

# Prédiction Des Affaiblissements Pour les Petites Cellules Urbaines dans le réseau GSM

Naima Bouzera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Génie Electrique, faculté de technologie  
Université de Bejaia (06000), Algerie  
Email: n.bouzera@gmail.com

Abdelkrime Kheirddine<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Laboratoire de Génie Electrique, faculté de technologie  
Université de Bejaia (06000), Algerie  
Email: khier\_2000@yahoo.fr

**Résumé**—Le but de ce travail est de comparer les modèles de propagation pour les petites cellules urbaines en GSM, avec l'objectif de tester leur comportement. L'ingénierie radio constitue l'un des aspects les plus importants lors du déploiement d'un réseau cellulaire dans la mesure où elle est responsable du niveau de qualité de service offert aux abonnés. En environnement indoor, le signal subit différents affaiblissements pouvant atteindre 30 dB. En effet, la propagation dans ce milieu dépend de plusieurs caractéristiques à savoir les données architecturales des bâtiments, en d'autres termes les types de matériaux de construction utilisés, la taille des fenêtres, etc. Nous nous intéressons dans ce papier à présenter différents modèles de prédiction de propagation en environnement urbaine. Après les différentes comparaisons, nous avons conclu que le modèle de COST-CNET est le plus adéquat pour faire une prédiction des affaiblissements pour une zone locale à forte concentration.

**Mots Clés**- réseau GSM, Propagation, Affaiblissement

## I. INTRODUCTION

En GSM (Global System for Mobile communication), les pertes produite entre émetteur et récepteur est connu sous le nom de perte de trajet de propagation. La perte de trajet est la réduction superflue du pouvoir simple qui est transmis. Nous mesurons cette perte de trajet dans la différente région comme rural, urbain et de suburbain à l'aide de modèles de perte de trajet de propagation. Les communications sans fil fournissent l'échange de renseignements de haute qualité de grande vitesse entre les artifices portatifs trouvés n'importe où dans le monde. Ces modèles peuvent être classés en trois types: empiriques, déterministes et stochastiques. Les modèles empiriques sont ceux-là ont basé sur les observations et les mesures seules. Ces modèles sont surtout utilisés pour prédire la perte de trajet, mais les modèles qui prédisent se fanent pluie et le multi-trajet ont aussi été proposé [3]. Les modèles déterministes faient

usage des lois qui régissent la propagation des ondes électromagnétiques pour déterminer la puissance du signal reçu à un endroit particulier. Les modèles déterministes ont souvent besoin d'une carte complète en 3-D du milieu de propagation. Un exemple d'un modèle déterministe est le modèle ray tracing [4]. Les modèles stochastiques, d'autre part, modèlent l'environnement en une série de variables aléatoires. Ces modèles sont moins précis, mais exigent le moins d'informations sur l'environnement et utilisent beaucoup moins de puissance de traitement pour générer des prévisions. Les modèles empiriques peuvent être divisés en deux sous-catégories à savoir, le temps de dispersion et de non-dispersion [2,5].

## II. CONCEPT CELLULAIRE

Un réseau cellulaire divise la zone à couvrir, généralement un pays entier, en petites zones appelées cellules. Chacune des cellules est desservie par une station de base (*BS* : *Base Station*) qui reçoit une partie des fréquences disponibles.

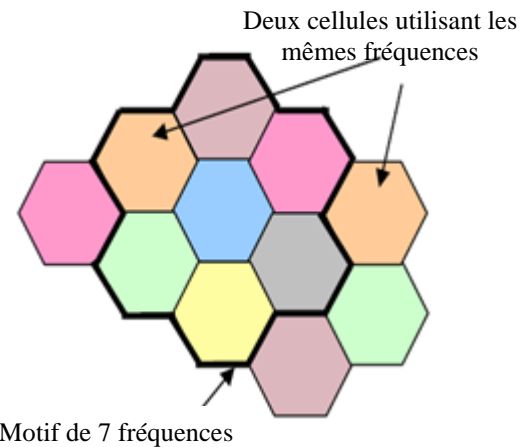


Figure1. Exemple théorique de couverture cellulaire.

