

## Problématique de la réflexion des ondes radioélectriques des antennes Global System Mobile (GSM) sur le lac-Kivu en RD Congo

### [ Problematic of the reflection of the radio electric waves of the Global System Mobile (GSM) antennas on Kivu-lake in RD Congo ]

**Roger BALINDAMWAMI NFUNEBASHIGA**

Département de Génie électrique,  
Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Bukavu à Burhuza, Sud - Kivu, RD Congo

---

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The subscribers of the GSM network in provinces of the East of the RD Congo in this case of the North and South-Kivu, are sometimes taken beforehand in charge by the GSM network of Rwanda without any agreement of international Roaming.

Our survey aims to clarify the problematic of reflection of the waves radioelectric of the GSM antennas implanted to the borders of Rwanda and the RD Congo. The reflection of the waves radioelectric influences the quality of telecommunication in Bukavu following conductivity of the Kivu lake that separates these two regions.

At the time of the implantation of the issuing antennas of the radioelectric waves, the geographical coordinates, the technical features of the antennas and issuing are consideration.

**KEYWORDS:** Waves, radioelectric, GSM antennas, Kivu-lake.

**RÉSUMÉ:** Les abonnés du réseau GSM en provinces de l'Est de la RD Congo en l'occurrence du Nord et du Sud-Kivu, sont parfois pris en charge par le réseau GSM du Rwanda sans aucun accord au préalable de Roaming international.

Notre étude vise à expliciter la problématique de réflexion des ondes radioélectriques des antennes GSM implantées aux frontières du Rwanda et la RD Congo. La réflexion des ondes radioélectriques influence la qualité de télécommunication à Bukavu suite à conductivité du lac Kivu qui sépare ces deux régions.

Lors de l'implantation des antennes émettrices des ondes radioélectriques, les coordonnées géographiques, les caractéristiques techniques des antennes et émettrices soient prise en considération.

**MOTS-CLEFS:** Ondes, radioélectriques, antennes GSM, lac-Kivu.

## 1 INTRODUCTION

Vers la fin de l'année 2011, près de 6 milliards d'abonnés, soit 87 % de la population mondiale constitue la majeure partie du nombre d'abonnés mobiles. [1]. En l'espace d'une vingtaine d'années, l'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable.

Le réseau GSM (*Global System for Mobile communications*) constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée «

Global System for Mobile communications » en 1991. En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, les bandes de fréquences utilisées sont les bandes 850 MHz et 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande (parfois noté *tri bande*), les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour *Short Message Service*) ou des messages multimédias (MMS, pour *MultiMedia Message Service*). [2]

Les systèmes de radiotéléphonie mobile GSM sont maintenant une référence au niveau mondial. Or la norme GSM représente un ensemble de documents de plus de 7000 pages. Son abord est souvent ardu et la description de certaines fonctionnalités est disséminée sur plusieurs spécifications.

L'interface radio de GSM est un cas intéressant d'utilisation de techniques de transmission avancées puisqu'elle intègre un grand nombre de fonctions : codage de la parole, modulation, égalisation, codage protecteur, décodage de Viterbi, synchronisation, contrôle de puissance. Enfin, il donne les éléments de bases de l'ingénierie radio, domaine stratégique qui conditionne fortement la qualité de service d'un réseau. [3]

Le domaine de la microélectronique a permis la réalisation des équipements de taille assez-petites tout en offrant une performance plus grande. Grâce à cette révolution technologique, on dispose aujourd'hui des outils de communication de plus en plus performants, la téléphonie fixe, mobile, l'internet, la télévision. L'interconnexion des banques et autres particuliers sont fortement bénéficiaires de cette évolution des télécommunications. Cette montée technologique a fait que l'utilisation des antennes bien dimensionnées et plus performant permet d'assurer une bonne qualité de service en minimisant les risques de coupures du signal quel que soit les dimensions de la zone de couverture de ces antennes multidimensionnelle. Ainsi les antennes qui effectuent généralement la conversion d'un signal électrique en onde électromagnétique (en émission) et vice-versa (en réception) sont assimilées à une source ponctuelle rayonnant de façon non uniforme dans différentes directions sans tenir compte des zones de rayonnement. Les directions dans lesquelles cette puissance rayonnée (transportée par une onde électromagnétique) va dépendre des caractéristiques techniques de ces antennes. [4, 5, 6].

