

Optimisation des modèles de propagation des ondes radioélectriques des réseaux mobiles de télécommunication en contexte de dynamique spatiotemporelle du tissu urbain : cas de la Commune de Marcory dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire

**Marc Houin GODO^{1*}, Germain Miessan ADJA², Stanislas Egomli ASSOHOON¹
et Fernand Koffi KOUAME³**

¹ Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Département de Physique Chimie Mathématique Informatique, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE), 02 BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

² Ecole Normale Supérieure d'Abidjan, Département des Sciences et Technologie, Section SVT, 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

³ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la terre et des Ressources Minières (STRM), Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 BP 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

(Reçu le 01 Août 2022 ; Accepté le 29 Novembre 2022)

* Correspondance, courriel : godohouin@yahoo.fr

Résumé

Ce travail a été initié dans l'objectif d'évaluer les effets de la dynamique du tissu urbain sur les modèles de propagation des réseaux de téléphonie mobile dans la commune de Marcory dans le district d'Abidjan. L'approche méthodologique a consisté à la collecte, au traitement et à l'analyse des données radioélectriques et des images satellites. Les campagnes de mesures radioélectriques effectuées par l'Agence Ivoirienne de Gestion de Fréquences Radioélectriques (AIGF) pour collecter les données radioélectriques révèlent d'abord une croissance du nombre des sites radioélectriques de réseaux de téléphonie mobile. Ce nombre passe successivement de 41 en (2002), puis à 66 en (2017) et en fin à 85 en (2022). Ensuite, il est constaté une évolution de types de pylônes et de types d'équipements de transmission radioélectriques. Les pylônes sont passés de Mâts en (2002), à Haubanés en (2017) et en fin à Autostable (2022). L'évolution des équipements de transmission radioélectriques a commencé par les (Station de Transmission de Base) BTS (2002), en suite par les NODE_B en (2017) pour finir en ENODE_B en (2022). L'analyse diachronique des images SPOT 5 (2002), SPOT 7 (2017) et Landsat OLI (2022) indique une réduction significative de la zone de l'espace dégagé de propagation des ondes contre une présence de plus en plus importante des immeubles qui constituent l'unique obstacle à la propagation des ondes radioélectriques de réseaux de téléphonie mobile en zone urbaine. Ainsi, on a en 2002 (8,98 %) d'immeubles contre (91,02 %) d'espace dégagé, en 2017 (42,93 %) d'immeubles contre (57,07 %) d'espace dégagé et en 2022 (53,48 %) d'immeubles contre (46,52 %) d'espace dégagé. Ces résultats montrent que la dynamique du tissu urbain peut modifier la structure des réseaux de téléphonie mobile en provoquant l'intégration de nouveaux sites radioélectriques et des équipements de transmissions radioélectriques pour garantir la qualité des communications téléphoniques. La présente étude est une aide

à la décision qui permettra aux régulateurs des télécommunications de contrôler les opérateurs de télécommunications et bien plus, elle servira à ces derniers de suivre l'évolution de leurs réseaux.

Mots-clés : *téledétection, réseau mobile, occupation du sol, modèle de propagation des ondes, Marcory, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Optimization models of radioelectrical propagation wave of mobile works telecommunication within a spatio-temporal context of urban area : A case study of municipality of Marcory in the district of Abidjan in Ivory Coast

This work was initiated with the aim of assessing the impacts of urban area dynamics on the mobile network's model propagation in the municipality of Marcory in the district of Abidjan. The method used consisted in the collection, processing and analysis of radio data and satellite images. Radio frequency measurement campaigns carried out by the Ivorian Agency for Radio Frequency Management (AIGF) to collect radio data show that the number of mobile network radio sites increased from 41 in 2002 to 66 in 2017 and 85 in 2022. An evolution of types of pylons and types of radio transmission equipment is noticed. The pylons went from Masts in (2002) to Haubanés in (2017) and finally to Autostable in (2022). The diacronics analysis of images SPOT (2002), SPOT (2017) and Landsat OLI (2022) highlights a significant decrease in the space zone free from wave propagation as opposed to an importance presence of building as a unique obstacle to the propagation of mobile network radioelectrical wave in urban areas. Therefore, in 2002 we have (8.98 %) of buildings against (91.02 %) of free space, in 2017 (42.93 %) of buildings against (57.07 %) of open space and in 2022 (53.48 %) of buildings against (46.52 %) of open space. The results of our study show that the dynamism of urban areas can modify the structure of mobile phone networks bringing about the integration of new radioelectrical sites and radioelectrical transmission equipments to guarantee mobile phones communication quality. This current study will help telecoms regulator to control telecoms operators and it will also help the telecoms operator follow their networks growth evolution.

Keywords : *remote sensing, mobile network, land use, wave propagation model, Marcory, Ivory Coast.*

1. Introduction

Un modèle de propagation des ondes radioélectriques adapté à un environnement donné est un élément essentiel pour la planification et l'optimisation d'un réseau de téléphonie mobile [1 - 3]. Afin de permettre aux usagers d'accéder aux différents services mobiles, un accent particulier doit être mis sur le dimensionnement de la couverture radio [4, 5]. La connaissance et la description de l'environnement traversé sont fondamentales pour planifier et optimiser un réseau cellulaire moderne [6]. D'un point de vue environnemental, les conditions isotropes prônées par Friis dans son modèle idéale ne sont pas envisageables [7, 8]. La variabilité du milieu de propagation doit impérativement être prise en compte [9]. Ainsi, Le canal de communication "outdoor" est souvent dynamique et multiforme. Il peut passer du simple au complexe [10]. Cette importance de l'occupation du sol ou de l'environnement traversé en un instant donné en fait une thématique incontournable dans la plupart des inventaires cartographiques et de suivi des changements urbains ou environnementaux [11 - 13]. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la dynamique du tissu urbain sur le modèle de propagation des ondes radioélectriques des réseaux de téléphonie mobile. Pour

ce faire, elle se propose de recourir à l'analyse des images satellitaires avec la méthode de la classification dirigée pour discriminer les classes de l'occupation du sol. D'abord, les tableaux des types de pylônes et d'équipements de transmission ont été édités. Ensuite, ils ont été comparés pour évaluer le degré de restructuration opérée pour garantir la qualité de la transmission téléphonique. De plus, des cartes d'occupation du sol et de répartition spatiale des sites radioélectriques ont été élaborées et comparées pour évaluer la dynamique des classes d'occupation du sol d'une part et déterminer la variation de la répartition spatiale des sites radioélectriques d'autre part. En fin, Les collectes des données issues de la classification des images et des campagnes de mesures radioélectriques ont été utilisées pour construire et optimiser les modèles de propagation des ondes radioélectriques de la téléphonie mobile.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La commune de Marcory (*Figure 1*) est située au Sud du District d'Abidjan, entre les latitudes 5°16'30"N et 5°18'30" N et les longitudes 3°57'30" O et 4°0'30" O. Elle est limitée au Sud par la lagune Ebrié, à l'Est par la Commune de Koumassi et à l'Ouest par la Commune de Treichville. Selon la loi n°2001/478 du 09 août 2001 [14] portant création du District d'Abidjan, Marcory fait partie des treize Communes que compte le District autonome d'Abidjan. Devenu commune de plein exercice en 1980 [15], Marcory compte environ 249.858 habitants depuis le recensement général de la population et de l'habitat de 2014 [16]. Plusieurs unités industrielles et commerciales telles que SACO, CAPRAL, NESTLE, SEMAT, CALIVOIR, AGRI Meca et de grands supermarchés comme : ORCA DECO, PRIMA, SUPER HAYAT y sont installés. Au plan touristique, cette commune abrite 23 hôtels en occurrence : Hôtel IBIS, Hôtel Hazalai, le Waffoo et autres. Le tissu scolaire y est représenté par des écoles primaires, secondaires et supérieures.