C'est avec cette station de base que communiquent tous les téléphones mobiles actifs se trouvant dans la cellule concernée. Puisque deux communications radio utilisant la même fréquence interfèrent l'une avec l'autre lorsqu'on se trouve entre les deux émetteurs, ce qui met en évidence que les mêmes fréquences ne peuvent être utilisées par deux stations de base voisines.

### III. LES MECANISMES DE PROPAGATION

Les mécanismes de propagation radio-mobile dans les milieux *Indoor* sont liés essentiellement à la réflexion, la transmission, la diffraction, la diffusion et la structure de base du scénario. Tous ces phénomènes sont à l'origine de la distorsion et de l'atténuation du signal. Pour tous récepteurs, les déplacements à petites échelles génèrent au niveau de la puissance reçue des fluctuations puisque ce dernier est la résultante de plusieurs composantes causées par les divers mécanismes de propagation [1].

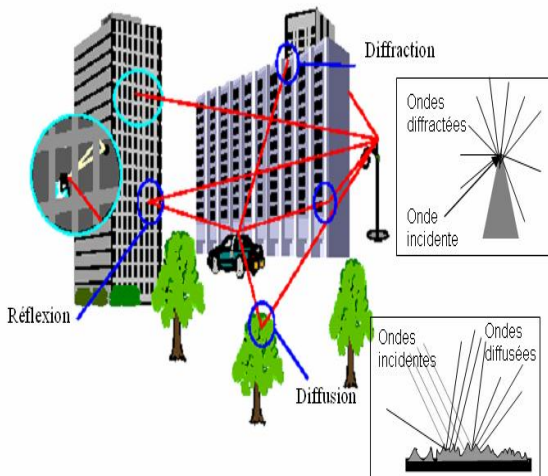


Figure 2. Les différents mécanismes de propagation.

#### III.1. LA PROPAGATION RADIO

L'onde radioélectrique est sujette à de nombreuses irrégularités de température, d'humidité, de caractéristiques électromagnétiques, etc. En d'autres termes du à des fluctuations en temps et en espace. A cet effet, nous avons les trois phénomènes les plus persistants dans la propagation radio pour un environnement *Indoor* : réflexion, diffraction et la diffusion. Il est à affirmer à ce stade que le média de communication est incontrôlable. En effet, trois types de variations du canal radio-mobile se dévoilent. Dans un premier lieu, on trouve les variations à grande échelle ou affaiblissement de parcours (Pathloss) qui sont des pertes de propagation dues à la distance parcourue par l'onde radio.

Ensuite, on distingue l'effet de masque (Shadowing effect) qui se présente comme étant des atténuations de puissance du signal dues aux obstacles rencontrés. Le dernier type de variation du canal radio mobile est lié aux trajets multiples.

Dans ce qui suit, nous présentons différents modèles de prédiction de propagation dans un milieu *indoor* mais nous rappelons précédemment la propagation en espace libre.

#### III.2. LA PROPAGATION EN ESPACE LIBRE

La propagation en espace libre est un cas théorique qui, dans la pratique, n'est que rarement vérifié. En effet, il s'agit des cas où aucun obstacle n'est présent entre l'émetteur et le récepteur, on parle alors de visibilité directe qui est déterminée à partir des ellipsoïdes de Fresnel.

L'équation de l'affaiblissement en espace libre est donnée par la formule suivante [4] :

$$L = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad \text{db}$$

Avec  $f$  : la fréquence exprimée en Mhz

$d$  : la distance entre l'émetteur et le récepteur, exprimée en Km.

Le principe des modèles de propagation est de calculer l'atténuation en espace libre et y ajouter un facteur correctif. Nous nous intéressons dans ce qui suit à différents modèles de propagation mais nous nous limitons à ceux du milieu *indoor* dans la mesure où notre intérêt vise les environnements intérieur.

### IV. LES MODELES DE PROPAGATION

L'ingénierie radio constitue l'un des aspects les plus importants du déploiement d'un réseau cellulaire en matière de qualité de service offert aux abonnés.

En environnement urbain, le signal subit différents affaiblissements. En effet, la propagation dans ce milieu dépend de plusieurs caractéristiques : la hauteur des BTS (*base transmitter station*), leurs emplacements, la hauteur des bâtiments, la largeur des rues etc. L'onde radioélectrique subit de ce fait de multiples déformations causées par les obstacles physiques (immeuble, véhicule, arbre).