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles car elles émettent et reçoivent des signaux dans des directions privilégiées, c'est ainsi que l'application des réflexions de ces ondes sur une surface plane telle le lac-Kivu, justifie l'impact voir même la raison de la réception des ondes radioélectriques émises par les antennes située à l'autre rive du Lac-Kivu du côté Congolais mais aussi du côté Rwandais

## **2 CADRE D'ÉTUDE**

L'étude s'est déroulée à Bukavu l'une des villes de la RD Congo séparée du Rwanda par le lac Kivu.

### **2.1 PRÉSENTATION DU LAC-KIVU**

Le lac Kivu est l'un des Grands Lacs d'Afrique. Il se situe entre la République démocratique du Congo et le Rwanda. Le lac Kivu se déverse par la rivière Ruzizi, qui alimente au sud le lac Tanganyika. Le lac Kivu couvre une superficie totale de 2 700 km<sup>2</sup>, une longueur de 89Km, une largeur de 48km, et se situe à une altitude de 1 463 m au-dessus du niveau de la mer avec une profondeur de 485m, un volume de 500 km<sup>3</sup> ayant comme coordonnées géographiques 2° 03' 44" sud, 29° 07' 24".

Le premier Européen ayant accédé au lac fut un Allemand, le comte von Götzen, en 1894. C'est un des trois lacs méromictiques d'Afrique. Au fond du lac, environ 500 m de sédiments recouvrent le socle cristallin précambrien. Au nord du lac, des anomalies magnétiques sont dues à d'anciens épanchements volcaniques [7]. La salinité approche 4‰ au fond du lac.

Les villes congolaises de Goma et Bukavu sont voisines du lac. Au Rwanda, ce sont Gisenyi, Kibuye et Cyangugu.

C'est dans ce lac que l'on trouve Idjwi, la plus grande île à l'intérieur du continent africain avec une longueur de 40 km et une superficie de 285 km<sup>2</sup>.

### **2.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES RADIOFRÉQUENCES ET LES STATIONS DE BASE**

Le terme radiofréquences (RF), appelées aussi ondes radioélectriques ou champs radiofréquences et souvent microondes, est employé pour désigner les fréquences comprises entre 100 kHz à 300 GHz qui font partie du domaine des rayonnements non ionisants[8]. L'intensité du champ RF peut être évaluée pour chacune de ses composantes (électriques ou magnétiques) ou par la densité de puissance exprimée en watt par mètre carré (W/m<sup>2</sup> ou 10 W/m<sup>2</sup> = 1 mW/cm<sup>2</sup>) (IC, s. d.). La force du

champ électrique est exprimée en volt par mètre (V/m) alors que l'unité de mesure habituellement utilisée pour l'intensité du champ magnétique à ces fréquences est l'ampère par mètre (A/m). L'exposition aux RF est évaluée par la mesure du débit d'absorption spécifique (DAS) exprimé en watt par kilogramme (W/kg).

Les stations de base de téléphonie mobile, aussi appelées tours de télécommunications, sont des émetteurs/récepteurs de RF indispensables au fonctionnement des appareils de téléphonie mobile [9] Chaque station de base est constituée d'une ou de plusieurs antennes relais et couvre une partie du territoire appelée « cellule ». La taille de la cellule dépend de la puissance des antennes et varie de quelques centaines de mètres en zone urbaine, à quelques kilomètres en milieu rural [10]

### 2.2.1 LA TÉLÉPHONIE MOBILE

La téléphonie mobile, ou téléphonie cellulaire désigne les communications sans fil. Elle est basée sur la radioélectricité, qui désigne l'ensemble des phénomènes qui régissent la formation et la propagation des ondes électromagnétiques de faibles énergies. La radioélectricité est le fondement de toutes les techniques de communication ayant pour support les ondes électromagnétiques.

Le téléphone mobile est le support matériel de la téléphonie mobile. Il transmet d'un utilisateur à un autre, de la voix numérisée et des données, à l'aide de micro-ondes.