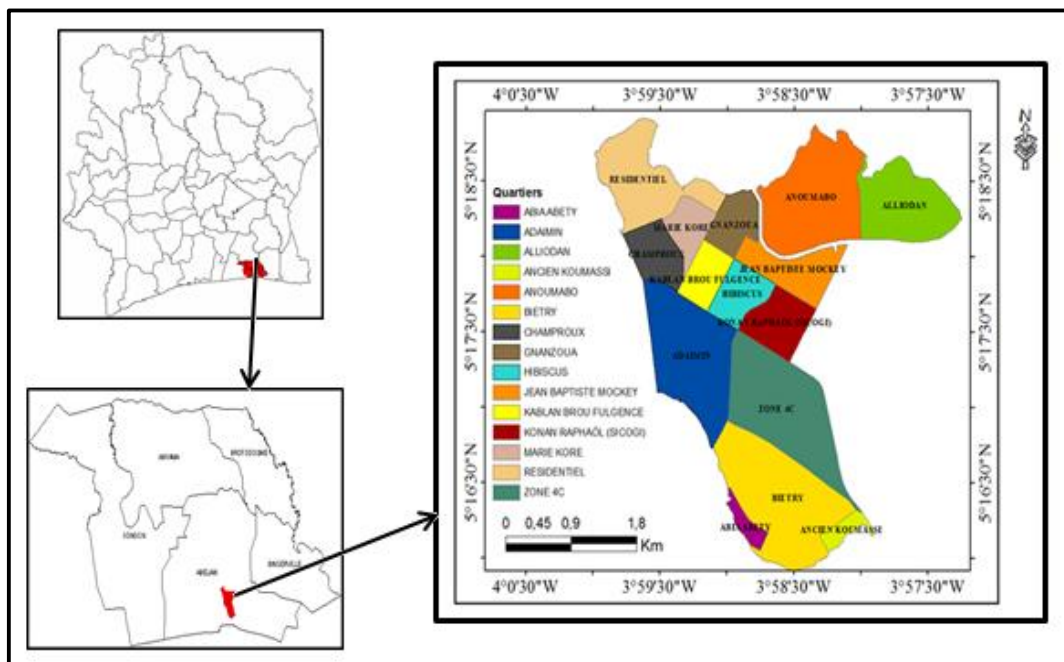


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude (Côte d'Ivoire, district d'Abidjan, Commune de Marcory)

2-2. Matériel et données

Le matériel et données utilisés dans ce travail se composent de données cartographiques, d'images satellitaires, de matériel de terrain et de données additionnelles.

2-2-1. Données cartographiques et images satellitaires

Afin de reconstituer entièrement les contours de la zone d'étude et d'en réaliser les cartes d'occupation du sol, il s'est avéré nécessaire de disposer d'une carte administrative de la commune et de quatre images satellitaires. Ce sont :

- Une carte administrative au 1/25.000 couvrant la commune de Marcory, éditée en 1994. Elle est disponible au Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD).
- Une image SPOT 5 de Avril 2002, une image SPOT 7 de février 2017, une image de Landsat OLI de de mars 2022 pour la classification orientée objet.

2-2-2. Matériel de terrain et de traitement

Le matériel de terrain se compose d'un appareil GPS (Etrex 30 GARMIN) pour les relevés des coordonnées géographiques des éléments d'intérêt sur le terrain. Le matériel de traitement de données se résume à l'outil informatique formé d'un micro-ordinateur de marque Toshiba (Intel Core i3 avec une mémoire RAM de 8 GB et 500 GB de mémoire de stockage). Ce micro-ordinateur est équipé des logiciels suivants :

- ENVI 5.3 pour produire la carte de l'occupation du sol ;
- ArcGis 10.5 pour extraire la zone d'étude ;
- R-Studio R-4.2.0 64 bits pour programmer et Optimiser les modèles de propagation des ondes radioélectriques de réseaux de téléphonie mobile ;
- Qgis pour codifier des classes d'occupation du sol (immeubles, eau, espace vert et maison basses).

2-2-3. Données additionnelles

Les données additionnelles se composent :

- Données de servitude fournissant des hauteurs des infrastructures (maison basses, immeubles R+1, R+2, R+3, R+4) fournies par le ministère de la construction et de l'urbanisme. Elles sont éditées par le ministère de la construction et de l'urbanisme ;
- Données radioélectriques constituées de fiches techniques d'implantation des antennes radioélectriques de l'opérateur de téléphonie mobile (Coordonnées GPS de l'antenne, hauteur des antennes de réseaux mobiles, date d'implantation et mise en service, puissance émise en dB), de fiches techniques de matériels (marque de l'antenne, type de pylône, type d'équipement de transmission) et des données des campagnes de mesures radioélectriques fournies par l'AIGF (Agence Ivoirienne de Gestion de Fréquences Radioélectriques)

2-3. Méthodes

La méthodologie développée dans ce travail a consisté à :

- Décrire la structure physique du réseau de téléphonie mobile
- L'adressage et la codification des sites radioélectriques à travers la cartographie l'occupation de la commune ;

- Construire et optimiser des modèles de propagation des ondes radioélectriques du réseau de téléphonie mobile.

2-3-1. Description de la structure du réseau de téléphonie mobile

Le contrôle et la gestion de fréquences radioélectriques font partis des missions du régulateur des télécoms. Pour ce faire, l'AIGF effectue des campagnes de mesures radioélectriques afin de vérifier la conformité des termes de la licence accordée aux opérateurs Télécoms et les mesures appliquées sur l'ensemble du territoire Ivoirien. Nous avons été autorisés à participer à la campagne de mesures radioélectriques de 2022 et les données des campagnes des autres années nous ont été fournies par l'AIGF pour le besoin de notre étude. Les campagnes de mesures ont eu lieu dans la commune de Marcory dans le district d'Abidjan en Côte d'Ivoire. Ces campagnes de mesures concernent les 85 sites radioélectriques qui composent l'architecture du réseau de l'opérateur de téléphonie mobile établi dans la commune. L'objectif de cette campagne de mesure était de collecter les données de la structure du réseau mobile. Ainsi, plusieurs données ont été mesurées, mais pour les besoins de cette étude, nous avons retenu les données suivantes :

- Fréquences d'exploitation de la zone d'étude ;
- Les générations de réseaux mobiles.

Les visites de terrains ou de sites d'intérêt précèdent les campagnes de mesures radioélectriques. Les agents de l'AIGF commis à cette tâche, travaillent avec des GPS Etrex 30 Garmin pour relever les coordonnées géographiques de ces sites. Les données retenues pour notre étude sont suivantes :

- Types d'équipement de transmission ;
- Type de pylônes ;
- Hauteurs des sites.

2-3-2. Conception des cartes de l'évolution de l'occupation de sol du tissu urbain de Marcory

La conception des cartes de l'évolution de l'occupation du tissu urbain dans la commune de Marcory a consisté à la classification des images satellitaires SPOT 5, SPOT 7 et Landsat OLI. Cette technique a facilité l'extraction des informations sur les différentes unités d'occupation du sol, par ailleurs très utiles pour la compréhension et la modélisation [17, 18]. La classification orientée objet est l'option retenue. Elle ne traite pas le pixel de manière isolée mais des groupes de pixels (objets) dans leur contexte à différentes échelles de perceptions du paysage. L'interprète peut alors se baser non seulement sur les valeurs spectrales mais aussi sur des paramètres morphologiques (taille, forme, voisinage des objets), permettant ainsi d'améliorer la qualité de l'information extraite des images stellites [19]. La classification orientée objet se déroule en trois phases :

- la segmentation de l'image à classer : elle fournit les moyens d'analyser et de découper l'image en zones uniformes (objets homogènes) ;
- la fusion et la création des formes des objets : les pixels sont fusionnés à leurs voisins et constituent des formes géographiques observées sur le terrain ;
- le choix des attributs, de l'algorithme et la classification proprement dite : cette section a consisté à choisir tous les attributs (spatial, spectral, et textural) pour rendre le résultat de la classification plus précis. L'algorithme du proche voisin a été utilisé à cet effet.

Les cartes obtenues à l'issue de cette classification ont été utilisées pour établir le parcellaire des bâtis et des non bâtis de Marcory. Cette opération permet de découper l'espace de la commune en de plus petites portions. Pour y arriver, la carte d'occupation de l'espace communal, en format « raster », a été convertie en format « vecteur ». Un masque lui a été appliqué pour discriminer les bâtis et non bâtis. Le fichier qui en est résulté, d'extension « shipefile », a été exporté dans le logiciel « Google Earth » où il fut superposé à un fond d'image

satellitaire. Ainsi, les distorsions suscitées par les confusions de classification ont été rectifiées. Après ces corrections, le fichier vecteur a été exporté en format « .kml » dans le logiciel Qgis pour finaliser l'établissement du parcellaire par l'opération de codification des immeubles, eau, espace vert et maison basses. La méthode de comparaison des classifications a été choisie comme dans les travaux de plusieurs auteurs dont [20 - 22], pour détecter les changements d'occupation des sols au vue des résultats satisfaisants. Le principe de cette méthode est basé sur la classification de quatre scènes acquises à des dates différentes. La méthodologie de l'étude porte sur le traitement des images et le calcul des taux d'évolution annuelle des classes.

2-3-3. Construction des modèles de propagation des ondes radioélectriques de réseau de téléphonie mobile

Pour atteindre nos objectifs, nous écrivons les modèles de propagation des ondes radioélectriques de réseau de téléphonie mobile à travers des formules mathématiques connues. Puis les programmons dans R-Studio, avant de les optimiser en tenant compte des caractéristiques de la zone d'étude issues de la classification des images satellitaires de la commune pour chaque date donnée. Dans ce programme, la méthode de simulation graphique est utilisée pour déterminer la hauteur des sites H_b (m) et le rayon d (m) de chaque site.