Dans le domaine des radiocommunications, il existe plusieurs modèles de propagations qui peuvent être utilisés pour le dimensionnement de la couverture radioélectrique. Nous nous intéressons dans ce chapitre à présenter différents modèles de prédiction de propagation en environnement urbain ; là où nous détaillerons plus le modèle du parcours.

La conception et l'installation d'un réseau mobile tel que le réseau *GSM* nécessitent une caractérisation précise du canal radio-mobile, En effet, la modélisation du canal radio peut être assurée par des modèles mathématiques qui permettent de prédire la variation du niveau de signal reçu. Ces modèles sont

utilisés aussi pour nous aider à déterminer les positions optimales des antennes et à l'analyse de la qualité de service.

Ainsi, nous pouvons distinguer trois grandes familles :

- Les modèles empiriques (appelés encore modèles statistiques) qui sont basés sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales et qui tiennent compte des différents paramètres tels que la hauteur des bâtiments, les stations de bases, le terminal... tout en prenant en considération les diverses influences de l'environnement.
- Les modèles déterministes qui sont basés sur les lois fondamentales de la physique, et font appel à des relations mathématiques complexes qui sont difficiles à utiliser.
- Les modèles semi déterministes qui combinent les deux approches.

Au cours de ce papier, nous allons étudier les différents modèles déjà existants, pour la prédiction en milieu urbain.

De tels modèles reposent sur la collection d'un nombre assez important de données. Après une analyse statistique de ces données on extrapole les équations donnant une moyenne d'affaiblissement à une distance donnée. Les équations qui en sont déduites comportent généralement moins d'une dizaine de paramètres. Elles sont donc faciles à mettre en œuvre et rapide à implémenter dans un programme. Leur principal avantage est que nous n'avons pas besoin d'une représentation précise de la zone à couvrir. [4]

#### IV.1 Modèle d'OKUMURA-HATA [6] :

C'est le modèle empirique le plus utilisé, il sert de base à une grande variété de modèles plus affinés, il est basé sur les mesures faites par Okumura à Tokyo.

Le modèle de Hata a été étendu à 2GHz pour permettre la planification radio des réseaux DCS 1800. Les pertes moyennes sont exprimées en fonction de :

- la hauteur de l'antenne d'émission (station de base)

$h_{sb}$  (en m) ;

- la hauteur de l'antenne de réception (le mobile)  $h_m$

(en m) ;

- la Distance D entre la station de base et le mobile

- la fréquence en MHz.

Le domaine de validité est donné comme suit :

$$30m \leq h_{sb} \leq 200m$$

$$1m \leq h_m \leq 10m$$

$$1km \leq D \leq 20km$$

$$1500MHz \leq f \leq 2000MHz$$

L'affaiblissement est donné par la formule suivante :

##### 1. En zone urbaine :

$$Lu = 46.3 + 33.9 \text{ Log } (f) - 13.82 \text{ Log } (h_{sb}) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \text{ Log } (h_{sb}) \text{ Log } (d) + C_m$$

Un facteur de correction est utilisé pour prendre en compte la hauteur de l'antenne de réception mobile et l'environnement dans lequel elle se trouve :

$a(h_m) = (1.1 \text{ Log } (f) - 0.7) h_m - (1.56 \text{ Log } (f) - 0.8)$  pour une ville de taille moyenne

$a(h_m) = 3.2 (\log 1.54 h_m)^2 - 4.97$  pour une grande ville ( $f > 400$  MHz)

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB pour les villes de taille moyenne} \\ 3 \text{ dB pour les grandes villes} \end{cases}$$

##### 2. Zone suburbaine :

$$L_{su} = L_u - 2 \left( \log \frac{f}{28} \right)^2 - 5.4$$

##### 3. Zone rural :

$$L_r = L_u - 4.78 (\text{Log } f)^2 + 18.33 \text{ Log } f - 40.94$$

#### IV.2 Modèle de BERTONI-WALFISCH [1] :

Le modèle de BERTONI-WALFISCH prend en compte l'influence des positionnements des immeubles sur une communication radio mobile. Il suppose que la propagation se fait principalement par diffraction au sommet des bâtiments se trouvant au voisinage du récepteur mobile. Il considère que l'affaiblissement de parcours est composé de trois parties :

- L'affaiblissement entre deux antennes en espace libre.
- L'atténuation subite par le champ au sommet de l'immeuble, qui est due aux pertes de diffraction à travers une série de rangées d'immeubles.
- Les pertes de diffraction au sommet de l'immeuble voisin du mobile.