### 2.3 STRUCTURE GÉNÉRALE D'UNE ONDE

Une onde est une perturbation qui se propage, et transporte de l'énergie, sans transporter de matière. Les oscillations (ou « ondulations ») à la surface de l'eau constituent la façon la plus simple et directe de « voir » les ondes. Mais il existe bien d'autres représentations d'ondes, cela va des vagues à la surface de l'eau jusqu'à la lumière (qui est elle-même une forme d'onde), qui suivent le même principe tout en étant invisibles à l'oeil nu. Les ondes peuvent être très différentes les unes des autres, selon leurs caractéristiques, selon le milieu dans lequel elles se propagent, ainsi que selon leur type. [11]

### 2.4 CARACTÉRISTIQUES DES ANTENNES

Le rayonnement d'une antenne quel que soit sa fréquence de fonctionnement, sa structure physique est caractérisée par les propriétés communes de façon à déterminer par la direction de rayonnement de la puissance qui lui est fournie dans l'espace, l'efficacité de transfert d'énergie entre la puissance et de l'émetteur et la puissance rayonnée, la bande de fréquence à laquelle l'antenne rayonne de manière optimale et les propriétés que l'antenne donne à l'onde électromagnétique émise.

C'est pour cette raison qu'il est impérieux de supprimer toute distinction entre antenne émettrice et antenne réceptrice car toute structure qui reçoit une onde électromagnétique peut en transmettre.

C'est-à-dire qu'une antenne passive peut réciproquement être actuellement utilisée en émission et en réception.

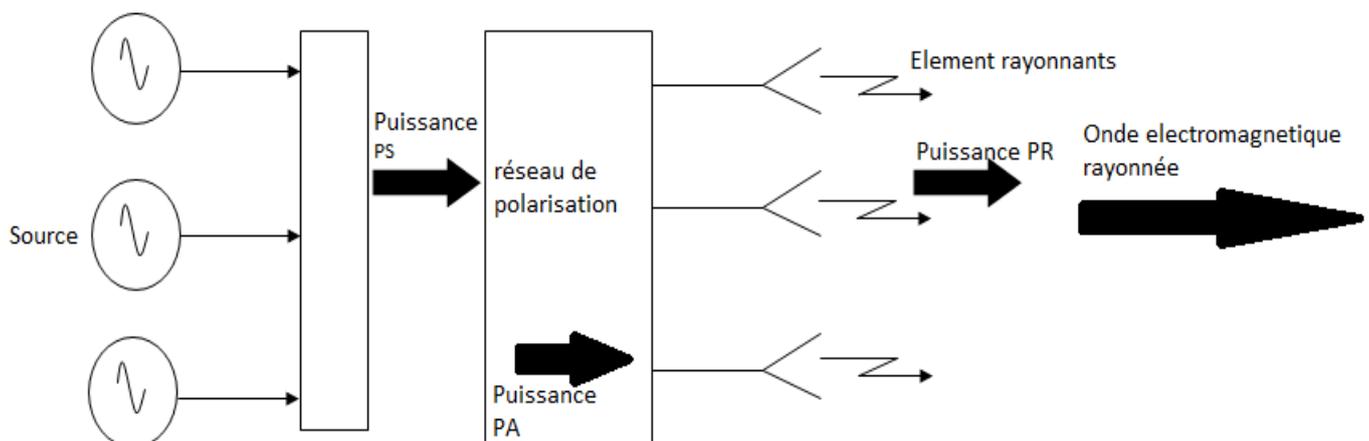


Fig. 1. Structure générale d'une antenne

### 2.4.1 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE

Une antenne converti une puissance électrique en puissance rayonnée (transportée par une onde électro magnétique) qui peut se propager dans toutes les directions de l'espace.

Cette puissance rayonnée dans une direction quelconque  $(\theta, \mu)$  dans un angle solide  $\Omega$  (en stéradian) est donnée par

$$P(\phi, \varphi) = \frac{PA}{\Omega R} (\omega/sr) \text{ avec PA : puissance électrique de la source}$$

