



Listes de contenus disponibles sur: [Scholar](#)

**ETUDE DE LA SIMULATION DU RESEAU 4G LTE (LONG TERM EVOLUTION) PAR DES CALCULS ESTIMATIFS A KINSHASA- GOMBE, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO.**

Journal homepage: [ijssass.com/index.php/ijssass](http://ijssass.com/index.php/ijssass)

**ETUDE DE LA SIMULATION DU RESEAU 4G LTE (LONG TERM EVOLUTION) PAR DES CALCULS ESTIMATIFS A KINSHASA- GOMBE, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO.★**

**MORO OMEGA PASCAL <sup>a\*</sup>**

A. Doctorant, Université Pédagogique Nationale

Received 11 January 2023; Accepted 21 February 2023

Available online 1 March 2023

**ARTICLE INFO**

*Keywords:*

Simulation du réseau 4g  
LTE (long term évolution)

Calculs estimatifs  
Kinshasa

Gombe

**ABSTRACT**

Le début des télécommunications électriques remonte au 20<sup>ème</sup> siècle dans le contexte de l'expansion industrielle et de l'accélération des moyens de communication matérielle. Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de Télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS). D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que Wifi, Bluetooth.

Au travers cette étude, nous avons présenté les différents éléments des 3 réseaux et qui a montré comment leurs architectures sont complémentaires. Nous avons parlé en détail de la norme 4G dans laquelle partie nous avons abordé différents aspects de la norme établis par la 3GPP case 1 et UIT. Les caractéristiques générales et théoriques y ont été reprises, les principaux paramètres 4G qui ont fait à ce que ce réseau soit meilleur par rapport aux précédents sont : la latence beaucoup moins importante, une large bande passante, une bande de fréquence flexible. Les données collectées nous ont permis de dimensionner les cellules et définir le type de zone, puis à travers l'outil professionnel de planification et de simulation du réseau ATOLL, nous avons pu réaliser quelques manipulations de simulation sur le comportement général du réseau.

.

.

**1. Introduction**

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de Télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimédia (3G, UMTS).

## I. INTRODUCTION

D'autre part, les réseaux locaux sans fil sont rentrés dans la vie quotidienne au travers de standards phares tels que Wifi, Bluetooth, etc.

Les Evolutions se poursuivent de partout, tant dans le monde des réseaux spécialisés (Capteurs, Etiquettes intelligentes, etc.) que des réseaux télécoms. Ceux-ci voient désormais des solutions concurrentes apparaître provenant de divers horizons : monde télécoms Classiques avec HS(D,U)PA, monde des réseaux sans fil avec le WiMax voire le monde de la Diffusion télévision terrestre et satellite (DVB-T, DVB-H, DVB-S).

Cependant les utilisateurs de réseaux mobiles se montrent actuellement gourmands en matière de la consommation des ressources fournies par les services de réseaux de télécommunication.

L'utilisation des ressources déjà disponibles deviennent de moins en moins insatisfaisante et le besoin des utilisateurs de ces réseaux augmente de plus en plus ce qui pousse aux chercheurs d'accroître la satisfaction des usagers de réseaux. Une génération de réseau est bien envisagée pour pallier ce problème, et de fois déjà implantée dans certains coins du monde, c'est la 4G.

La future génération de réseaux sans fil dite de quatrième génération (4G) apporte un véritablement tournant dans le fonctionnement et la disparité des solutions existantes. L'objectif cette fois sera certes d'augmenter les débits et les applications prises en charge par ces réseaux mais encore de construire un cadre permettant leur interopérabilité. Des premières solutions sont déjà disponibles auprès de la plupart des opérateurs de télécommunications qui implémentent ce type de réseau.

### ➤ **Bref aperçu sur le réseau téléphonique et leur évolution**

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vu le jour (1G, 2G, 3G, 4G et

prochainement la 5G pas encore mis en œuvre) et ont connu une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant simultanément être supporté.

Les réseaux de la première génération (appelée aussi 1G) ont été intégrés au réseau de télécommunication dans les années 80. Ces systèmes ont cependant été abandonnés il y a quelques années laissant la place à la deuxième génération, appelée 2G lancée en 1991. Elle est encore active jusqu'à nos jours.

Nous pouvons distinguer deux autres types de générations au sein même de la deuxième : la 2.5G et la 2.75G. Le principal standard utilisant la 2G est GSM. A la différence de la 1G, la deuxième génération de normes permet d'accéder à divers services, comme l'utilisation du WAP permettant d'accéder à Internet, tandis que pour la 3<sup>ème</sup> génération connue sous le nom de 3G permet un haut débit pour l'accès à l'internet et le transfert de données.

En ce qui concerne la nouvelle génération 4G (LTE), déployée jusque-là que par quelque pays, elle permet le très haut débit, une moindre latence et beaucoup d'autres services qu'on verra par la suite dans les prochains chapitres.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes générations de téléphonie mobile, leur architecture ainsi que d'autres services pouvant être utilisés par chacune de ces générations cellulaires.

Nous parlerons aussi sur l'évolution de réseaux de télécommunication en détails. Pour aboutir à notre objectif, il nous sera plus commode d'éclairer les sources de réseaux mobiles pour avoir une image certaine sur la dernière génération de réseau mobile qui fait objet de notre étude.

### ➤ **Bref Historique des réseaux de télécommunication classiques**

Le début des télécommunications électriques remonte au 20<sup>ème</sup> siècle dans le contexte de l'expansion industrielle et de l'accélération des moyens de communication matérielle

(Ex : chemin de fer)

- En 1857 : Samuel MORSE invente un système de transmission codée des lettres de l'alphabet, qui plus tard deviendra le TELEGRAPHE.
- En 1858 : Un câble (unifilaire, isolé) est posé à travers l'atlantique et a permis la transmission télégraphique. Par défaut d'isolement, ce câble est rendu inutilisable après un mois.
- En 1870 : La liaison télégraphique par ligne aérienne et sous-marine est établie entre Londres et Calcutta.
- En 1876 : Alexander Graham Bell déposa son brevet concernant un moyen de transmission électrique des SONS à l'aide d'une résistance variable.
- En 1927 : La première liaison Téléphonique transatlantique par onde courte fut établie.
- **Dimensionnement du réseau mobile LTE**

La nécessité d'adoption de l'architecture système simplifié, des limites strictes en matière de spectre et l'utilisation d'un nouveau radio-accès à la technologie avec de meilleures caractéristiques restent le souci des opérateurs. Dans ce chapitre, nous présenterons notre processus de dimensionnement du réseau LTE, dans un premier temps nous nous intéresserons au dimensionnement de l'eNodeB, la capacité requise sur les interfaces X2 et S1.