L'affaiblissement total est exprimé comme suit :

$$\text{Aff} = \text{Aff}_0 + \text{Aff}_1$$

Avec :  $\text{Aff}_0$  : est l'affaiblissement en espace libre donné par la relation

$$\text{Aff}_0 = 32.4 + 20 \log (f) + 20 \log (D)$$

$\text{Aff}_1$  : terme correctif qui prend en compte la courbure de la terre et l'environnement urbain.

$$\text{Aff}_1 = 57.1 + \text{Log } (f) + A - 18 \log (h_{sb}) + 18 \log (D) - 18 \log \left( 1 - \frac{D^2}{17 h_{sb}} \right)$$

Et :

$$A = 5 \log \left( \left( \frac{d}{2} \right)^2 + (h_b - h_m)^2 \right) - 9 \log (d) + 20 \log \left( \tan^{-1} \left( 2 \frac{h_b - h_m}{d} \right) \right)$$

Où D : la distance en Km.

f : la fréquence en MHz.

d : la distance entre les immeubles en (m).

$h_b$  : la hauteur moyenne des bâtiments en (m).

$h_{sb}$  : la hauteur de la station de base.

$h_m$  : hauteur du mobile en (m).

Ce modèle est applicable aux zones urbaines et suburbaines. Il suppose que les hauteurs des antennes des stations de bases sont assez élevées et entourées par des rangées d'immeubles de même hauteur et régulièrement espacées d'une distance  $d$ . Autrement dit, il suppose que les rues sont perpendiculaires aux rayons incidents.

#### IV.3 Modèle d'IKEGAMI [1] :

Il est basé sur la théorie de l'optique géométrique, où l'on considère la propagation de l'onde limitée en deux rayons. Il suppose par ailleurs, une structure idéale d'une ville avec une hauteur des bâtiments uniforme. Il est exprimé par la relation suivante :

$$Aff = Aff_0 + Aff_1$$

Avec :

$Aff_0$  : affaiblissement en espace libre donné précédemment (modèle de BERTONI-WALFISCH).

$Aff_1$  : affaiblissement dû à la réflexion, diffraction, il est donné par :

$$Aff_1 = -5.8 - 10 \log \left( 1 + \frac{3}{L^2} \right) - \log(w) + 20 \log(hb - hm) + 20 \log(\sin \phi) + 10 \log(f)$$

Avec :  $\phi$  : orientation de la rue par rapport au rayon incident (en degré)

$hb$  : hauteur moyenne des bâtiments.

$L$  : est le coefficient de réflexion des bâtiments. Ikegami suppose que les bâtiments introduisent des affaiblissements de 6dB.

#### IV.4 Modèle de SAKAGAMI-KUBOI [3] :

Cette analyse se base sur des mesures effectuées au Japon dans des milieux urbains. Ces mesures sont analysées par la procédure des régressions multiples afin de trouver l'influence des paramètres caractérisant le milieu urbain sur l'affaiblissement de propagation, tel

$$Aff = 100 - 7,1 \text{Log}(w) + 0,023 \phi + 1,4 \text{Log}(hmt) + 6,1 \text{log}(hb) + 20 \text{Log}(f)$$

$$+ e^{13(f-3.23)} - \left( 24.37 - 3.7 \frac{hst}{hsb} \right)^2 \log(dh) + (43.42 - 3.1 \log(dh)) \log(D)$$

Où :  $hsb$  : hauteur de la station de base.

$hb$  : la hauteur moyenne des immeubles.

$hm$  : hauteur du mobile.

$D$  : distance entre le mobile et la station de base.

$hst$  : la hauteur de l'immeuble à côté de la station de

base.

$hmt$  : hauteur d'immeuble le long de la route.