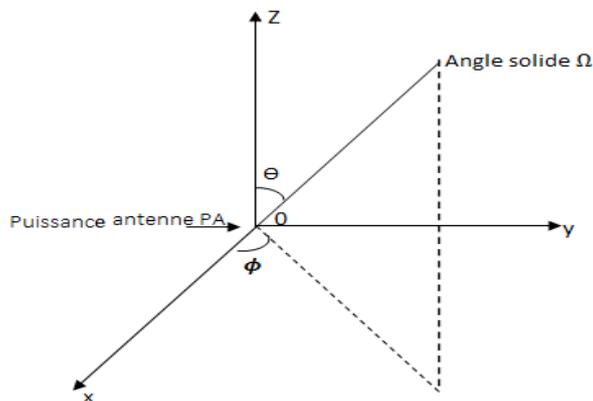


Fig. 2. Diagramme de rayonnement d'une antenne

### 2.4.2 PUISSANCE RAYONNÉE PAR UNE ANTENNE DANS UNE DIRECTION DE L'ESPACE

Pour une antenne sans pertes et propagation dans un milieu homogène et isotrope (antenne isotrope est une source ponctuelle qui rayonne une onde sphérique c'est-à dire de manière constante dans toutes les directions de l'espace la puissance

PA fournie par l'alimentation

$$P(\phi, \varphi) = \frac{Pa}{4\pi} \text{ (puissance rayonnée par unité d'anglesolide)}$$

$$P(R, \phi, \varphi) = \frac{PA}{4\pi R^2} \text{ (puissance rayonnée par unité de surface)}$$

La puissance rayonnée totale correspond à la somme des puissances rayonnées dans toutes les directions de l'espace et est exprimée par

$$P_{tot} = \int_{\theta} \int_{\phi} P(\theta, \phi) d\theta \cdot d\phi (\omega/m^2)$$

En espace libre et en champ lointain la puissance transportée par (onde et donnée par ce vecteur de poyting or dans un volume d'une onde électromagnétique transporte une énergie composée d'énergie électrique et d'énergie magnétique.

$$\text{energie électrique} = \frac{\epsilon E^2}{2} dv$$

$$\text{energie magnetique} = \frac{\mu H^2}{2} dv$$

$$\text{energie totale} = \frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{2} dv = \frac{1}{2} EHdv$$

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \vec{E} \wedge \vec{H}^* (\omega/m^2).$$

Avec H\* conjugué du champ magnétique

$$P = \frac{1}{2} E \cdot H = \frac{1}{2} \frac{E^2}{\eta} = \frac{PA}{4\pi R^2} \Rightarrow E = \sqrt{\frac{PA}{2\pi\eta R^2}} = \sqrt{\frac{60P}{R}}$$

Cependant le diagramme de rayonnement qui n'a de sens que si l'onde est sphérique, représente les variations de la puissance rayonnée par une antenne dans les différentes directions de l'espace.

Deux régions sont distinguées autour d'une antenne. Une zone proche appelée zone de champ proche ou zone réactive à proximité de l'antenne et une zone de champ lointain ou zone radiative qui s'étend à l'infini, mais la limite entre ces deux zones reste un peu floue et dépend de la fréquence et des dimensions de l'antenne. Elle se définit par les deux critères suivants :

$$- R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad D(m) \text{ la plus grande dimension de l'antenne}$$

$$- R > 10D. \quad \lambda(m) \text{ la longueur d'onde}$$

### 2.4.3 DIRECTIVITÉ, GAIN ET RENDEMENT D'UNE ANTENNE GSM

La Directivité  $D(\phi, \varphi)$  d'une antenne GSM dans une direction  $(\phi, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\phi, \varphi)$  et la puissance que rayonnait une antenne isotrope.

$$D(\phi, \varphi) = \frac{P(\phi, \varphi)}{\frac{PR}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\phi, \varphi)}{PR}$$

Le Gain  $G(\phi, \varphi)$  d'une antenne GSM dans une direction  $(\phi, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\phi, \varphi)$  sur la puissance que rayonnait une antenne isotrope sans pertes.

$$G(\phi, \varphi) = 4\pi \frac{P(\phi, \varphi)}{PA}$$

Plus le gain est important, plus l'angle d'ouverture du lobe principal est faible

$$G = \eta 4\pi \frac{P(\phi, \varphi)}{PR} \text{ et } PR = \int_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega$$

$$G = \eta \frac{4\pi}{\int_0^{4\pi} r(\theta, \varphi) d\Omega} = \int_0^{4\pi} r(\theta, \varphi) P(\theta, \varphi) d\Omega$$

Le rendement  $\eta$  d'une antenne GSM est le rapport entre la puissance totale rayonnée par cette dernière et la puissance qui lui est fournie.