2-3-3-1. Construction du modèle de propagation radioélectrique de 2002

2-3-3-1-1. Ecriture du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2002

L'application du modèle COST 231 Hata sur les caractéristiques de la zone de Marcory permet d'écrire **l'Expression** suivante [23] :

$$Lu (dB) = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(H_b) - A(H_m) + (44,9 - 6,55 \log(H_b)) \log(d) \quad (1)$$

f étant la fréquence d'exploitation du réseau, H_b (m) est la hauteur du site, d (m) rayon du site, $A(H_m)$ est le paramètre pour la zone suburbaine.

$$A(H_m) = (1,1 \log(f) - 0,7) \times H_m - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad (2)$$

L'expression de Lu (dB) avec $A(m)$ est donnée par **l'Équation (3)**

$$Lu(dB) = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(H_b) - [(1,1 \log(f) - 0,7) \times H_m - (1,56 \log(f) - 0,8)] + (44,9 - 6,55 \log(H_b)) \log(d) \quad (3)$$

Après simplification, Lu (dB) devient

$$Lu (dB) = 70,35 + 24,6 \log(f) - 13,82 \log(H_b) + [44,9 - 6,55 \log(H_b)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7) H_m \quad (4)$$

En intégrant L_{su} (dB), les pertes engendrées par la suburbanisation, Lu (dB) définitif est :

$$L_{su}(dB) = Lu - 2x \left(\log \left(\frac{f}{28} \right) \right)^2 - 5,4 \quad (5)$$

$$L_{su} (dB) = 64,95 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(H_b) + [44,9 - 6,55 \log(H_b)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7) H_m - B \quad (6)$$

avec, 8.98 % d'immeubles et $B = 30 - 25 \log(\%immeubles)$, on aura L_{su} (dB) - B

$$Lsu (dB) = 58,78 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7) Hm \quad (7)$$

NB : les données issues des fiches techniques relatives au réseau de téléphonie mobile indiquent $f = 900$ Mhz et plusieurs valeurs de Hb (m) tandis que Hm (m) qui est un paramètre du modèle est fixé. Les valeurs ci-dessous de Hb (m) permettent d'optimiser le modèle après sa programmation dans R-Studio.

$$f = 900 \text{Mhz} \quad Hb (m) = 12,15,18; \quad Hm = 10m$$

2-3-3-1-2. Programmation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2002

La programmation s'est faite dans R-Studio. L'optimisation a consisté à faire varier la hauteur Hb (m) pour déterminer $d(m)$ et le rayon de couverture de l'antenne. Il faut noter que ce point d'optimisation est le point d'intersection entre la courbe du modèle qui exprime le comportement réel et celle qui exprime le comportement idéal. La **Figure 2** présente la programmation des modèles de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile de 2002.

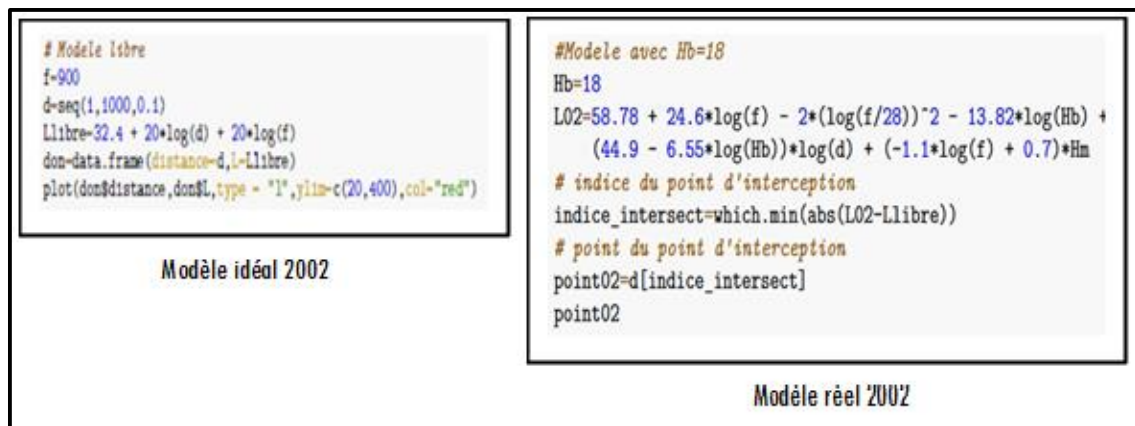


Figure 2 : Programmation des modèles de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile de 2002

2-3-3-2. Construction du modèle de propagation de 2017

2-3-3-2-1. Ecriture du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2017

En 2017, la zone d'étude voit 517,40 ha de sa superficie bâties d'immeubles soit 42,93 %. C'est ce pourcentage d'immeubles qui est la différence entre le modèle de 2002 et celui de 2017. Ainsi sera introduit la nouvelle valeur du facteur B avec $B = 30 - 25 \log(\text{Buildi_Area}\%)$. Donc, on aura

$$Lsu(2017)(dB) = Lsu(2002)(dB) - B \quad (8)$$

$$Lsu (2017) (dB) = 64,95 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7) Hm - (30 - 25 \log(42,93\%)) \quad (9)$$

Finalement $Lsu (2017) (dB)$ est :

$$Lsu(2017)(dB) = 75,37 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7)Hm \quad (10)$$

NB : les données issues de la campagne de mesures relatives au réseau de téléphonie mobile indiquent $f = 900$ Mhz, tandis que $Hm(m)$ qui est un paramètre du modèle est fixé à 10 m. $Hb(m)$ est une variable à ajuster pour permettre d'optimiser le modèle de sorte que les pertes soient le plus faibles possibles. $f = 900$ Mhz $Hb(m) = 12,15,18$; $Hm = 10$ m

2-3-3-2. Programmation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2017

La programmation s'est faite dans R-Studio. L'optimisation a consisté à faire varier la hauteur $Hb(m)$ pour déterminer $d(m)$ et le rayon de couverture de l'antenne. Il faut noter que ce point d'optimisation est le point d'intersection entre la courbe du modèle qui exprime le comportement réel et celle qui exprime le comportement idéal de l'onde radioélectrique. La **Figure 3** présente les programmations des modèles idéal et réel de propagation de l'onde radioélectrique de l'année 2017

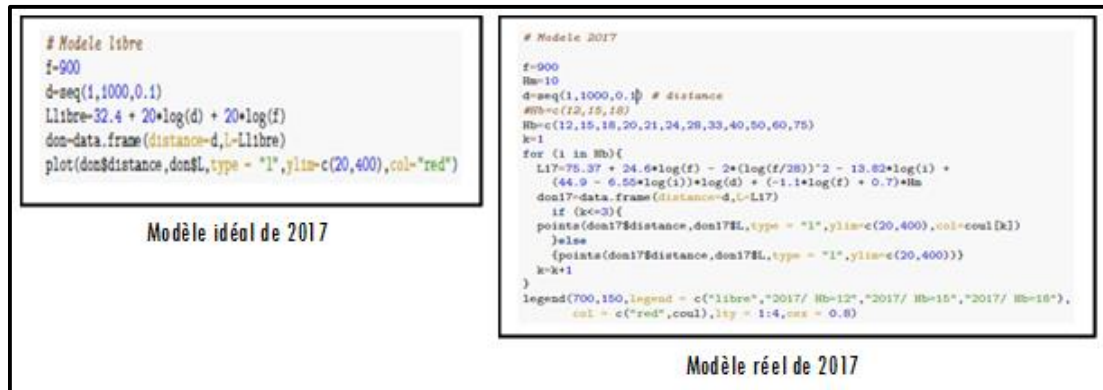


Figure 3 : Programmation des modèles de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile de 2017

2-3-3-3. Construction du modèle de propagation de 2022

2-3-3-3-1. Ecriture du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2022

En 2022, plus de la moitié de la superficie totale de la zone d'étude est couverte d'immeubles (668,52 ha = 53,48 %) et seulement moins de 6 % de sa surface reste non bâtie. De 2017 à 2022, il y a eu augmentation de pourcentage d'immeubles. Ainsi sera introduit le facteur B avec $B = 30 - 25 \log(\text{Buildi_Area}\%)$. Donc, on aura

$$Lsu(2022)(dB) = Lsu(2002)(dB) - B \quad (11)$$

$$Lsu(2022)(dB) = 64,95 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7)Hm - (30 - 25 \log(53,48)) \quad (12)$$

Finalemnt $Lsu(2022)(dB)$ est:

$$Lsu (dB) (2022) = 78,15 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) + (-1,1 \log(f) + 0,7) Hm \tag{13}$$

NB : les données issues de la campagne de mesure relatives au réseau de téléphonie mobile indiquent $f = 800$ MHz et Hm (m) est fixée à 10m. Hb (m) est une variable à déterminer pour permettre d’optimiser le modèle pour que les pertes soient le plus faibles possibles.