$W$  : largeur des routes.

$$\begin{aligned} \text{Avec :} \quad dh &= hsb - hm & w &= 5 \text{ à } 50 \text{ m} \\ hmt &= 5 \text{ à } 80 \text{ m} & dh &= 20 \text{ à } 100 \text{ m} \\ hst &< hsb & D &= 0.5 \text{ à } 5 \text{ Km} \end{aligned}$$

#### IV.5 Modèle de COST-CNET : [1]

La méthode de calcul de l'affaiblissement est issue de travaux de WALFISH et BERTONI sur la diffraction multiple par des arêtes alignées et uniformément réparties et sur ceux d'IKEGAMI pour la prise en compte de la dernière diffraction au niveau du mobile.

Les pertes totales obtenues se décomposent en quatre termes principaux représentants successivement :

- Les pertes liées à la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- Les pertes liées à la diffraction multiple sur les arêtes.
- Les pertes liées à la dernière diffraction et à la réflexion respectivement sur les immeubles et derrière le mobile.
- les pertes liées à la diffraction sur une arête principale.

L'affaiblissement total est modélisé par la formule suivante :

$$Aff = Aff_0 + Aff_{msd} + Aff_{rts} + Aff_{deg}$$

1. Les pertes liées à la distance entre l'émetteur et le récepteur ( $Aff_0$ ) :

C'est une atténuation due à la propagation en espace libre entre l'antenne émettrice et le mobile espacés d'une distance  $D$ . (affaiblissement en espace libre donné précédemment (modèle de BERTONI-WALFISCH).

2. les pertes liées à la diffraction multiple sur les arêtes ( $Aff_{msd}$ ) :

Le calcul de cette atténuation est basé sur la méthode de BERTONI et WALFISH révisée par COST-231[7] :

$$Aff_{msd} = Aff_{bsh} + k_a + k_d \log(D) + K_f \log(f) - 9 \log(d)$$

$$Aff_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + (hsb - hb)) & \text{Si } hsb > hb \\ 0 & \text{Si } hsb < hb \end{cases}$$



$$K_a = \begin{cases} 54 - 0.8(h_{sb} - h_b) \left( \frac{D}{0.5} \right) & \text{Si } h_{sb} < h_b \text{ et } D < 0.5 \text{ Km} \\ 54 - 0.8(h_{sb} - h_b) & \text{Si } h_{sb} < h_b \text{ et } D \geq 0.5 \text{ Km} \\ 54 & \text{Si } h_{sb} > h_b \end{cases}$$

Les deux premiers termes représentent les pertes causées en fonction de la hauteur de la station de base à savoir :  $K_a$  représente l'accroissement d'affaiblissement lorsque l'antenne de la station de base est située au-dessous du niveau des toits des bâtiments adjacents.

Les deux termes  $K_d$  et  $K_f$  contrôlent la dépendance des affaiblissements dus à la diffraction multiple en fonction respectivement de la distance et la fréquence.

$$K_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} \right) - 1 & \text{pour les villes moyennes et les zones suburbaines} \\ -4 + 1.5 \left( \frac{f}{925} \right) - 1 & \text{pour les milieux urbains denses} \end{cases}$$

$$K_d = \begin{cases} 18 - 15 \left( \frac{h_{sb} - h_b}{h_b} \right) & \text{Si } h_{sb} \leq h_b \\ 18 & \text{Si } h_{sb} > h_b \end{cases}$$

3. les pertes liées à la dernière diffraction et à la réflexion sur les immeubles et derrière le mobile (Aff<sub>rts</sub>) :

$$\text{Aff}_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(h_b - h_m) + A$$

Avec :

$$A = \begin{cases} -10 + 0.354 \varphi & \text{pour } 0 < \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) & \text{pour } 35^\circ < \varphi < 55^\circ \\ 4 + 0.114(\varphi - 55^\circ) & \text{pour } 55^\circ < \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

Où :  $w$  : la largeur de la rue  
 $f$  : la fréquence

$\varphi$  : l'orientation de la rue par rapport au rayon d'incidence.

