclidienne entre les valeurs de prédiction contenues dans le vecteur L et les valeurs mesurées de la perte de propagation L_M [13], soit

$E = \|L_M - M * K\|^2$, la fonction d'erreur élevée au carré. La distance entre les valeurs prédites et mesurées est minimale si $\frac{\partial E}{\partial K} = 0$.

Or $E = \|M * K\|^2 - 2(M * K) \cdot L_M + \|L_M\|^2$ ou $\langle \cdot \rangle$ représente le produit scalaire ordinaire.

$$E = \|M * K\|^2 - 2(M * K) \cdot L_M + \|L_M\|^2$$

$E = K^T M^T M K - 2K^T M^T L_M + L_M^T L_M$ avec K^T représentant la transposée de K.

$$\frac{\partial E}{\partial K} = 0 \Rightarrow \frac{\partial (K^T M^T M K - 2K^T M^T L_M + L_M^T L_M)}{\partial K} = 0 \text{ soit } 2M^T M K - 2M^T L_M = 0 \text{ et ensuite}$$

$M^T M K = M^T L_M$ d'où l'on tire la solution K^* :

$$K^* = (M^T M)^{-1} M^T L_M = \begin{bmatrix} A^* \\ B^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

L'équation (8) ci-dessus traduit l'existence d'un vecteur K^* qui minimiserait la distance euclidienne entre les valeurs de prédiction et les mesures réelles.

Il en découle que pour K_3, K_4, K_5 et K_6 constants, l'on obtient :

$$K_1 = A^* - (K_3 * h_m + K_4 * \log(h_m) + K_5 * \log(h_b)) \quad (9)$$

$$K_2 = B^* - K_6 * \log(h_b) \quad (10)$$

IV. Résultats et commentaires

Ayant implémenté la méthode présentée ci-dessus sur les données de mesures radio obtenues dans la ville de Yaoundé, nous avons obtenus les résultats tels que présentés ci-dessous.

IV.1 Résultats par zone

Nous avons obtenu les courbe ci-dessous représentant, les mesures réelles en bleu, le modèle d'Okumura Hata en noir, le modèle obtenu en implémentant la régression linéaire en rouge. Le modèle sera vu comme précis si le RMSE entre les valeurs de prédiction et mesurées est inférieur à 8 dB ; (RMSE < 8dB). [14]

a) Zone A1 : Centre ville de Yaoundé.

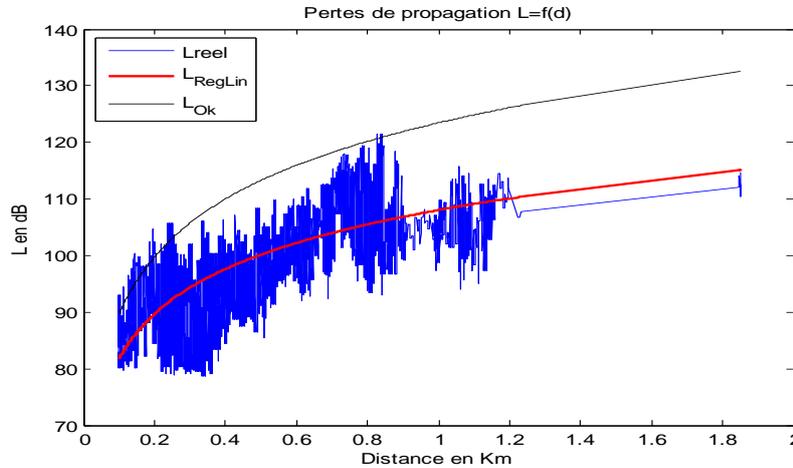


Figure 6 : Mesures réelles Centre ville VS mesures prédites.

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus par la régression linéaire :

Tableau 6 : résultats obtenus au centre ville.

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
A1	Régression	134,89	37,29	-2,49	0	-13,82	-6,55	6,7137
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	14,9345
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	13,8041

On remarque que nous avons un RMSE <8dB pour le nouveau modèle ce qui confirme la fiabilité du résultat, contrairement au modèle K facteur et Okumura Hata.

b) Zone A2 : Quartier Bastos (quartiers des ambassades)