$f = 800$ Mhz Hb (m) = 12,15,18; $Hm = 10$ m

2-3-3-3-2. Programmation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de 2022

La programmation s’est faite dans R-Studio. L’optimisation a consisté à faire varier la hauteur Hb (m) pour déterminer $d(m)$ et le rayon de couverture de l’antenne. Il faut noter que ce point d’optimisation est le point d’intersection entre la courbe du modèle qui exprime le comportement réel et celle qui exprime le comportement idéal de l’onde radioélectrique. La figure 4 présente les programmations des modèles idéal et réel de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile de 2022.

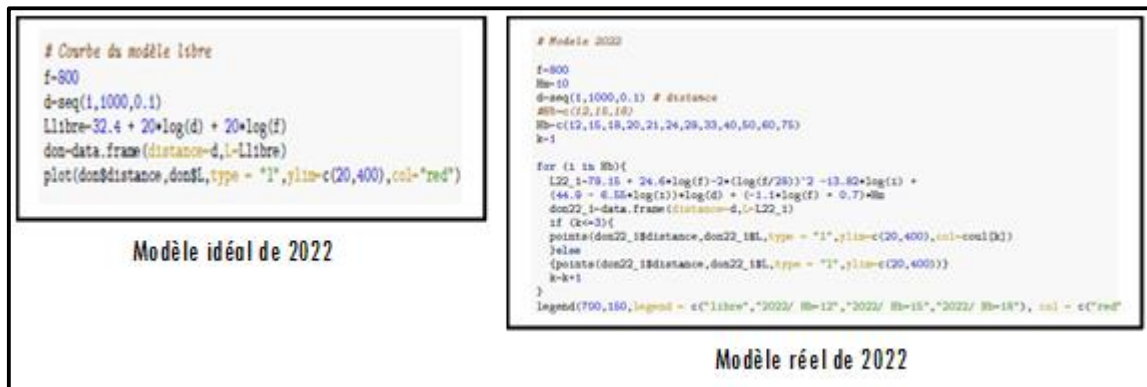


Figure 4 : Programmation des modèles de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile de 2022

3. Résultats

3-1. Architecture physique du réseau de téléphonie mobile

L’infrastructure de téléphonie mobile à Marcory est constituée des Mâts, Haubanés et Autostables comme type de pylônes (**Tableau 1**). Les fréquences d’exploitation mesurées pendant les campagnes de mesures radioélectriques de 2002 à 2022 sont 900 et 800 Mhz (**Tableau 2**). Les équipements de transmission sont les BTS, NODE_B et ENOD_B.

Tableau 1 : Fiche technique de campagne de mesures radioélectriques

Année	Fréquences mesurées	Liaison montant/descendant	Canalisation
2002	900	880-915 /925 - 960	200 KHz
2017	900	880-915 /925 - 960	200 KHz
2022	800	791-821 /832 - 862	5 à 20 Mhz

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des sites radioélectriques

Année	Type de pylônes	Types d'équipements	Technologies
2002	MAT	BTS	2G
2017	MAT, Haubané	BTS, NODE_B	2G,3G
2022	MAT, Haubané, Autostable	BTS, NODE_B, ENODE_B	2G,3G,4G

3-2. Occupation du sol de la commune de Marcory

L'interprétation des images SPOT 5, SPOT 7 et Landsat OLI a permis d'aboutir aux cartes d'occupation du sol des années 2002, 2017 et 2022 (*Figure 5*). Les modifications spatio-temporelles qui ont lieu au cours de ces vingt années (2002 - 2022) s'apprécient clairement. Le fait remarquable est la disparition significative de la zone de l'espace dégagé de propagation des ondes contre une présence de plus en plus importante des immeubles qui constituent l'unique obstacle à la propagation des ondes radioélectriques de réseaux de téléphonie mobile en zone urbaine. Ces modifications s'apprécient quantitativement par les superficies et les taux moyens annuels d'expansion de chaque classe.

3-2-1. Composition du tissu urbain de la commune de Marcory selon la classification dirigée

A l'issue de la classification supervisée des images SPOT 5, SPOT 7 et Landsat OLI, quatre classes d'occupation du sol identifiées, composent le tissu urbain de la Commune de Marcory. Ce sont :

- la classe "Espace vert" ;
- la classe "Eau" ;
- la classe "Maisons basses" ;
- la classe "Maisons hautes" ou classe "Immeubles".

3-2-2. Dynamique des classes d'occupation du sol de Marcory de 2002 à 2022

En 2002, le tissu urbain a été dominé par les maisons basses avec 62,46 % d'occupation du sol. Des maisons basses qu'on retrouvait sur tout le territoire communal. Entre 2002 et 2017, 12,6 % de maisons basses va évoluer vers les maisons en hauteur réduisant ainsi à 49,86 % la surface des maisons basses. Cette transformation des maisons basses vers les maisons en hauteur va se s'observer dans les quartiers "Résidentiel", "Adaimin", "Bietry", "Zone 4", "Ancien Koumassi", "Abia abbiety" et la partie nord "Gnanzoua". Donc en 2017, les maisons basses sont largement dominant dans les quartiers "Champrou", "Ibiscus", "Marie Kore" et "Konan Raphel". De 2017 à 2022, à l'exception des quartiers "Alliodan" et "Anoumabo" qui restent largement couverts par les mainsons basses, les autres quartiers comme "Ibiscus" et autres ont vu leurs surfaces anciennement occupées par des maisons basses, largement remplacée par des maisons en hauteur. Ainsi, en 2022, le territoire communal est dominé par des maisons en hauteur à 53,48%, dont les hauteurs sont de quatre étages en général. De façon générale, ces maisons de quatre étages se retrouvent exclusivement à "Résidentiel" et "Bietry". Les maisons en hauteur qu'on retrouve dans les autres quartiers comme "Zone 4", "Adaimin" et autres, sont en majorité des maisons duplex et trois étages. Il faut noter qu'en 2002 la classe "Maisons hautes" ne couvrait que 8,98 % du territoire communal. Cette couverture va connaître une augmentation spectaculaire en passant à 41,39 % en 2017. Cette progression significative des maisons en hauteur s'est faite sûrement au détriment des classes comme "espace vert" et "Eau". La classe "Eau" a vu sa superficie se réduire considérablement passant de 4,17 % en 2002 à moins de 1 % (0,89 %) à 2017. De même pour la classe "espace vert" qui a subi une réduction importante de sa

couverture en passant de 24,38 % en 2002, puis à 7,84 % en 2017 et à 4,77 % en 2022. En 2002, on retrouvait les espaces verts aussi bien au sud qu'au nord de Marcory. Au sud on retrouvait les espaces verts à "Abbia abety", "Ancien Koumassi", "Zone 4", "Bietry". Au nord, les espaces verts se retrouvaient entre la lagune et les quartiers "Résidentiel", "Gnazouan", "Anoumabo" et "Alliodan". On remarque que l'espace vert à Anoumabo se résume au site de l'agence Ivoirienne de Gestion des Fréquences Radioélectriques (AIGF) et de l'autorité de régulation des Télécommunications de Côte d'Ivoire (ARTCI). Il est bien de noter que seules les espaces abritant le stade champrou et de l'agence ivoirienne de gestion de fréquences restent intacts depuis 2002 à 2022. Les autres ont connu une réduction significative de 2002 à 2022.

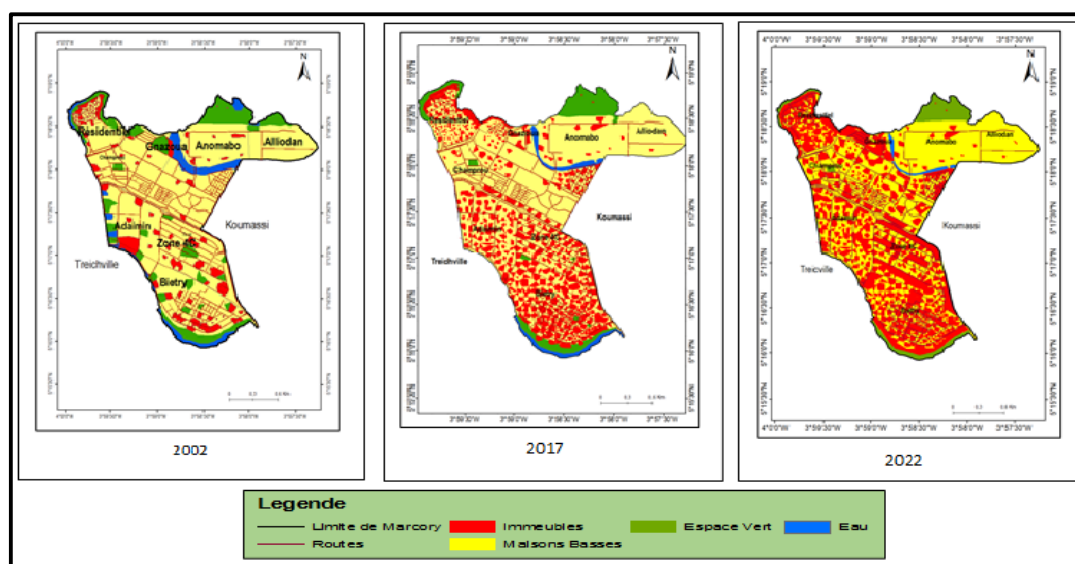


Figure 5 : Dynamique des classes d'occupation du sol de 2002 à 2022

3-2-3. Analyse de la précision thématique des produits cartographiques

Le **Tableau 3** montre pour chacune des classes, le niveau de fiabilité moyen et les principales confusions observées. La précision globale obtenue est de 95,55 % avec un coefficient de Kappa de 96,66 pour l'image SPOT 5 de 2002. Quant à celles de 2017 et de 2022, les valeurs de Kappa sont respectivement de 92 et de 93. Ces valeurs signifient que plus de 92 % des pixels des trois images ont été correctement classés conformément aux données vérité-terrain. Dans l'ensemble, la précision cartographique obtenue pour les classes d'occupation du sol est bonne.