4. les pertes liées à la diffraction sur l'arrête principale (Aff<sub>deg</sub>) données par la formule suivante :

$$\text{Aff}_{deg} = \begin{cases} 0 & \text{Si } \frac{h'}{r} < -0.5 \\ 6 + 12 \left( \frac{h'}{r} \right) & \text{Si } -0.5 < \frac{h'}{r} < 0.5 \\ 8 + 8 \left( \frac{h'}{r} \right) & \text{Si } 0.5 < \frac{h'}{r} < 1 \\ 16 + 20 \left( \frac{h'}{r} \right) & \text{Si } 1 < \frac{h'}{r} \end{cases}$$

Avec :  $h$  : la hauteur de dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel  
 $r$  : le rayon de l'ellipsoïde de Fresnel.

Ces pertes augmentent proportionnellement avec la distance entre la station de base et le récepteur mobile, et les hauteurs des bâtiments.

## VI. RESULTATS ET SIMULATIONS

Afin de mettre en œuvre les modèles de prédiction de propagation choisis, notre approche consiste à supposer des données qui caractérisent approximativement la zone à étudier, à savoir la hauteur des immeubles, la largeur moyennes des rues et la distance moyenne qui sépare deux immeubles adjacents.

### IV.1 Comparaison entre les modèles de propagation

Dans le but de faire une comparaison des différents modèles étudiés dans le chapitre précédent, nous allons prendre en considération les paramètres d'urbanisme. Ainsi nous Comparerons les modèles qui prennent compte de ces paramètres à savoir : Bertoni-Walfish, Ikegami, Sakagami et Cost-Cnet. Cependant le modèle de Hata en n'en tient pas compte, mais il peut être appliqué aux petites ou aux grandes villes, que nous allons utiliser comme facteur de comparaison concernant ce modèle.

Pour le travail que nous allons effectué, nous utiliserons les données suivantes selon notre prédiction :

Fréquence d'émission	f=1880Mhz
Hauteur d'antenne d'émission	hub=30 m
Hauteur d'antenne de réception	hm=2m
Distance entre l'émetteur et récepteur	D=3 à 5 km
Largeur moyenne des rues	w=10m
Hauteur moyenne des bâtiments	hb=15 m
Hauteur d'immeuble le long des la rue	hmt=20 m
Hauteur d'immeuble a coté de la station de base	hst=15m
Espacement moyen des bâtiments	d= 12m
Hauteur antenne station de base/altitude du mobile	h=28.5 m
Coefficient de réflexion	L=6 dB
Orientation de la rue par rapport à l'axe principal du faisceau	$\Phi=55^\circ$

Tableau.1 valeurs des paramètres utilisés dans la simulation

Nous allons entamer la première simulation par le modèle le plus simple, celui de HATA .

- **Comparaison sans tenir compte des facteurs d'urbanisme**
- Comparaison entre les petites et grandes villes dans le modèle de Hata

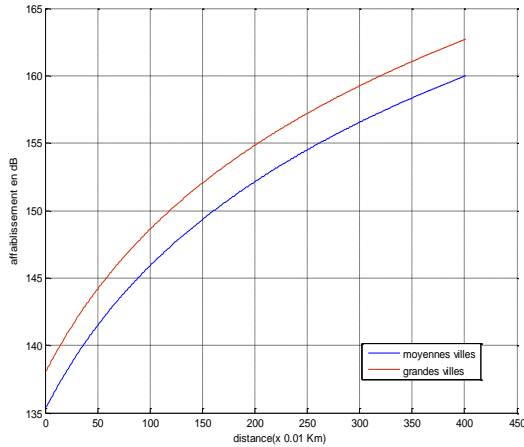


Figure3. Modèle d'OKUMURA HATA, (niveau de variation de l'affaiblissement en fonction de la distance MS-BTS)

**Comparaison en tenant compte des facteurs d'urbanisme**

Les modèles de Bertoni-Walfish, Ikegami, Sakagami et Cost-Cnet tiennent compte de certaines caractéristiques de la ville étudiée tel que l'orientation des rues, la hauteur des bâtiments et l'espacement entre les bâtiments.

**1. Influence de l'orientation des rues**

Pour cette première comparaison nous nous intéressent au premier facteur qui est l'orientation des rues par rapport à l'onde incidente provenant de la station de base.

Trois modèles tiennent compte de ce facteur à savoir COST-CNET, SAKAGAMI et IKEGAMI.