$$(18) PR = \eta PA \Rightarrow G = \eta$$

La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) est utilisé en télécommunication (bilan de liaison) qui détruit dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faut apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette même direction.

$$PIRE = G \cdot PA \quad (20)$$

### 2.5 DESCRIPTION DES ONDES INCIDENTE ET RÉFLÉCHIE SUR LES EAUX

Une onde se réfléchit sur le lac Kivu comme un rayon lumineux sur un miroir. Cette réflexion est plus généralement diffuse. L'onde se réfléchit dans plusieurs directions en assimilant localement l'interface air/eau à son plan tangent et on note  $\vec{k}$  le vecteur unitaire normal, dirigé de l'eau vers l'air. L'air est assimilé au vide. Sur l'eau, les charges de conduction sont mises en mouvement par le champ de l'onde radioélectrique et vont intervenir dans le processus de propagation ;  $\omega$  est la pulsation de l'onde radioélectrique incidente, expérimentalement l'onde radioélectrique réfléchie et l'onde radioélectrique transmise ont la même pulsation. L'eau du lac Kivu sera parfaite donc sa conductivité tant vers l'infini.

$u(\vec{r}, t) = a \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_0)$ . représente l'amplitude ou la perturbation de l'onde à un point donné dans l'espace et le temps. Un exemple en serait de laisser  $u(\vec{r}, t)$  représenter la variation de la pression de l'air.  $\vec{k}$  est le vecteur d'onde et  $\omega$  est la pulsation.  $\vec{r} = (x, y, z)$  est le vecteur position.  $\varphi_0$  est la phase à l'origine et  $\alpha$  st l'amplitude complexe de l'onde.

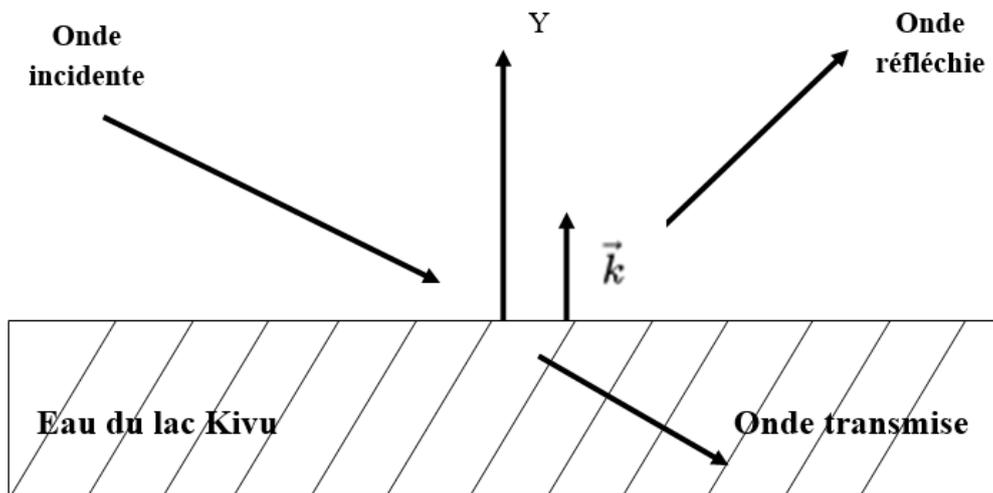


Fig. 3. Description des ondes incidente et réfléchie sur les eaux

## 2.6 RÉCEPTION PAR LES APPAREILS CELLULAIRES DES ONDES RADIOÉLECTRIQUES RÉFLÉCHIES

Le lac étant un plan conducteur parfait avec une surface plane, la réflexion telle que décrite ci haut joue un rôle fondamental dans les réseaux cellulaires et plus généralement pour toutes les communications sol-sol.

Les paramètres qui justifient ces réflexions dépendent de la hauteur des antennes (émettrice et réceptrice), du cellulaire, de la distance qui sépare les deux antennes et du point d'incidence ou de réflexion sur le lac.