Tableau 3 : Indices de Kappa et précisions globales des images classifiées

Images classifiées	Indice de Kappa (%)	Précision globale (%)
SPOT 5 de 2002	96,66	95
SPOT 7 de 2017	92	96
Landsat OLI de 2022	93	95,66

3-2-4. Analyse de l'évolution de l'occupation du sol des zones dégagées et des zones non dégagées entre 2002 et 2022

Le **Tableau 4** présente la variation des surfaces couvertes par classe d'occupation du sol de 2002 à 2022.

Tableau 4 : Variation des surfaces couvertes par les classes d'occupation du sol dans la Commune de Marcory de 2002 à 2022

Classe d'occupation du sol	Surfaces couvertes					
	2002		2017		2022	
	Valeur (ha)	%	Valeur (ha)	%	Valeur (ha)	%
Espace vert	304,78	24,33	98,05	7,84	59,68	4,77
Eau	52,17	4,17	11,21	0,89	7,38	0,59
Immeuble	112,26	8,98	517,4	41,39	668,52	53,48
Maison basse	780,79	62,46	623,34	49,86	514,42	41,15

L'analyse des **Tableau 4 et Tableau 5** montre la disparition significative de la zone de l'espace dégagé (espace vert, eau et maison basses) de propagation des ondes contre une présence de plus en plus importante des immeubles qui constituent l'unique obstacle à la propagation des ondes radioélectriques de réseaux de téléphonie mobile en zone urbaine. En 2002, les classes espace vert 304,78 ha (24,33 %), Eau 52,17 ha (4,17 %), maisons basses 780,79 ha (62,46 %) représentent l'espace dégagé de 1137,74 ha soit 91,01 %, contre les 112,26 ha d'immeubles soit 8,98 %. L'espace dégagé se réduit significativement de 91,01 % à 58,61 % en 2017. En 2017, l'espace dégagé se présente comme suit ; l'espace vert est 98,05 ha soit 7,84 %, eau 11,21 ha soit 0,89 %, maisons basses 623,34 ha soit 49,86 %. En 2022 le **Tableau 5** indique un certain équilibre relatif de l'occupation du sol avec 53,48 % d'immeubles contre 46,51 % d'espace dégagé. Il faut noter que l'espace vert et l'eau ont presque disparu avec respectivement 59,68 ha soit 4,77 %, et 7,38 ha soit 0,59 %. L'espace dégagé se résume finalement à l'espace occupé par les maisons basses avec 514,42 ha soit 41,15 %.

Tableau 5 : Corrélation entre les données issues des différentes classifications des images SPOT et Landsat OLI et les types de zones de propagation

Année	Classes thématiques	Occupation spatiale	Type de zone de propagation
2002	Maisons basses	780,79 ha = 62,42 %	Avec 1250 ha d'étendue, 08,98 % d'immeubles et 28,45 % non bâtis, Marcory est une petite commune suburbaine.
	Immeubles	112,26 ha = 08,98 %	
	Espace vert	304,78 ha = 24,38 %	
	Eau	52,17 ha = 4,17 %	
2017	Maisons basses	623,34 ha = 49,86 %	Marcory devient une petite commune suburbaine mixte avec 42,92 % d'immeubles et 49,86% de maisons basses.
	Immeubles	517,40 ha = 42,93 %	
	Espace vert	98,05 ha = 07,84 %	
	Eau	11,21 ha = 0,89 %	
2022	Maisons basses	514,42 ha = 41,15 %	Avec 93,83 % de bâtis, et 53,48% d'immeuble, Marcory a été transformée une zone suburbaine dominée par des immeubles.
	Immeubles	668,52 ha = 52,68 %	
	Espace vert	59,68 ha = 04,77 %	
	Eau	11,21 ha = 00,89 %	

L'évolution des modes d'occupation (**Tableau 5**) du sol porte l'empreinte des activités anthropiques et correspond à un processus dynamique assez complexe, qui agit sur le tissu urbain [24 - 26]. Cette pression des activités anthropiques a transformé Marcory en zone suburbaine en 2002 avec 08,98 % d'immeubles et 28,45 % non bâtis. En suite la zone communale est devenue une zone mixte en 2017 avec 42,92 % d'immeubles et 49,86 % de maisons basses. Et en fin, Marcory a été transformée en zone suburbaine moyennement dense en 2022 avec 93,83 % de bâtis, et 53,48 % d'immeuble.

3-3 Impact de la dynamique du tissu urbain sur les modèles de propagation des ondes radioélectriques de réseau de téléphonie mobile

3-3-1. Cartographie de l'occupation spatiale des sites radioélectriques

L'analyse des cartes d'occupation spatiale des sites radioélectriques de 2002, 2017 et 2022 (**Figure 6**) montre une croissance importante du nombre de sites ces vingt dernières années (2002 à 2022). Ce nombre est passé successivement de 41 en (2002), puis à 66 en (2017) et finalement à 85 en (2022).

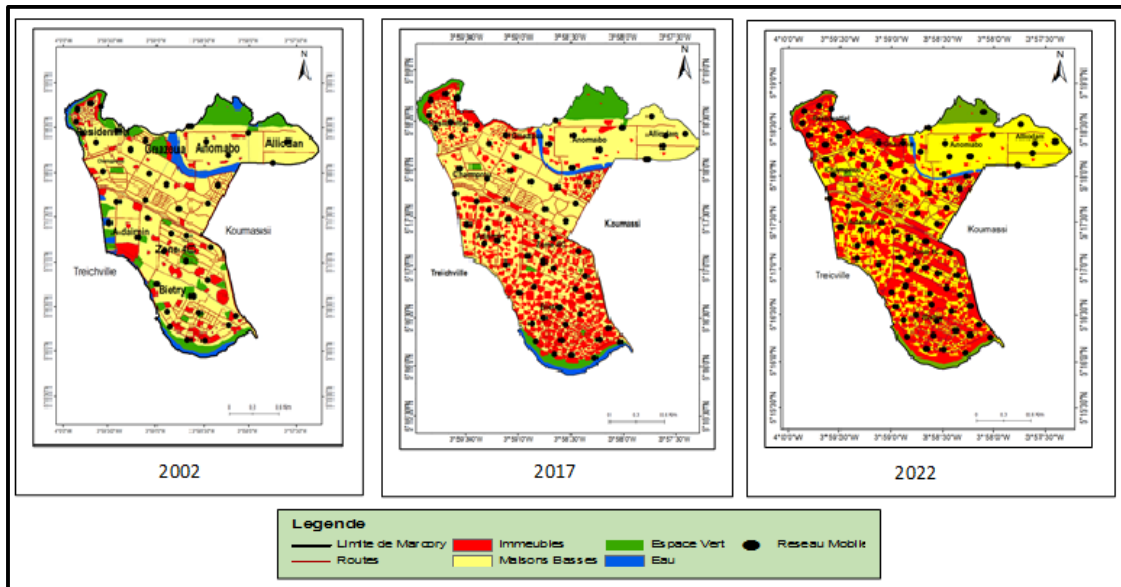


Figure 6 : Évolution du nombre des sites du réseau de téléphonie mobile de 2002 à 2022

3-3-2. Analyse des rayons de couverture des sites du réseau de téléphonie mobiles de 2002 à 2022

Tableau 6 : Variation des surfaces couvertes par site dans la Commune de Marcory de 2002 à 2022

Désignation	Surface couverte par site					
	2002		2017		2022	
	Nombre De site	Surface couverte (ha)	Nombre De site	Surface couverte (ha)	Nombre De site	Surface couverte (ha)
Observations	41	30,48	66	18,93	85	14,70

Au (**Tableau 6**), on observe une augmentation du nombre des sites radioélectriques et une réduction progressive de l'espace couvert par site radioélectrique. En 2002, le réseau mobile compte 41 sites pour 30,48 ha couverts par site. En 2017, l'augmentation de nombre de sites radioélectriques à 66 va réduire la surface couverte par site à 18,93ha. Cette surface par site devient 14,70 ha par site pour les 85 sites installés en 2022.