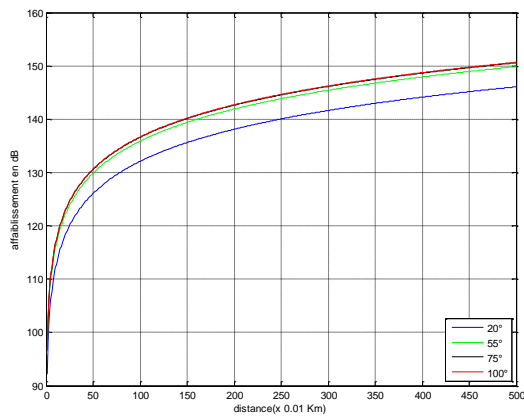


Figure4. Influence de l'orientation de la rue dans le modèle d'IKEGAMI

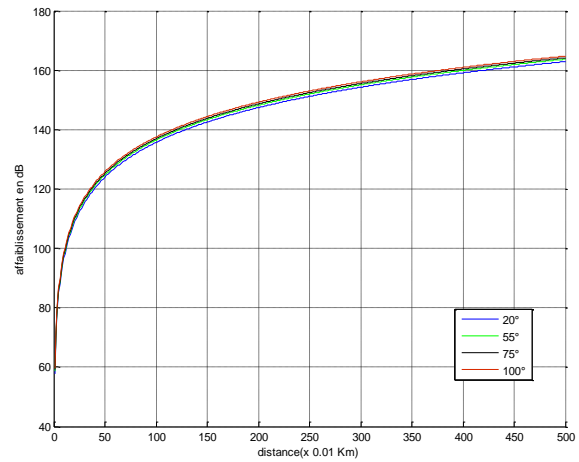


Figure5. Influence de l'orientation de la rue dans le modèle de SAKAGAMI

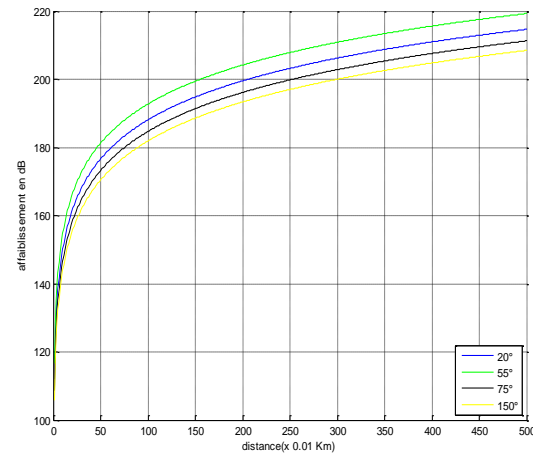


Figure6. Influence de l'orientation de la rue dans le modèle de COST-CNET.

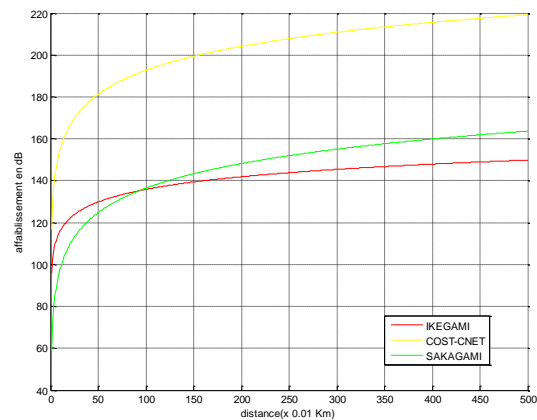


Figure7. Comparaison entre les modèles SAKAGAMI, IKEGAMI et COST-CNET( $\Phi=55^\circ$ )

## 2. Influence de la distance entre bâtiments

Le second facteur à prendre en compte est la distance entre bâtiments. Il est considéré dans deux modèles, celui de BERTONI-WALFISH et COST-CNET.