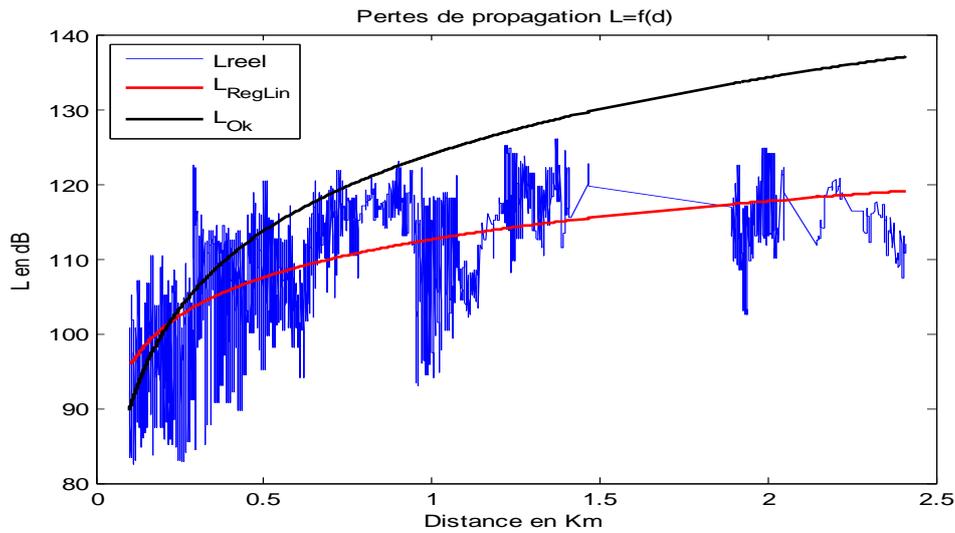


Figure 7 : Mesures réelles Bastos VS mesures prédites.

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus par la régression linéaire :

Tableau 7 : résultats obtenus au quartier Bastos.

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
A2	Régression	138,93	27,71	-2,49	0	-13,82	-6,55	6,1059
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	11,2924
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	10,5121

On remarque que nous avons un RMSE <8dB ce qui confirme la fiabilité du résultat.

c) Zone B1 : Quartier Biyem Assi

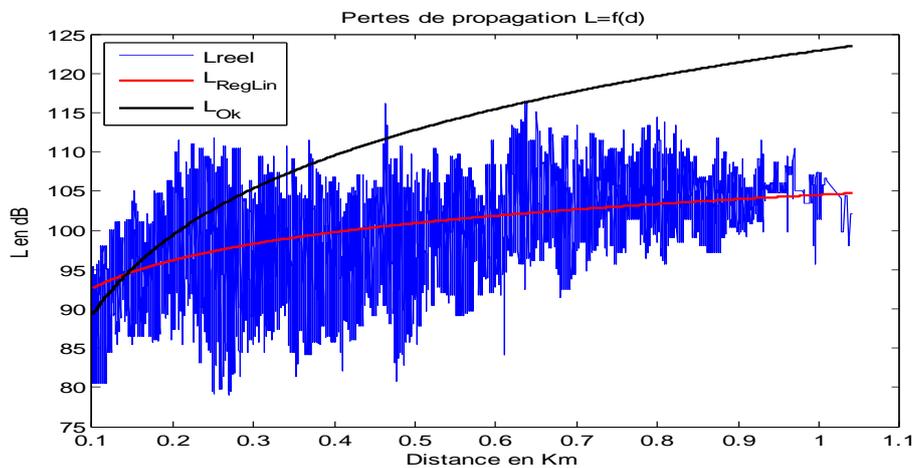


Figure 8: Mesures réelles Biyem Assi VS mesures prédites.

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus par la régression linéaire :

Tableau 8: résultats obtenus au quartier Biyem Assi.

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
B1	Régression	131,90	23,17	-2,49	0	-13,82	-6,55	5,3883
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	12,3604
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	11,3767

On remarque que nous avons un RMSE <8dB ce qui confirme la fiabilité du résultat.

d) Zone B2 : Quartier Essos-Mvog Ada

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus par la régression linéaire :

Tableau 9: résultats obtenus au quartier Essos Mvog Ada.

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
B2	Régression	141,75	36,53	-2,49	0	-13,82	-6,55	7,3907
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	11,5989
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	10,6673

On remarque que nous avons un RMSE <8dB ce qui confirme la fiabilité du résultat. La figure 9 présente les valeurs prédites et mesurées.