#### ❖ **Processus de dimensionnement d'eNode B**

Le processus de calcul de la couverture et la capacité peuvent être faits d'une manière arbitraire, mais adapté aux exigences d'entrée du projet de dimensionnement et la sortie attendue. Le processus

commence par définir les exigences de qualité, exprimé en débit binaire sur le bord de la cellule, ou en tant que degrés de couverture séparément pour la liaison montante et la liaison descendante, à la sortie souhaitée de la capacité de la cellule, et la distance de site à site.

Le procédé de calcul de dimensionnement comporte les étapes suivantes :

#### - **Définir l'exigence de qualité :**

Cette exigence est basée sur une condition de débit à une probabilité de couverture donnée UL et en DL. Les attributs suivants doivent être définis : Le type de transmission MIMO et diversité de TX, la diversité de réception dans l'équipement utilisateur et station de base, classe énergie RBS (par exemple, 20 W ou 40 W), la puissance de sortie de l'équipement utilisateur, bande passante, bande de fréquence.

#### - **Calculer la couverture :**

Selon les critères de qualité, la couverture peut être calculée en termes de perte de trajet, de la distance site à site, ou le rayon de cellules. Si la couverture ne répond pas aux exigences, la définition de la qualité du bord de la cellule ou des conditions requises pour le calcul devra peut-être être répétée.

#### - **Calculer la capacité :**

Les contraintes de couverture et de la qualité au niveau du bord de la cellule sont utilisées pour calculer la capacité. Le calcul de capacité inclut le calcul de couverture et de qualité (en UP et DL), une méthode alternative de la capacité de cellule en DL et de la distribution de débit binaire.

#### 1.1. Calcul de la couverture Uplink

La plupart des systèmes de téléphonie mobile sont souvent limités par la liaison montante, il est donc utile de commencer les calculs du bilan de liaison avec les exigences de couverture de liaison montante. Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes:

- Exigence de débit binaire

- Exigence SINR
- La sensibilité du récepteur eNodeB
- L'augmentation du bruit Uplink (marge d'interférence)
- La puissance de l'équipement de l'utilisateur par Resource Block
- Bilan de liaison montante

Nombre de ressources	$n'_{RB}$
Débit binaire requis (Kbps)	$R_{reg}$
Débit binaire requis par RB	$R_{reg, RB} = R_{reg} / n'_{RB}$
SINR (Signal-to-interference noise ratio)	$y = a_1 - a_2 \sqrt{\left( \ln \left( \frac{a_0 - a_3}{R_{reg, RB} - a_3} \right) \right) \ln 2 ; 0 \leq R_{RB} \leq a_0 \text{ (dB)}}$
La bande passante par ressource block	$W_{RB}$
Facteur du bruit du récepteur	$N_f$
Densité de puissance de bruit thermique	$N_t$
Bruit thermique par ressource block	$N_{RB, UL} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB}$
Sensibilité du récepteur	$S_{enodeB} = N_{RB, UL} + y \text{ (dBm)}$
Facteur d'influence de cellule UL	$F$
La cible de SINR pour le contrôle de puissance en boucle ouverte	$Y_{target}$
La charge en Up Link	$Q_{UL}$
Marge d'interférence (dB)	$B_{IUL} = \frac{1}{1 - Y_{target} - Q_{UL} F}$
Puissance d'UE (dBm)	$P_{UE}$
Puissance par ressource block (dBm)	$P_{UE, RB} = P_{UE} / n'_{RB}$
Pertes jumpers (dB)	$L_j$
La somme de gain d'antenne RBS et UE gain d'antenne (dBi)	$G_a$
Les pertes de pénétrations de bâtiment (dB)	$L_{BPL}$
Les pertes de pénétrations de voiture (dB)	$L_{CPL}$
Les pertes dues au corps humain (dB)	$L_{BL}$
<b>Bilan de liaison montante</b>	$L_{Pmax} = P_{UE, RB} - S_{enodeB} - B_{IUL} - L_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_j$

**Tableau III.1 : Bilan de liaison montante**

La marge est nécessaire pour garantir une certaine probabilité de couverture.

### 1.2. Calcul de la couverture Down Link

Le bilan de liaison descendante est calculé pour les fins suivantes:

- Pour déterminer le lien de limiter.
- Pour déterminer le débit binaire qui peut être pris en charge dans la liaison descendante à la limite de la plage de cellules de liaison montante.

Les calculs sont effectués selon les étapes suivantes:

- Pertes de passage d'air maximum de liaison montante
- Exigences débit binaire
- Alimentation par ressource block
- Augmentation du bruit descendant
- Bilan de liaison descendante
- Densité du récepteur UE
- Débit binaire au niveau de bord de la cellule
- La conclusion du bilan de liaison

Atténuation signal max en DL	$L_{sa, cellrange} = L_{pmax} + L_{BL} + L_{CPL} + L_{BPL} - G_a + L_j$ (db)
Puissance de la sortie de la RBS	$P_{nom, ref}$
Puissance par bloc de ressource	$P_{tx, RB} = P_{nom, ref} / N_{RB}$
Facteur d'interférence de la cellule DL	$F_c$
La charge en DL	$Q_{DL}$
Marge d'interférence (dB)	$B_{IDL} = P_{tx, RB} Q_{DL} F_c / N_{RB DL} L_{sa, cellrange}$
Sensibilité de l'UE	$S_{UE} = N_{RB DL} + Y$ (dB)
La bande passante par ressource bloc (180 KHz)	$W_{RB}$
Marge de fading	$B_{LNF}$
Facteur du bruit de l'UE	$N_f$
Densité de puissance du bruit thermique	$N_t$
Le bruit thermique par ressource bloc	$N_{RB UL} = N_t + N_f + 10 \log W_{RB}$
SINR sur le bord de la cellule	$Y = P_{tx, RB} - L_{pmax} - N_{RB DL} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BL} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a + L_j$
Nombre de ressources blocs	$N_{RB}$
Débit binaire de bord de la cellule pour RB (Kbps)	$R_{RB} = \max [a_1 + a_3 + (a_0 - a_3) e^{-\ln(2)} [Y - a_1 / a_2]^2]$ où $Y < a_1$ et $R_{RB} = a_0$ ; $Y \geq a_1$
Débit binaire d'utilisateur total à bord de la cellule	$R = N_{RB} \times R_{RB}$
Pertes jumpers (dB)	$L_j$
La somme de gain d'antenne RBS et UE gain d'antenne (dBi)	$G_a$
Les pertes de pénétrations de bâtiment (dB)	$L_{BPL}$
Les pertes de pénétrations de voiture (dB)	$L_{CPL}$
Les pertes dues au corps humain (dB)	$L_{BL}$
Bilan de liaison descendante	$L_{pmax} = P_{tx, RB} - S_{UE} - B_{IDL} - B_{LNF} - L_{BI} - L_{CPL} - L_{BPL} + G_a - L_j$ (dB)