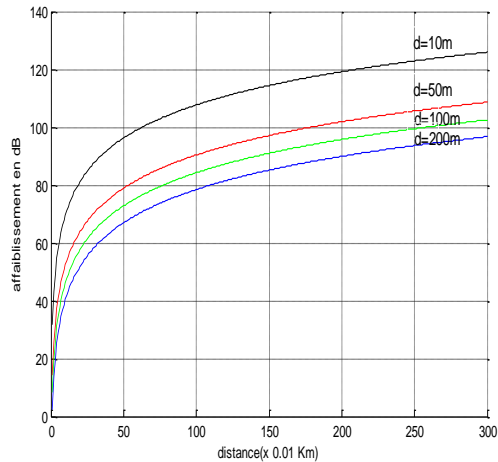


Figure8. Influence de la distance entre bâtiments dans le modèle de BERTONI-WALFISH

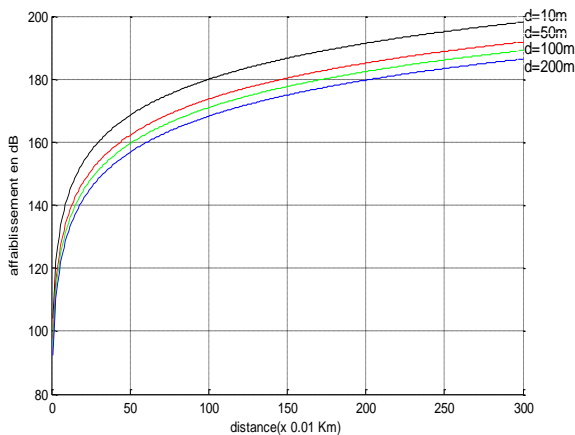


Figure9. Influence de la distance entre les bâtiments dans le modèle de COST- CNET

## 3. Influence de la hauteur des toits

Le troisième facteur à considérer est la hauteur des bâtiments, Il est introduit dans deux modèles qui sont : COST-CNET et IKEGAMI.

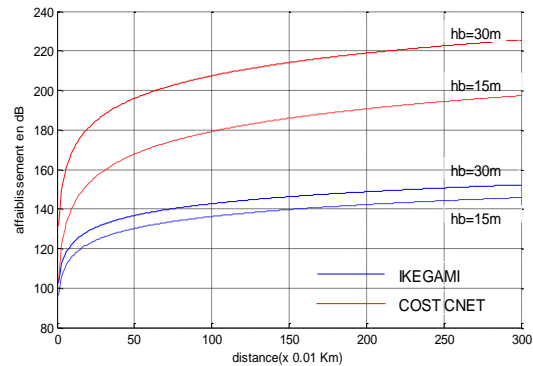


Figure10. Influence de la hauteur des bâtiments dans les modèles de COST-CNET et IKEGAMI

## VI. CONCLUSION

Ces résultats nous a permis d'évaluer les modèles de prédiction des affaiblissements étudiés, que nous pouvons diviser en deux catégories,

- a. ceux qui tiennent compte des paramètres d'urbanisme ;
- b. et ceux qui n'en tiennent pas compte.

Cette dernière catégorie est peu fiable en raison du manque de données caractérisant l'environnement. Par contre la première, du fait d'une meilleure description du milieu de propagation à travers les différents paramètres introduites dans chacun des modèles, offre une meilleure estimation de l'affaiblissement.

Après les différentes comparaisons nous avons conclu que le modèle de COST-CNET est le plus adéquat pour faire une prédiction des affaiblissements pour une zone locale à forte concentration, puisqu'il offre

- une estimation plus précise que les autres modèles étudiés dans ce travail,
- Il caractérise au mieux l'environnement de propagation.

## REFERENCES

- [1] R.Charle House, Electronique appliquée : les antennes fondamentaux, 3ème édition, Dunod, Paris, 2006.
- [2] H.R.Anderson,Fixed Broadband Wireless System Design.John Wiley & co.2003
- [3] R.K.Crane "Prediction of attenuation by rain," IEEE Transactions on communications,vol.COM-28,pp.1727-1732,september 1980
- [4] E.Athanasiadou,A.R.Nix,and L.P.MeGeehan,"A Microcellular raytracing propagation model and evaluation of its narrowband and wideband predictions," IEEE journal on selected areas in comm.,wireless comm., series,vol.18 pp.322-355,march 2000
- [5] Purnima K Sharma, R.K.Singh, "Comparative Analysis of Propagation Path Loss Models With Field Measured Data" IJEST, Vol.2(6)in 2010 at 2008-2013.
- [6] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Trans. Vehic. Technol., Vol VT-29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [7] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation systems, final report," tech. rep., European Communities, EUR18957, 1999.