3-3-3. Dynamique des modèles de propagation de réseau de téléphonie mobile

Tableau 7 : Présentation des modèles de propagation dans la zone d'étude

Année	Modèles de propagation
2002	$Lu (dB) = 58,78 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) - 1,1 \log(f) + 0,7 Hm$
2017	$Lu (dB) = 75,37 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) - 1,1 \log(f) + 0,7 Hm$
2022	$Lu (dB) = 78,15 + 24,6 \log(f) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 13,82 \log(Hb) + [44,9 - 6,55 \log(Hb)] \log(d) - 1,1 \log(f) + 0,7 Hm$

Le **Tableau 7** présente les modèles de (2002), (2017) et (2022). Pour chacun de ces modèles, il est constaté la répétition des mêmes paramètres [f (Mhz), Hb (m), Hm(m), d(m)] et des valeurs constantes qui les accompagnent. Cependant, les valeurs des constantes sont croissantes. Ces constantes sont successivement 58,78 en (2002), 75,37 en (2017) et 78,15 en (2022).

3-3-3-1. Optimisation des modèles de propagation de réseau de téléphonie mobile

3-3-3-1-1. Modèle de 2002

La **Figure 7** présente le graphique du modèle optimisé pour l'année 2002. L'optimisation a consisté à rechercher la hauteur (Hb) de l'antenne à laquelle la perte est la plus faible possible, c'est à dire égale à celle du modèle idéal pour la même fréquence de 900 Mhz. Pour y arriver, Hb (m) a pris successivement les valeurs de 12, 15 et 18 m. Finalement, la perte est négligeable pour Hb (m) = 18 et d(m) = 852,2. Ainsi, en 2002, pour que la couverture du réseau mobile ne soit pas perturbée, l'antenne doit avoir une hauteur de 18 m et le rayon de l'antenne ou la distance maximale qui sépare un abonné quelconque de l'antenne la plus proche doit être de 852,2 m.

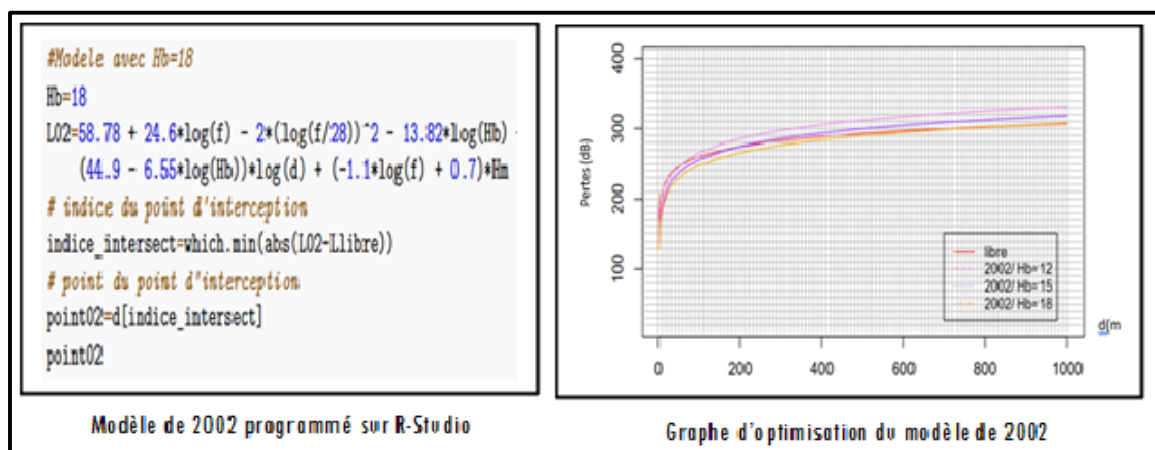


Figure 7 : Graphe d'optimisation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de réseau mobile de 2002

3-3-3-1-2. Modèle de 2017

La **Figure 8** présente le graphique du modèle optimisé pour l'année 2017. L'optimisation consiste à rechercher la hauteur (Hb) de l'antenne à laquelle la perte est la plus faible possible, c'est à dire égale à celle du modèle idéal pour la même fréquence de 900 Mhz. Pour y arriver, Hb (m) a pris successivement les valeurs de 12,15, 18. Ainsi, la perte est faible pour Hb (m) = 12 et d(m) = 415,2. Ainsi, en 2017, pour que la couverture du réseau mobile ne soit pas perturbée, l'antenne doit avoir une hauteur de 12 m et le rayon de l'antenne ou la distance maximale qui sépare un abonné quelconque du l'antenne la plus proche est de 415,2 m.

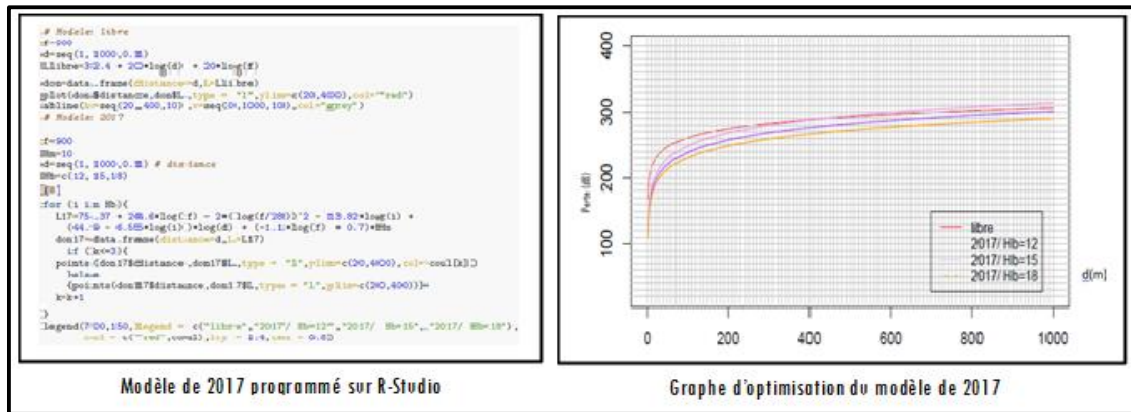


Figure 8 : *Graphique d'optimisation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de réseau mobile de 2017*

3-3-3-1-3. Modèle de 2022

La **Figure 9** présente le graphique du modèle optimisé pour l'année 2022. L'optimisation consiste à rechercher la hauteur (Hb) de l'antenne à laquelle la perte est la plus faible possible, c'est à dire égale à celle du modèle idéal pour la même fréquence de 800 Mhz. Pour y arriver, Hb (m) a pris successivement les valeurs de 12,15, 18, m. Ainsi, Hb (m) = 12 et d(m) = 228,7 sont les valeurs qui optimisent le modèle.

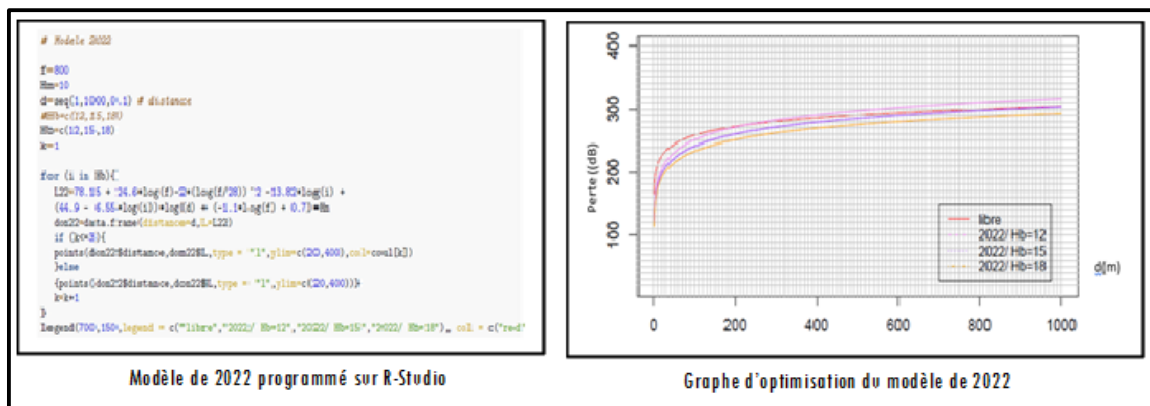


Figure 9 : *Graphique d'optimisation du modèle de propagation des ondes radioélectriques de réseau mobile de 2022*