### 1.3. Capacité en UP Link

Dans la voie montante, un ou plusieurs blocs de ressources sont attribués à chaque limite de bande passante pour signaler les utilisateurs en mode veille sur le canal de liaison montante physique de contrôle channel (PUCCH).

Pour cette raison, le nombre de blocs ressources en liaison montante disponible pour le calcul de la capacité sont toujours réduits par un numéro  $n_{PUCCH}$  (4 est la valeur recommandée).

De la même manière, de blocs de ressources alloués à accès aléatoire physique channel (PRACH)  $n_{PRACH}$  réduit le nombre disponible de blocs de ressources en liaison montante. La valeur est de 0,6.

Le débit de la cellule est représenté par l'équation suivante :

$$T_{cell, UL} = Q_{UL} R_{avg, UL}$$

Le débit de l'utilisateur moyen qui en résulte par cellule est :

$$R_{avg, UL} = R_{RB, UL} (N_{RB} - n_{PUCCH} - n_{PRACH}).$$

### 1.4. Capacité en Down Link

Les calculs de capacité de liaison descendante effectués sont :

- SINR ;
- Débit cellulaire.

#### 1. SINR: (Signal-to-Interference-and-Noise-Ratio)

La capacité de DL est basée sur le SINR à l'emplacement moyen à l'intérieur d'une cellule,  $Y_{DL, ave}$  désigné comme un rapport linéaire :

$$B_{DL-noiserise} = 1 + \frac{P_{tx, rb} Q_{dlF}}{N_{rb, dl} L_{sa, cellrange}}$$

SINR moyen qui en résulte est représenté par l'équation suivante :

$$Y_{DL, ave} = \frac{P_{tx, rb} Q_{dl F}}{B_{dl-noiserise} N_{rb, dl} H_{sa, cellrange}}$$

Où H est le facteur d'atténuation moyenne et dépend de la géométrie du site. Une valeur de 0,36 est recommandée pour le dimensionnement.

#### 2. Débit cellulaire

Le débit moyen de l'utilisateur par cellule est réduit proportionnellement avec le nombre de blocs

ressources  $n_{RB}$ . La SINR moyenne (convertie en une valeur algorithmique) on obtient un débit binaire moyen :

$$R_{avg, DL} = n_{RB} R_{RB, DL}$$

Le débit de la cellule est représenté par l'équation suivante :

$$T_{cell, DL} = Q_{DL} n_{RB} R_{RB, DL}$$

## 2. Dimensionnement de l'interface S<sub>1</sub> et X<sub>2</sub>

### 2.1. Interface X<sub>2</sub>

Le résultat du nœud eNobe B est la clé du reste du dimensionnement, l'interface X<sub>2</sub>. Cette dernière s'avère comme opération beaucoup moins complexe.

Vu que l'architecture du réseau d'accès LTE est plate, les eNobe B sont deux à deux connectés par l'interface X<sub>2</sub> (physiquement ou logiquement), le nombre d'interfaces X<sub>2</sub> est donc donné par :

$$N^{X_2} = N^{eNB} (N^{eNB} - 1) / 2.$$

La capacité requise dans l'interface X<sub>2</sub> dépend de l'architecture du protocole X<sub>2</sub>AP. Ce dernier est utilisé pour gérer la mobilité d'UE dans les E-UTRAN et offre les fonctions suivantes :

- La gestion de la mobilité ;
- La gestion de la charge ;
- La réinitialisation et mise en place du X<sub>2</sub> ;
- La mise de la configuration eNobe B ;
- Et les rapports généraux de situations d'erreurs.

Nous allons nous inspirer des contraintes et expériences des différents constructeurs pour déterminer la capacité de l'interface X<sub>2</sub> en LTE :

- X<sub>2</sub> demande une capacité beaucoup moins que celle de S<sub>1</sub>, au maximum 3% : HUAWEI ;
- X<sub>2</sub> est < 2% du trafic S<sub>1</sub>, à peu près 1,6% : ERICSON ;
- 2 à 3 % de S<sub>1</sub> est une allocation généreuse pour X<sub>2</sub> : FT/Orange, conférence des réseaux de transport pour les opérateurs mobiles en 2010.

Ainsi, nous allons nous basés sur les réclamations des

constructeurs et on va retenir que la capacité de l'interface  $X_2$  (notée  $C^{X2}$ ) constitue 3% de celle de  $S_1$  ( $C^{S1}$ ). Dans ce cas, l'interface garde la même capacité que le LTE.

$$C^{X2} = 3\% C^{S1}$$

## 2.2. Interface $S_1$

La capacité de  $S_1$ , vu qu'elle transporte les données et la signalisation, peut être considérée en somme sur le plan utilisateur et sur le plan contrôle.

$$C^{S1} = C^{S1}_{\text{user-plan}} \times C^{S1}_{\text{control-plan}}$$

## 3. Etude du territoire

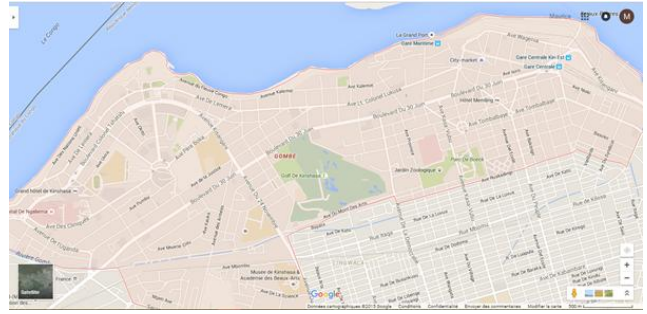
Nous avons plusieurs paramètres qui nous permettent de définir le dimensionnement d'un réseau mobile, entre autre, l'étude des équipements radio, logiciels, aussi le milieu où nous étudierons l'activité de la population, le nombre d'habitant pour répondre au besoin de la couverture du réseau.