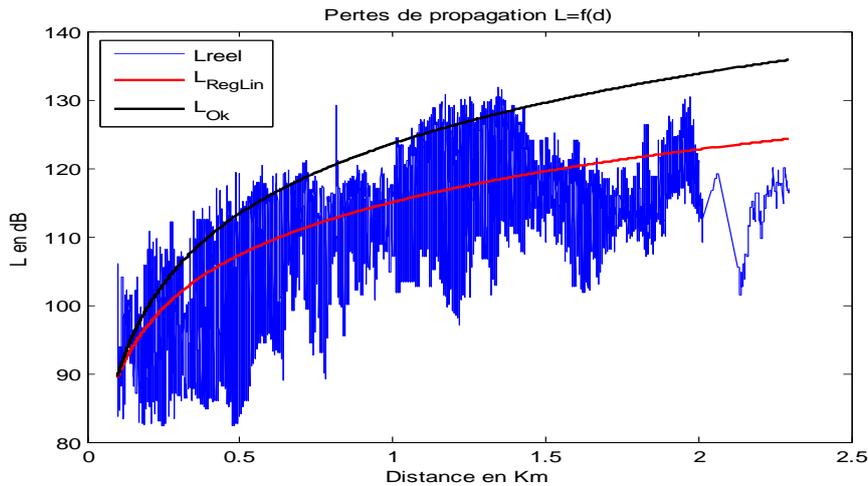


Figure 9 : Mesures réelles Essos-Mvog Ada VS mesures prédites.

e) Zone C1 : Quartier Ngousso Eleveur

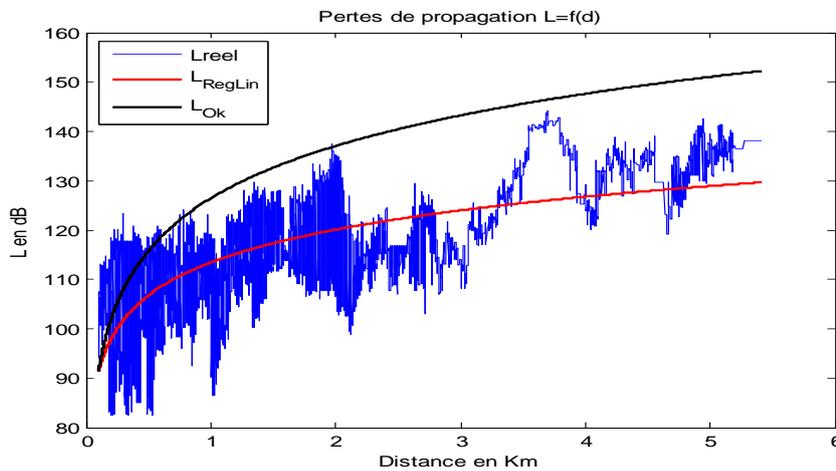


Figure 10 : Mesures réelles Ngousso Eleveur VS mesures prédites

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus dans la zone C1 par la régression linéaire :

Tableau 10: résultats obtenus au quartier Ngousso Eleveur

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
C1	Régression	137,31	31,82	-2,49	0	-13,82	-6,55	7,8927
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	16,8067
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	15,7616

On remarque que nous avons un RMSE <8dB ce qui confirme la fiabilité du résultat.

f) Zone C2: Quartier Nkomo Awae

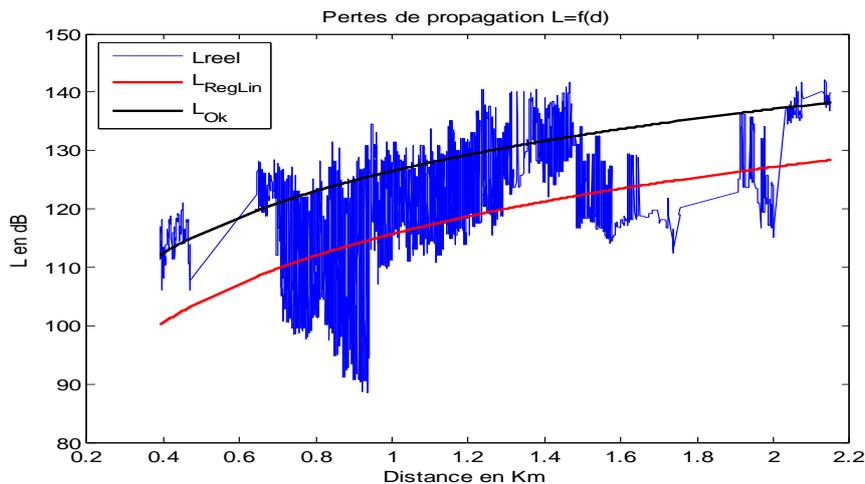


Figure 11: Mesures réelles Nkomo Awae VS mesures prédites

Le tableau ci-dessous nous donne les résultats obtenus par la régression linéaire :

Tableau 11: résultats obtenus au quartier Nkomo Awae

Zone	Résultats	K1	K2	K3	K4	K5	K6	RMSE
C2	Régression	139,50	47,79	-2,49	0	-13,82	-6,55	10,7990
	Okumura Hata	146,56	44,9	0	0	-13,82	-6,55	15,3274
	K facteurs	149	44,9	-2,49	0	-13,82	-6,55	14,4380

On remarque que nous avons un RMSE >8dB, ceci s'explique par la morphologie complexe du quartier Nkomo Awae, toutefois la solution obtenue est de meilleure qualité que les modèles d'Okumura Hata et K facteurs.