4. Discussion

4-1. Cartographie de l'évolution occupation du sol

La classification supervisée par l'algorithme du maximum de vraisemblance a permis d'avoir une précision globale de 95,55 % et un coefficient de Kappa de 96,66 pour l'image SPOT 5 de 2002. Quant à celles de 2017 et de 2022, les valeurs de Kappa sont respectivement de 92 et de 93. Ces valeurs témoignent d'une validité des cartes d'occupation du sol obtenues. Une occupation du sol peut être validée si le coefficient de Kappa est supérieur à 50 [27, 28]. De ce fait, la présente classification qui compte quatre classes est acceptable et permet d'évaluer les changements de l'occupation du sol dans la période 20 ans (2002-2022). La dynamique de l'occupation des sols révèle une diminution significative de l'espace dégagé (espace vert, eau et maisons basses) contre une augmentation progressive des espaces occupés par des immeubles. Ainsi, on a en 2002 (8,98 %) d'immeubles contre (91,02 %) d'espace dégagé, en 2017 (42,93 %) d'immeubles contre (57,07 %) d'espace dégagé et en 2022 (53,48 %) d'immeubles contre (46,52 %) d'espace dégagé. Ces résultats montrent que l'expansion de la commune de Marcory se fait de façon verticale. Cette transformation de ville périurbaine horizontale à ville moderne verticale serait due à la réussite économique, à la liberté individuelle et à l'absence d'espace périurbain [29, 30]. L'une des conséquences visibles de cette transformation morphologique urbaine de la zone d'étude est l'adaptation du modèle de propagation des ondes radioélectriques des réseaux de téléphonie mobile. Une adaptation de modèle de propagation à la transformation verticale de la commune se matérialise par la variation des constantes 58,78 en (2002), 75,37 en (2017) et 78,15 en (2022).

4-2. Impacts de la mutation morphologique de la commune de Marcory sur les modèles de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile

Le **Tableau 7** présente les modèles de (2002), (2017) et (2022). Pour chacun de ces modèles, il est constaté la répétition des mêmes paramètres [f (Mhz), Hb (m), Hm(m), d(m)] et aussi des valeurs constantes qui les accompagnent. Cependant, les valeurs des constantes sont croissantes. Ces constantes sont successivement 58,78 en (2002), 75,37 en (2017) et 78,15 en (2022). Une adaptation de modèle de propagation à la transformation verticale de la commune se matérialise par la variation des constantes 58,78 en (2002), 75,37 en (2017) et 78,15 en (2022). Il est aussi constaté que la superficie de la zone non dégagée représentée par des immeubles affiche des valeurs suivantes : 112,26 ha = 08,98 % (2002), 517,40 ha = 42,93 % (2017), 668,52 ha = 52,68 % (2022). Par analogie, nous constatons que

- 08,98 % d'immeubles correspondent à la constante de 58,78 (2002) ;
- 42,93 % d'immeubles correspondent la constante de 75,37 en (2017) ;
- 52,68 % d'immeubles correspondent à la constante de 78,15 en (2022).

Cette analyse analogique montre la pression de la mutation morphologique de la zone d'étude et surtout sur le comportement de l'onde radioélectrique pendant les différentes communications téléphoniques.

4-3. Densification du réseau de téléphonie mobile

Le résultat de la classification de l'image SPOT 5 montre qu'en 2002, la commune de Marcory présentait les caractéristiques d'une zone Suburbaine constituée de 71,55 % de bâtis dont 08,98 % d'immeubles. La zone d'étude est donc dégagée, c'est à dire sans obstacle apparent pour perturber la propagation des ondes radioélectriques puisque la taille des maisons basses en moyenne est de 5 m selon les données de servitude et que les sites radioélectriques culminent de 18 m de hauteur. La couverture du réseau est donc horizontale.

C'est ce qui explique l'utilisation des pylônes en Mât pour construire et stabiliser le réseau mobile. Ainsi en 2002, nous avons un réseau mobile stable avec un rayon de couverture par site qui est de 852,2m et donc 6 cellules. La classification d'image SPOT 7 et Landsat OLI révèle 42,93 % d'immeubles en (2017) et 53,48 % d'immeubles en (2022). Cette transformation du tissu urbain pourrait justifier la densification du réseau mobile par l'opérateur en intégrant 66 sites en (2017) et 85 sites en (2022). Pour résoudre le problème des obstacles urbains que constituent les immeubles, l'opérateur a décidé d'utiliser des haubanés comme type de pylônes pour rapprocher les sites radioélectriques aux abonnés. Il faut noter que les pylônes haubanés se posent sur les toits des maisons. Ainsi, vingt-cinq pylônes haubanés seront intégrés dans l'ancienne structure pour contribuer à densifier le réseau de téléphonie à stabiliser. L'intégration de ces vingt-cinq pylônes justifie la réduction de la taille de rayon de couverture de la cellule qui passe de 852,2 (m) en 2002 à 415,2 (m) en 2017. Le réseau mobile passe donc de 6 cellules (2002) à 24 en 2017, et à 77 cellules en (2022). La réduction de la taille de cellule va augmenter le nombre de cellules et donc le réseau pourra s'adapter à la nouvelle morphologie urbaine de la commune pour prendre en compte le surplus des abonnés apparu avec l'augmentation du nombre d'immeubles.

4-4. Répartition spatiale des sites radioélectriques

La répartition spatiale des sites radioélectriques selon les coordonnées géographiques est différente de la répartition spatiale des sites radioélectriques selon les graphes d'optimisation. La commune de Marcory s'étend sur 1250 ha, soit 12 500 000 m². En 2002, l'opérateur télécoms implante 41 sites radioélectriques soit une répartition de 304 800 m² par site. Alors que dans la même année de 2002, selon le graphe d'optimisation, le rayon $d(m) = 852,2$ m soit une surface de 2 280 408,79 m² couverte par site. Cette différence de taille des espaces couverts pour les mêmes sites radioélectriques et à la même période de Marcory trouve son explication d'abord dans la méthode de constitution des motifs [31] cellulaires pour couvrir la zone de Marcory et en suite dans le partage des surfaces couvertes des sites radioélectriques avec les autres communes voisines comme Koumassi et Treichville. Selon la méthode de constitution des motifs cellulaires, les motifs regroupent sept cellules dont les étendues s'entrecoupent pour éviter les trous noirs [32] dans la couverture réseau mobile. Ce qui veut dire que les 1 738 820,48 m² de différence pourraient être partagée par plusieurs sites radioélectriques. De plus, sur 41 sites, Marcory partage huit (8) avec la commune de Koumassi et cinq (5) avec la commune de Treichville. Ce qui voudrait dire que les 1 738 820,48 m² de différence pourraient appartenir aussi bien à Marcory qu'aux autres communes limitrophes. En 2017, selon les coordonnées géographiques, le nombre de sites radioélectriques passe à soixante-six (66) soit 189 393 m² de surface couverte par site. Pour la même année de 2017, le graphe d'optimisation indique $d(m) = 415,2$ soit 541 588,31 m² couverte par site. Il faut noter que le nombre de sites partagés avec les communes de Koumassi (8) et de Treichville (5) n'a pas changé. En 2022, nous avons 85 sites radioélectriques soit 147 000 m² de surface couverte par site. Pour le graphe d'optimisation le rayon $d(m) = 228,7$ m² correspond à une surface de 164 316,85 m² couverte par site. On constate que les deux surfaces couvertes sont sensiblement égales. Cela pourrait s'expliquer par l'apparition des 53,48 % d'immeubles. En effet, à l'exception des quartiers alliodan et anoumabo, la présence des immeubles est significative sur l'ensemble du territoire de Marcory.

5. Conclusion

Cet essai s'inscrivait dans le but d'évaluer les effets de la dynamique du tissu urbain sur le modèle de propagation des ondes radioélectriques de téléphonie mobile dans la commune de Marcory dans le district d'Abidjan. Les résultats obtenus ont montré que le modèle de propagation de réseau de téléphonie mobile a

été significativement impacté par la dynamique du tissu urbain ces 20 (2002-2022) dernières années à Marcory à plusieurs niveaux. La restructuration de de l'architecture du réseau mobile a été le premier impact avec l'intégration croissante des sites radioélectriques passant successivement de 41 en (2002), puis à 66 en (2017) et en fin à 85 en (2022). Cette restructuration s'est approfondie avec la variation des types de pylônes qui sont passés des Mâts en (2002), ensuite aux Haubanés en (2017) et en fin aux Autostables en (2022). Le deuxième impact est la stabilité de transmission. Elle a été un souci majeur pour l'opérateur télécoms qui s'est vu obligé d'installer des BTS en (2002), les NODE_B en (2017) et en fin les E_NODE_B en (2022) pour stabiliser son réseau. De plus, l'étude de la dynamique de l'occupation du sol a révélé un nombre de plus en plus important des immeubles passant successivement de 08,98 % en (2002), puis à (42,93 %) en 2017 et en fin à (53,48 %) en 2022. Aussi l'occupation spatiale par site n'a cessé de décroître passant ainsi de 30,48 ha en 2002, à 18,98 ha en 2017 en fin à 14,70 ha en 2022. Ces résultats montrent que la dynamique du tissu urbain peut modifier significativement le modèle de propagation des ondes radioélectriques des réseaux de la téléphonie mobile.