Dans notre cas, nous avons ciblé la commune de la Gombe où nous avons estimé que le 60% de la population peut accéder aux services et exigences offerts et imposées par la technologie LTE.

Commune de la Gombe	
Superficie	29,33 km <sup>2</sup>
Population	49,024 hab.
Densité	0,59 hab. /km <sup>2</sup>
Altitude	340 m
Coordonnées géographiques	4° 18' Sud et 15° 18' Est
Type de zone	Urbain dense

**Tableau III.3 : Données de la commune de la Gombe**

Carte de la commune de la Gombe : Google Map.



**Fig. III.1 : Carte de la commune de la Gombe**

A l'issue de toutes ces données, nous pouvons calculer :

La densité téléphonique	$\frac{\text{NbrTéléphone}}{\text{habitant}} \%$
La pénétration téléphonique	$\frac{\text{NbrTéléphone}}{\text{Superficie}} \%$
Le nombre d'abonnés estimé	Population * Densité téléphonique
Trafic total ( $A_0$ )	Nbr d'abonné * trafic moyen/abonné
Bande de fréquence	2.10 GHz
Largeur de bande	20 MHz

**Tableau III.4 : Formule de simulation**

Cette partie du travail nous montre différents paramètres devant aider à la suite pour la simulation. Ces détails sont bien génériques car notre outil de simulation donnera plus des informations qui vont éclaircir le but de notre travail.

## SIMULATION

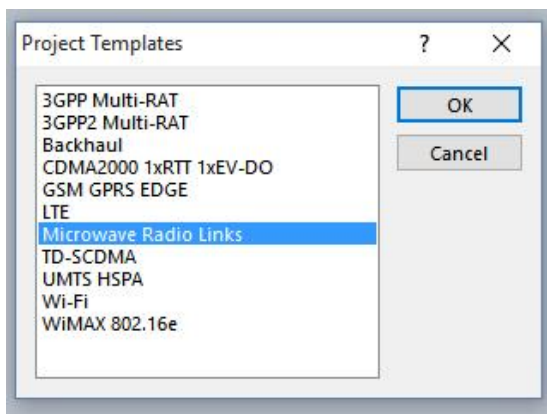
Nous allons user des données du chapitre précédent pour rendre pratique notre travail en simulant les capacités du réseau LTE grâce notamment à l'outil professionnel de simulation ATOLL

### 1. Description de l'outil ATOLL

ATOLL est un outil de dimensionnement, de planification et de simulation des réseaux mobiles cellulaires pouvant être utilisés sur tous les cycles de vie des réseaux (du design à l'expansion et l'optimisation).

L'outil exploite différentes données en entrée, il permet de choisir le type de réseau à dimensionner :

- 3GPP Multi-RAT ;
- 3GPP2 Multi-RAT ;
- Backhaul ;
- CDMA 2000 1xRTT 1xEV-DO ;
- GSM GPRS EDGE ;
- LTE ;
- Microwave Radio Links ;
- TD-SCDMA ;
- UMTS HSPA ;
- WI-FI ;
- Wimax 802.16<sup>e</sup>



**Fig. IV.1 : Type de réseau à dimensionner dans ATOLL 3.2.1.5838**

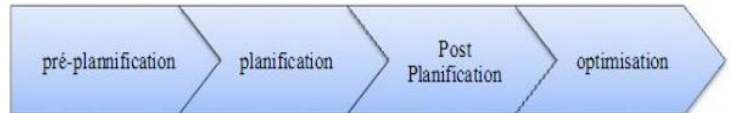
Les paramètres sont différents en fonction de la technologie choisie, ainsi on peut définir le modèle de propagation, le type d'antenne ainsi les caractéristiques du site.

Et enfin après avoir planifié le réseau, l'outil ATOLL permet de réaliser de multiples prédictions, par exemple : couverture par niveau de champ, couverture par émetteur et étude du trafic, prédiction de la capacité de la cellule.

## 2. Planification

La planification du réseau est une étape primordiale, du coup elle doit être bien développée. Les étapes à

suivre lors de planification sont :



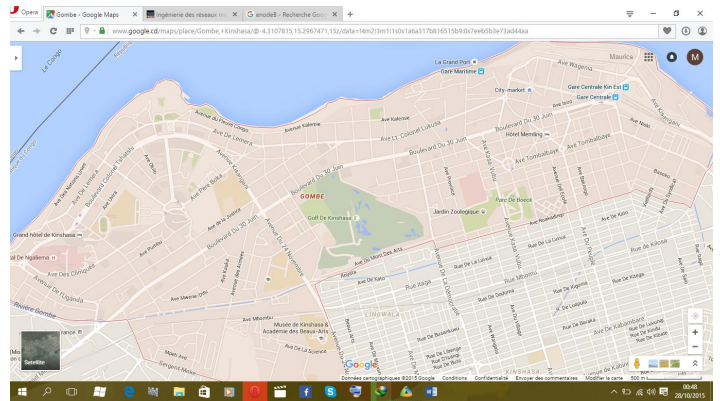
**Fig. IV.2 : Processus de planification**

### 2.1. Pré planification

C'est la première étape qui consiste à préparer la planification réelle du réseau, on doit collecter les informations sur la région (mode de vie, heure de pointe, etc.)

Dans l'outil ATOLL, la pré-planification consiste à définir des éléments suivants :

- **La carte topographique**



**Fig. IV.3 : Carte de la Gombe**

- **Le nombre estimé d'utilisateur**

Comme vu dans le chapitre précédant que le nombre d'utilisateur est calculé par le nombre de population multiplié par la densité téléphonique. (Population \* Densité téléphonique). Or la densité téléphonique est  $\frac{\text{NbrTéléphone}}{\text{habitant}} \%$

Donc le 60% de la population détenant les mobiles 4G est :

$$\frac{60 \times 49024}{100} = 29414 \text{ (calcul estimatif)}$$

Ayant le nombre de téléphones, nous pouvons maintenant calculer la densité téléphonique :

$$Dth = \frac{29414,4}{49024} = 0,6\%$$

Donc le nombre d'utilisateur est :  $49024 * 0,6\% = 29414$ .