IV.2 Récapitulatifs des résultats

En ne retenant que les solutions ayant donné un RMSE < 8dB, à savoir celles des zones A1, A2, B1, B2, C1 nous avons le vecteur moyen consigné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Evaluation du modèle de propagation moyen

Zone	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Ville de Yaoundé	136,956	31,304	-2,49	0	-13,82	-6,55

En évaluant le RMSE de ce vecteur par zone nous avons les résultats consignés dans le tableau 13.

Tableau 13: Evaluation du RMSE du modèle moyen par zone.

Zone	A1	A2	B1	B2	C1	C2
RMSE	7,8791	6,8575	6,0403	8,9573	7,9050	11,2651

L'expression finale de notre modèle de propagation sera donc :

$$L = 136,956 + 31,30 \log(d) - 2,49 * h_m - 13,82 * \log(H_{eff}) - 6,55 * \log(H_{eff}) * \log(d) \quad (11)$$

V. Conclusion.

Le présent article présente les résultats obtenus par l'implémentation de la méthode de régression linéaire sur les données de mesures radio faites dans diverses zones de la ville de Yaoundé. Il en ressort que les modèles de propagation standard tels que Okumura Hata et le modèle K facteurs ne sont pas adaptés, il importe donc d'optimiser les dits modèles pour obtenir des modèles similaires mais représentant l'environnement de propagation considéré. La méthode de régression linéaire utilisée nous a permis d'obtenir un modèle de propagation de la ville de Yaoundé avec une valeur de RMSE comprise entre 6,04dB et 11,27dB tandis que celle du modèle d'OKUMURA HATA varie de 11,29dB à 16,80dB et celle du modèle K facteur de 10,51 dB et 15,76 dB. Nous en déduisons que le nouveau modèle est plus précis et représente mieux la propagation dans la ville de Yaoundé que les modèles standardisés d'OKUMURA HATA et K facteur.

La présente démarche mise sur pied pourra être appliquée pour la détermination de modèle de propagation pour chacune des grandes villes camerounaises notamment avec le déploiement prochain des services mobiles de 4^e génération.

Références

- [1]. Chhaya Dalela, et al « tuning of Cost231 Hata model for radio wave propagation prediction », Academy & Industry Research Collaboration Center, May 2012.
- [2]. Medeisis et Kajackas « the tuned Okumura Hata model in urban and rural zones at Lithuania at 160, 450, 900 and 1800 MHz bands », Vehicular Technology Conference Proceedings, VTC 2000-Spring Tokyo. IEEE 51st Volume 3 Pages 1815 – 1818, 2000.
- [3]. Prasad et al « tuning of COST-231 Hata model based on various data sets generated over various regions of India »,
- [4]. Mardeni & Priya et Al, optimized COST-231 Hata model to predict path loss for suburban and open urban environments in the 2360-2390MHz, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 13, 91-106, 2010.
- [5]. Mingjing Yang; et al « A Linear Least Square Method of Propagation Model Tuning for 3G Radio Network Planning », Natural Computation, 2008. ICNC '08. Fourth International Conference on Vol. 5, pages 150 – 154, 2008.
- [6]. Chen, Y.H. et Hsieh, K.L « A Dual Least-Square Approach of Tuning Optimal Propagation Model for existing 3G Radio Network », Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd Vol. 6, pages 2942 – 2946, 2006.
- [7]. Simi I.S et al « Minimax LS algorithm for automatic propagation model tuning »,
- [8]. Allam Mousa, Yousef Dama et Al «Optimizing Outdoor Propagation Model based on Measurements for Multiple RF Cell ». Proceeding of the 9th Telecommunications Forum (TELFOR 2001), Belgrade, Nov.2001.
- [9]. HUAWEI Technologies, BTS3606CE&BTS3606AC and 3900 Series CDMA Product Documentation, pages 138-139.
- [10]. HUAWEI Technologies, CW Test and Propagation Model Tuning Report page 7, 20 Mars 2014.
- [11]. Standard Propagation Model Calibration guide, page 23, Avril 2004.
- [12]. HUAWEI Technologies : GSM RNP-RNO Radio Transmission Theory, pages 21-22, 2006.
- [13]. R. Mardeni, K. F. Kwan, “Optimization of Hata Propagation Prediction Model in Suburban Area in Malaysia”, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 13, pp. 91-106, 2010.
- [14]. A. Bhuvaneshwari, R. Hemalatha, T. Satyasavithri ;Statistical Tuning of the Best suited Prediction Model for Measurements made in Hyderabad City of Southern India. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol II WCECS 2013, San Francisco, USA pages 23-25 October, 2013.