Références

- [1] - A. K. D. ZACHAEUS, O. K. OWOLABI, Genetic Algorithm Based Pathloss Optimization for long term Evolution in Lagos, Nigeria. *International Journal of Applied Sciences and Technology*, volume 6 numéro 2 (2016) 79 - 88
- [2] - O. A. AHINYINKA, A. S. FOLASADE, A. K. ZACHAEUS, Performance Analysis and Optimization of COST 231 Hata Model for Mobile Communication in Nigeria, *International Journal of Computer Applications*, Volume 173 numero 6, (2017) 1 - 9
- [3] - N. ZIA, H. AL LAWATI, O.M. AL RASHDI, Propagation Measurements and Pertinency of Models for Communications Systems in Oman. *American Journal of science and Engineering*, volume 1 issue 4 (2020) 16 - 21
- [4] - E. M. D. DEUSSOM et E. TONYE, Optimisation du modèle d'Okumura Hata par la régression linéaire. Application à la ville de Yaoundé au Cameroun. *Revue "IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)"*, volume 10, Issue 6, (2015) 63 - 72
- [5] - S. I POPOOLA, A. A. ATAYERO and O. A. BADEJO, Comparative Assessment of Data Obtained Using Empirical Models for Path-loss Predictions in a University Campus Environment. *ELECTRICAL & ELECTRONIC ENGINEERING*, volume 18, numéro 8, (2018) 380 - 393
- [6] - V. A. FONON, Étude de la propagation radio en environnement doté de surfaces irrégulières à profil périodique. Thèse. Gatineau, Université du Québec en Outaouais, Département d'informatique et d'ingénierie, (2018) 200 p.
- [7] - H. NURWARSITO, A. R. AZIZ, Implementation of the friis space Propagation Model in the dynamic source routing Protacol in the Vehicular Ad-hoc Network with variation of road Models. *Journal of Physics: Conference series*, the 1^{er} International Conference on Engineering and Technology (2021) 1 - 13
- [8] - H. T. FRIIS, A note on a Simple Transmission Formula. *Journal and Magasine* volume 34 issue 5 (1946) 254 - 255
- [9] - Z. SAYEGH, Contribution à l'étude du canal de propagation à l'intérieur des bâtiments par simulations et mesures. Thèse de Doctorat de l'INSA Rennes (Université Bretagne Loire) (2017) 141 p.
- [10] - T. ALBEKAYE, H. BOEGLIN, R. VAUZELLE et S. BORJA, Analyse du comportement du canal de propagation radio dans un milieu industriel complexe., XX èmes Journées Nationales Microondes, 16-19 Mai 2017, Saint-Malo, (2018) 2 - 3

- [11] - C. CHAOU, J. G. ADJIZIAN, N. B. SALIBA et R. ZAAROUR, La pression exercée par l'étalement urbain sur la faune et la flore de la Région métropolitaine de Beyrouth. *Revue forestière française, AgroParisTech*, volume 71 numéro (4), (2019) 521 - 530
- [12] - A. PUISSANT, N. LACHICHE, G. SKUPINSKI, A. BRAUD, J. PERRET et A. MAS, Classification et évolution des tissus urbains à partir de données vectorielles. *Revue internationale de géomatique*, Vol. X, N° Y, (2011) 2 - 4
- [13] - A. R. BOUZGARROU, Analyse des formes morpho-fonctionnelles urbaines : mise en place d'un indicateur de mutations paysagères de la ville de Monastir entre 1956 et 2013. Thèse en Cotutelle de l'université de Bretagne occidentale-Brest ; université de Sousse (Tunisie), (2019) 231 p.
- [14] - J. OFFICIEL, Création du district d'Abidjan. Loi 2001/478 du 09 Aout 200 portant création du district d'Abidjan, Côte d'Ivoire, (2001) 1 - 2
- [15] - J. OFFICIEL, Création de la commune de Marcory. Décret N° 80-1184 du 18 octobre 1980, fixant le ressort territorial de la ville d'Abidjan des communes de la ville d'Abidjan. Article (1980) 4 - 7
- [16] - INS Institut Nationale de la Statistique : Recensement General de la population et de l'habitat de (2014) 1 - 3
- [17] - A. KEMSOL NAGORNGAR, Dynamique spatiale des cultures des décrues dans les zones lacustres soudano-sahariennes de 1985 à 2015 : Cas des lacs Fitri et Iro au Tchad, thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan Cocody (2018), 166 p.
- [18] - D. KONATE, L. FOFANA, M. L. TOURE, Conservation des bois sacrés face à une dynamique urbaine agressive à Korhogo. *Revue Ecosystèmes et Paysages (Togo)*, volume 01 Numero 01, (2021) 1 - 11
- [19] - CIRAD, Analyse orientée objet d'objet d'image de télédétection. Prise en main d'eCognition Developer URL://www.cirad.fr/ enseignement-formation/ formation-professionnelle/analyse-orientee-objet-d'image-de-telédetection-ecognition-develeper, page consultée le (20 Octobre 2020)
- [20] - G. SORO, K. E. AHOUSI, K. E. KOUADIO, T. D. SORO, S. OULARE, B. M. SALEY, La dynamique de l'occupation du sol dans la région des lacs (centre de la cote d'ivoire) *Afrique Sciences*, volume 10 numéro 3 (2014) 146 - 160
- [21] - A. MELIANI, M. GANA, E. M. BENDERRADJI, K. Y. BEN, D. ALATOU, Cartographie des déterminants de l'invasion par le pin maritime, *Pinus pinaster* Air, de la suberaie de Haddada dans le nord-est de l'Algérie. *Bois et Forêts des Tropiques*, volume 347 (2021) 77 - 88
- [22] - K. D. KPEDENOU, O. DRABO, A. P OUBA, D. E. C. DA, K. T. T. TCHAMIE, Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire ouatchi au sud-est de togo entre 1958 et 2015. *Cahier du Cerleshs* volume XXXI, numéro 55 (2017) 203 - 227
- [23] - H. H. EL HAGE, F. ARDILLIER-CARRAS, L. CHARBEL, les changements d'occupation des sols dans la Béqaa Ouest (Liban) : le rôle des actions anthropiques. *Cahier Agricultures*, volume 28 numéro 10, 1 - 10
- [24] - C. S. S DANSOU, Structure et dynamique spatiale des villes de OUIDAH et de GRAND-POPO sur le littoral Beninois : Enjeux Environnementaux et Perspectives. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Cavali (Benin), (2019) 379 p.
- [25] - M. MAROU, Dynamique de l'espace urbain de Khénifra en fragilité du milieu physique et logique de planification urbaine. Thèse de l'Université Ibn Tofail (Maroc) (2021) 307 p.
- [26] - R. SAMUEL, L'urbanisation du littoral : espace, paysages et représentations. Des territoires à l'interface ville-mer. Thèse de l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest (2018) 199 p.
- [27] - G CHENG, J HAN, X LU, Remote sensing image scène classification : Benchmark and state of art, *Proceedings of th I EEE* (Institute of Electrical and Electronics Engineers) volume 105 numéro 10 (2017) 1865 - 1883

- [28] - A. EL GAROUANI et K AHARIK, Apport des images Landsat à l'étude de l'évolution de l'occupation du sol dans la plaine de Saïss au Maroc, pour la période de 1987-2018. *Revue française de photogrammétrie et télédétection*, volume 223, Numéro spécial Afrique (2021) 1 - 16
- [29] - N. ROSEAU, La ville verticale, abstraction concrète. *Géographie et cultures*, <http://journals.openedition.org/gc/5162> page consultée le 26/09/2022
- [30] - TOD (Transit Oriented Development), Le retour de l'habitat vertical et les politiques dans les villes françaises : vers une intensification urbaine socialement sélective <https://journals.openedition.org/eps/9256>, page consultée le 12/09/2022
- [31] - M. EL H. KENANE, Contribution à L'optimisation d'un Réseaux d'antennes Intelligents au Système UMTS. Thèse de l'Université Ferhat Abbas (Algérie) Département d'Électronique (2017) 161 p.
- [32] - R. KHALLADI, Développement d'un système de détection d'intrusion dans les réseaux mobiles. Thèse de l'université MUSTAPHA Stambouli mascara (Algérie). Faculté des sciences exactes, Département d'informatique (2022), 121p.