- **La pénétration téléphonique**



Elle est calculée par  $\frac{\text{nbrTéléphone}}{\text{superficie}} \%$

Nous aurons donc :  $\frac{29414,4}{29,33} = 1002,88$ .

#### - Les services attendus

L'outil propose plusieurs types de service : High Speed Internet, Video Conferencing, VoIP, Mobile Internet Access.

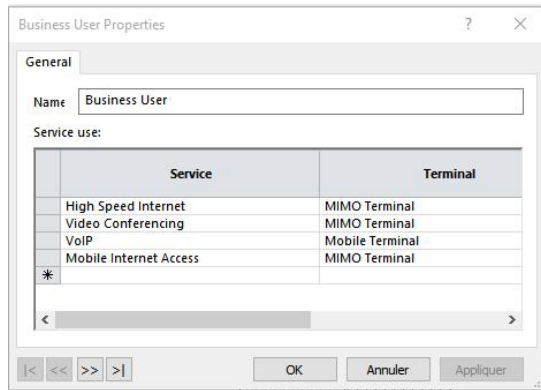


Fig IV.3 : Types de service dans ATOLL

#### - La taille et le nombre de cellules

Nous définissons d'abord la taille d'une cellule, généralement la cellule prend la forme hexagonale.

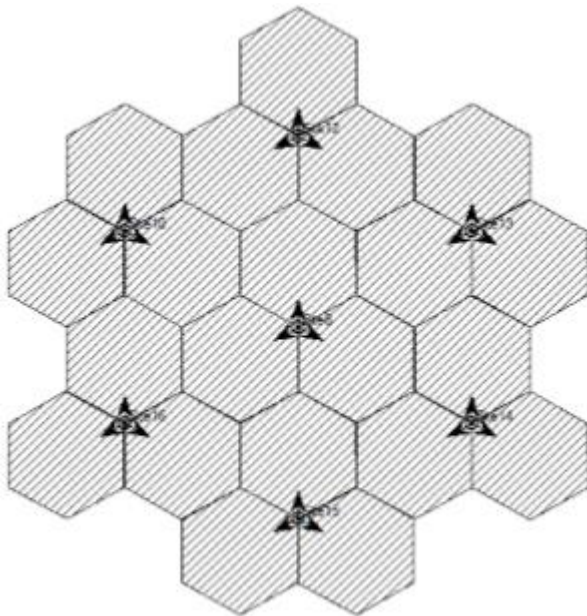


Fig. IV.4 : Forme hexagonale des cellules dans ATOLL

Pour trouver la taille d'une cellule, nous devons calculer la surface d'un hexagone considérant un rayon de 0,5 Km.

Nous aurons donc :  $\text{air d'un hexagone} = \frac{3\sqrt{3}}{2} * (0,5)^2$

La surface de notre cellule aura la valeur 0,6495 Km<sup>2</sup> (à 0,1 près).

Connaissant la superficie de notre environnement et celle d'une cellule définie, nous pouvons déterminer le nombre de cellules.

Nombre de cellules =  $\frac{\text{Superficie du territoire}}{\text{superficie de la cellule}}$

Nous obtenons donc :

$$\text{NbrCell} = \frac{29,33}{0,6495} = 45 \text{ cellules}$$

Nous déterminerons aussi le nombre de sites. Un site comprend trois antennes décalées de 120° et couvrant trois cellules en général.

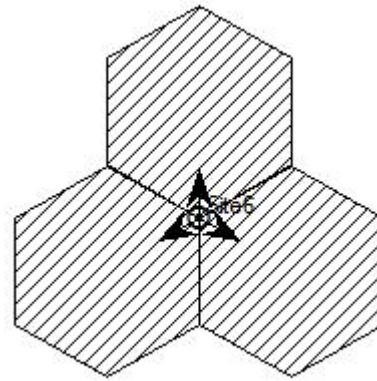


Fig. IV.5 : Site couvrant trois cellules.

Le nombre de sites est donné par la relation :

$$\frac{\text{nombre de cellules}}{3}$$

$$\text{NbrSite} = \frac{45}{3} = 15 \text{ sites}$$

D'après ces chiffres, une cellule pourra couvrir près de 653 utilisateurs par la relation du nombre d'habitants sur le nombre de cellules. Ce qui justifie la deuxième expérience menée par la 3GPP case 1 et UIT « macro cellule urbain » sur l'évaluation de la capacité d'appels voix sur IP en LTE stipulant que sur une bande de 10 MHz, une cellule LTE pourra donc écouler 690 appels voix simultanés en FDD et 670 en TDD. Ces chiffres supposent qu'aucun autre trafic n'est présent sur la cellule.

#### 2.2. La planification

Suite à la première de phase, la deuxième phase sert à

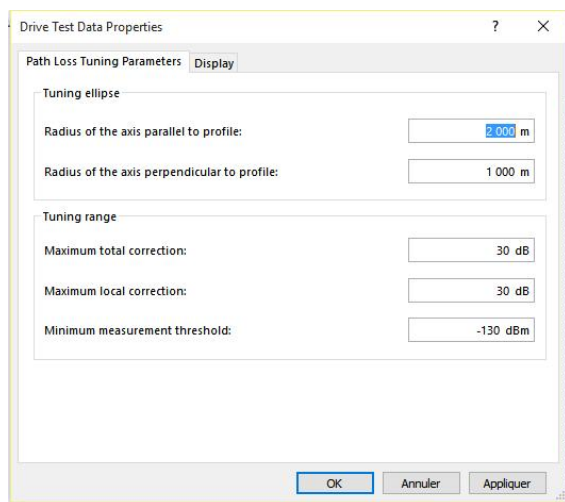
trouver les meilleurs emplacements pour les eNode B dont le but est d'avoir une bonne couverture.

Dans notre travail, nous n'avons pas pu exploiter cette phase puisqu'elle exige une descente sur terrain pour négocier notamment les lieux où l'on peut implanter nos émetteurs et récepteurs, bref un site.

### 2.3. Post planification

C'est la phase qui suit l'installation du site, qui a pour but d'assurer un fonctionnement optimal du réseau. Dans cette phase, on définit les réglages de paramètres en vue de corriger les erreurs dues lors de l'installation.

Dans ATOLL, on effectue également des opérations TEST DRIVE ayant comme but la vérification du réseau en couverture, en capacité ou encore en exigence de qualité.



**Fig. IV.6 : Propriétés de données TEST DRIVE**

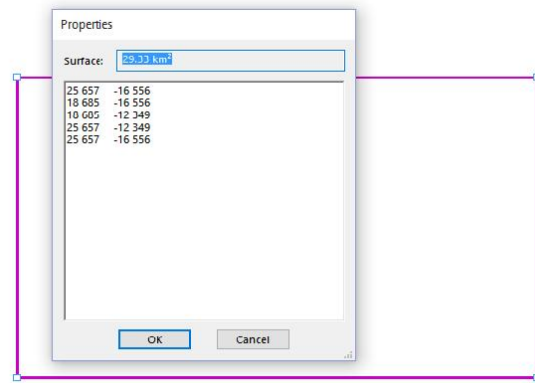
### 2.4. L'optimisation

C'est la phase finale qui permet de vérifier la satisfaction des abonnés et aussi répondre à leur plainte, etc.

## 3. SIMULATION

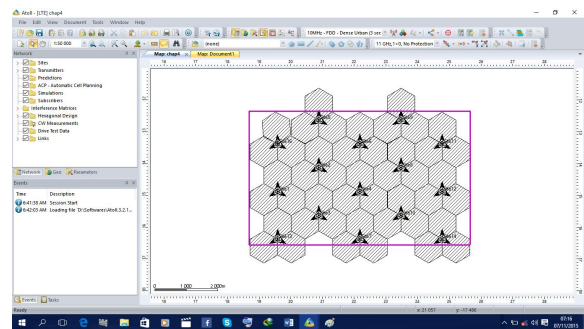
### 3.1. Dimensionnement de la surface du travail

On considère un espace de travail libre dans l'environnement ATOLL où nous définissons la surface du territoire.



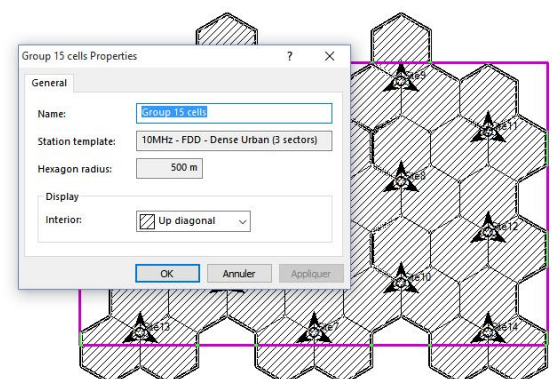
**Fig. IV.7 : Définition de la superficie de la Gombe**  
Cet espace mesure exactement 29,33 km<sup>2</sup> dans ATOLL comme les données nous l'indiquent, défini à l'aide de l'outil de dessin rectangulaire.

Nous allons maintenant générer les eNode B tri sectorisés en rapport avec les calculs effectués ci-haut dans notre travail.



**Figure IV.8 : Déploiement des eNode B dans le territoire**

Conformément avec les conditions de calcul pour dimensionner une cellule, nous pouvons voir la taille du rayon de l'hexagone pour remplir exactement la surface.



**Fig. IV.9 : Propriété d'une cellule**

On constate que nos calculs de dimensionnement

respectent les conditions : avec un rayon hexagonal de 0.5 km, nous obtenons une cellule de 0,6495 km<sup>2</sup> de surface soit 64950000 m<sup>2</sup> pouvant donner 45 cellules remplies dans une surface de 29,33 km<sup>2</sup> et aussi le type de zone, l'activité territoriale (urbain dense).

#### 4.3.2. Paramétrage de la simulation de l'eNode B pour un milieu Dense-Urbain

Le modèle simulé prend en compte les caractéristiques pour le milieu dense-urbain : le modèle de propagation doit être adapté pour le milieu, la puissance de l'antenne, etc.

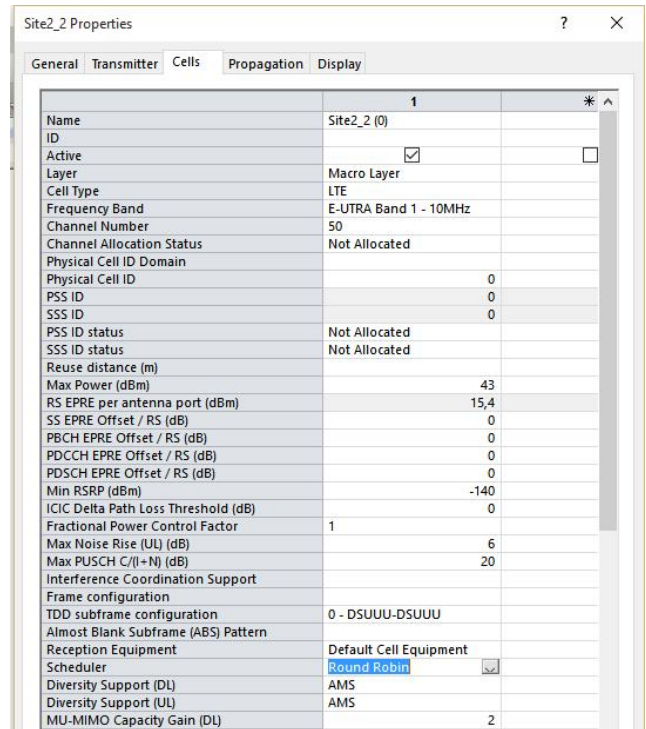
L'outil ATOLL définit par défaut certains paramètres adaptés selon le type de milieu choisi.

PARAMETRES	
Nombre de cellules	45 cellules tri sectorisées dans 15 sites
Distance entre cellule	1 495 m
Fréquence centrale	2.10 GHz
Bande de fréquence	20 MHz
Modèle de Path loss	Okumura-Hata
Puissance de la station de base	43 dBm
Configuration de l'antenne	Katherin Inclinaison électrique 0° nTX=4 et nRx=4
Ordonnanceur	Round Robin

**Tableau IV.1 : Paramètres de simulation des eNode B du milieu dense urbain**

A noter que comme paramètre par défaut, chaque eNode B (antenne) prend cette configuration.

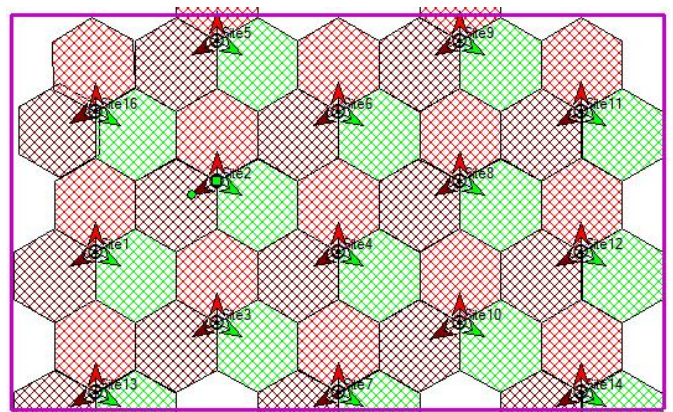
La figure suivante nous montre dans ATOLL la fenêtre de configuration.



**Fig. IV.10 : Configuration de l'eNode B dans ATOLL**

A travers cette boîte de configuration, l'opérateur peut définir plusieurs paramètres selon le besoin voulu mais ces paramètres sont définis par défaut.

Après configuration des stations de base, chaque cellule prend une couleur distincte indiquant la fréquence qu'elle utilise, cela pour éviter les interférences adjacentes et co-canaux illustré par la figure suivante :

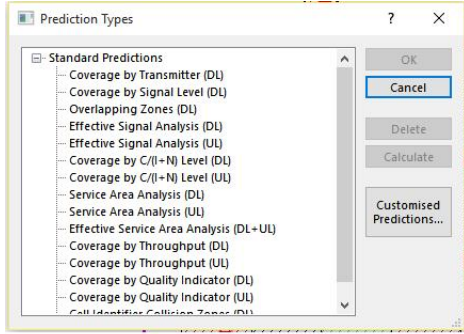


**Fig. IV.11 : Vue des cellules après configuration**

#### 4.3.3. Prédictions

ATOLL nous propose plusieurs types de prédictions pour pouvoir tester les performances, la capacité, la

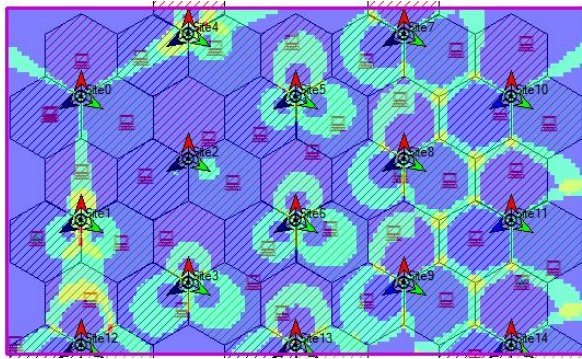
couverture des émetteurs et beaucoup d'autres types qui peuvent nous aider à simuler notre réseau.



**Fig. IV.12 : Types de prédictions dans ATOLL**

4.3.3.1. Prédiction sur les zones chevauchées en liaison descendante (Overlapping zones DL)

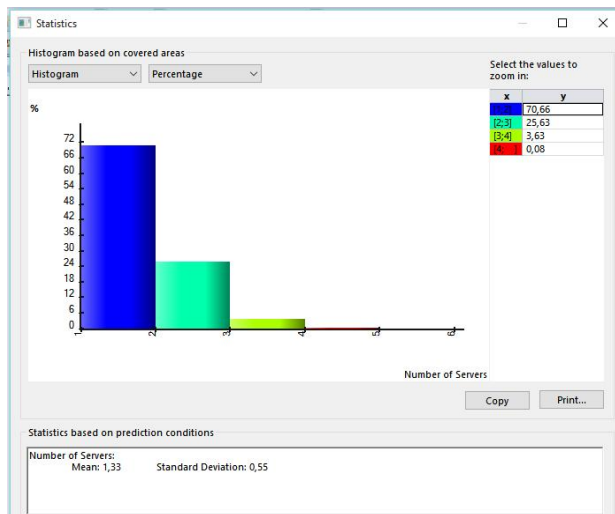
Cette prédiction permet de d'identifier la couverture des zones par serveur.



**Fig.IV.13: Overlapping zones prediction DL**

Les graphes générés par ATOLL l'histogramme et la DFC (Fonction de Distribution Cumulative) qui représente la probabilité en % selon l'axe de Y et la variable dans l'axe de X

**Interprétation**

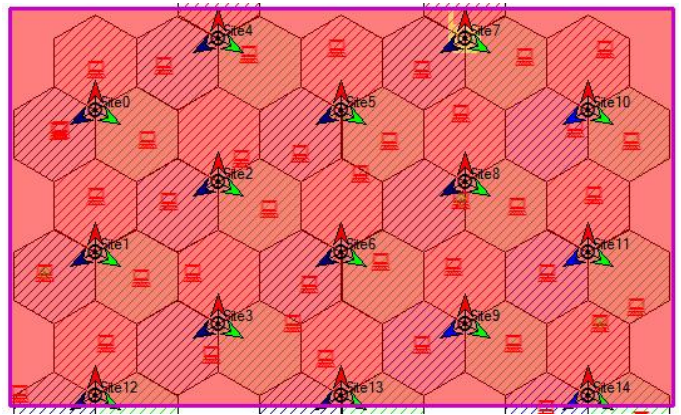


**Fig. IV.14 : Histogramme de la prédiction**

**Overlapping zones**

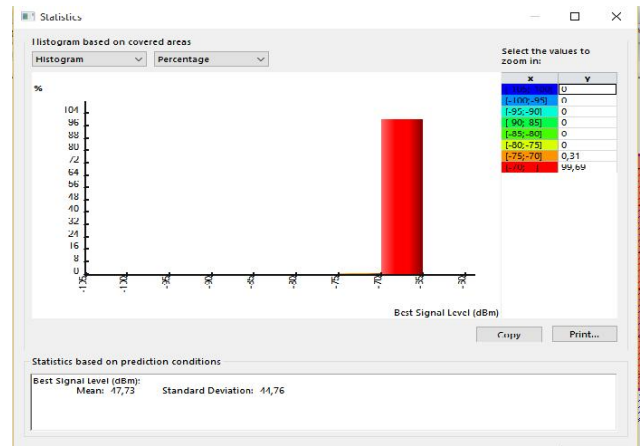
La couleur bleue montre le taux de zone couverte par un seul serveur, ici 70,66%. La couleur verte légère montre le taux de zone couverte par 2 serveurs ici 25,63%, verte accentuée par 3 serveur avec 3,63% et enfin la rouge par 4 serveurs avec une probabilité de 0,08%.

4.3.3.2. Prédiction de couverture par niveau du signal  
 Cette prédiction permet de simuler le niveau de couverture du signal sur la surface.



**Fig. IV.15 : Couverture par niveau du signal**

**Interprétation**

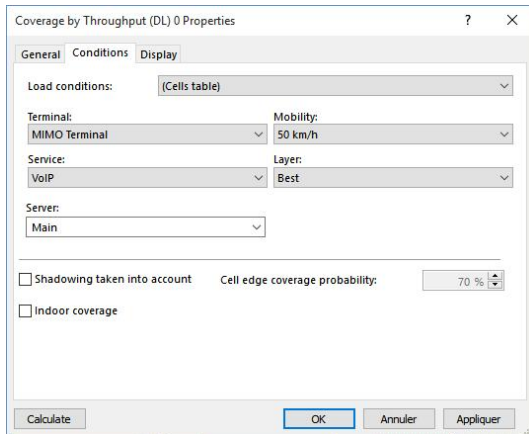


**Fig. IV.16 : Histogramme de couverture par niveau du signal**

On constate que toute la surface reçoit le signal avec - 70 dBm en liaison descendante.

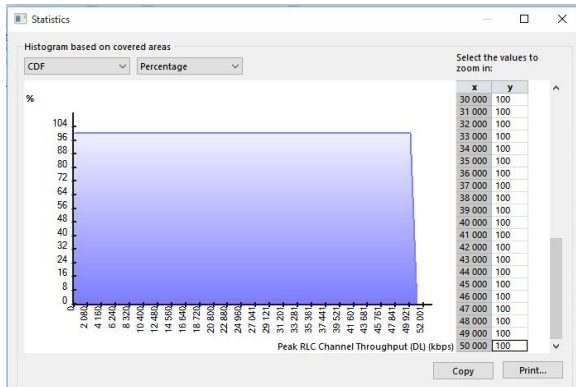
4.3.3.3. Prédiction sur la capacité des cellules en DL

Conditions de la prédiction :



**Fig. IV.17 : Conditions de simulation de la capacité en DL**

## Résultats



**Fig. IV.18 : DFC de la capacité effective des cellules en DL**

On remarque que la capacité de la cellule est bien effective puisque le 100% de cellules accède à 50 Mb/s en DL.

ATOLL offre plusieurs types de prédictions et autres services entre autre matrices des interférences, la planification automatique des cellules et encore beaucoup que nous n'avons pas exploités dans notre travail. Nous n'avons pas aussi abordé l'impact du comportement des utilisateurs sur la performance du réseau car dans ATOLL cela implique d'énormes paramétrages

## CONCLUSION

Le but principal de ce travail portait sur l'étude de la simulation du réseau 4G LTE (Long Term Evolution) au sein de la commune de la Gombe dans la ville de

Kinshasa où nous avons travaillé avec des calculs estimatifs.

Tout au début de notre travail on a commencé par donner les généralités sur le réseau téléphonique et leur évolution de la 1G à l'UMTS en déterminant largement leur évolution au niveau architecture, technique et aussi les technologies d'accès utilisés. Cette partie a présenté les différents éléments des 3 réseaux et a montré comment leurs architectures sont complémentaires.

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé en détail de la norme 4G dans laquelle partie nous avons abordé différents aspects de la norme établis par la 3GPP case 1 et UIT. Les caractéristiques générales et théoriques y ont été reprises, les principaux paramètres 4G qui ont fait à ce que ce réseau soit meilleur par rapport aux précédents sont : la latence beaucoup moins importante, une large bande passante, une bande de fréquence flexible.

Les chapitres qui ont suivi ont été consacré aux conditions et paramètres de simulations, d'abord nous avons récolté les données relatives avec notre territoire sur le site internet de la commune de la Gombe, lesquelles données nous ont permis de dimensionner les cellules et définir le type de zone, puis à travers l'outil professionnel de planification et de simulation du réseau ATOLL, nous avons pu réaliser quelques manipulations de simulation sur le comportement général du réseau.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ATOLL**, RF Planning & Optimization Software version 3.2, 2013
- **ATOLL**, Wireless Network Engineering Software version 3.2, 2013
- **Comment ça marche**, Téléphonie mobile - 3G et 4G expliquées, 2012
- **Eddy NTEKEBA**, Structure du cours de Téléphonie Mobile, 2010
- **EFORT**, Réseau d'Accès UMTS

Architecture et Interfaces, 2008

réseaux LTE, Tunis, 2012

- **EFORT**, Evolution des Réseaux Mobiles vers la 4G, 2009
- **EFORT**, Evolutions du réseau GPRS dans le contexte de l'accès 3G/3G+, Paris, 2008
- **Erick MEURISSE**, L'UMTS et le haut-débit mobile, Février 2007
- **Khalil ABOUTAMMAM**, Evolution des réseaux mobiles, Maroc, 2013
- **Melle BOUCHENTOUF Hadjer**, ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE), Algérie, 2013
- **Mohamad Salhani**, Modélisation et Simulation des Réseaux Mobiles de 4ème Génération, Toulouse 2008
- **Stéphane GIRODON**, Réseau GSM, GPRS ET UMTS, IAE Aix en Province, 2001-2002
- **Yannick Bouguen, Éric Hardouin François-Xavier Wolff**, LTE et les réseaux 4G, EYROLLE, 2012
- **ZUBEIRI Iman**, Etude de la capacité des

\* ETUDE DE LA SIMULATION DU RESEAU 4G LTE (LONG TERM EVOLUTION)  
PAR DES CALCULS ESTIMATIFS A KINSHASA- GOMBE, REPUBLIQUE  
DEMOCRATIQUE DU CONGO.

Received 11 January 2023; Accepted 21 February 2023

Available online 1 March 2023