## 3 IMPACTS TECHNIQUES DE LA RÉFLEXION SUR LE LAC-KIVU, DES ONDES RADIOÉLECTRIQUES ÉMISES PAR DES ANTENNES GSM.

Un grand nombre de Sud Kivusien utilise le téléphone portable, gage d'efficacité, de rapidité, de confort et de sécurité. La rançon de ce succès, c'est l'installation d'un grand nombre d'antennes par des opérateurs téléphoniques, afin d'assurer la couverture optimale du territoire. Ceci corrobore à une réalité qui se vit en France ou plus d'un Français sur deux possède un téléphone mobile [12]. On compte aujourd'hui plusieurs antennes relais utilisant le GSM dans le pays voisin le Rwanda avec des stations UMTS destinées à la radiodiffusion, la télévision, la radio professionnelle et qui émettent aussi des signaux radioélectriques.

Le Lac Kivu étant un conducteur parfait, la réflexion sur sa surface est faite suivant les principes de réflexion des ondes sur le sol ou encore principe de réflexion des ondes planes.

Cette réflexion sur le Lac a un impact non négligeable sur les réseaux de télécommunication cellulaire des pays pour lesquels le Lac a une forte influence. Il est évident que l'onde réfléchi sur le Lac Kivu crée une perturbation sur l'onde principale ou incidente.

A l'instar des miroirs métalliques, n'importe quelle matière suffisamment polie en l'occurrence la surface du lac, d'un fleuve ou d'un océan, provoque une réflexion spéculaire, de ce fait on obtient la réflectance qui donne le rapport entre le flux d'onde radioélectrique réfléchi sur le flux incident. La réflexion d'une onde est plus généralement diffuse et elle se réfléchit dans plusieurs directions. [13]

La polarisation de l'onde correspondant à l'orientation du champ est à considérer relativement au plan d'incidence (plan contenant l'onde émise, réfléchi et transmise).

Le diagramme de rayonnement des antennes GSM est constitué des ondes incidentes qui atteignent différentes distances sur le Lac. Cette portée est justifiée par la hauteur et la performance des antennes émettrices ( $h_e$ ) et réceptrice ( $h_r$ ) du mobile

d'une part, la distance qui sépare deux antennes (émettrice et réceptrice), le point d'incidence ou de réflexion du Lac d'autre part.

L'onde radioélectrique étant une vibration, après une certaine distance de son parcours pour une fréquence donnée, elle dépend de sa vitesse de propagation ce qui explique que plus on s'éloigne de l'antenne, plus l'intensité du champ électromagnétique rayonnée est faible. Cependant à la surface du Lac, de nombreux phénomènes contredisent cette règle.

Toutefois, il se fait que l'onde reçue ait un niveau suffisant dont la valeur minimale dépend de la sensibilité du mobile et du gain de son antenne (réceptrice) [14]

L'indice de réfraction dans le vide ( $n=1$ ), la hauteur de l'antenne émettrice ( $h_e$ ), la hauteur de l'antenne réceptrice ( $h_r$ ) du mobile et la distance maximum  $D$  entre  $h_e$  et  $h_r$  23 Km sont des paramètres utiles pour déterminer les différents points de réflexion des ondes rasantes sur le Lac Kivu. Une surface plane (Lac, fleuve, océan) est à même de réfléchir l'onde radioélectrique à plus de 22 Km sous un angle solide de 16,22 milliradian. L'angle de réflexion prouve que l'onde réfléchie est capable de couvrir les abonnés du réseau situé sur l'autre rive du Lac sans tenir compte des règles de roaming international.

#### 4 CONCLUSION

Les ondes radioélectriques capables de subir la réflexion du lac peuvent être atteintes à plus de 24km de l'antenne GSM 1800 émettrices orientées vers le lac dans plusieurs directions.

Ainsi la réflexion sur le lac Kivu, des ondes radioélectriques provenant des antennes GSM performantes installées et orientées aux frontières des pays voisins, influence sur les télécommunications cellulaires de deux côtés.

Cette perturbation des télécommunications volontaire ou involontaire par ces ondes radioélectriques réfléchies sur le lac, appelle à la considération de coordonnées géographiques de la région et les caractéristiques techniques des antennes et émettrices ainsi qu'à la détermination de la direction vers laquelle ces antennes émettrices rayonnent.

#### REMERCIEMENT

Nous remercions Monsieur Bonhomme Kalimira Kachelewa de nous avoir soutenu dans le bon déroulement de ce travail ainsi que les abonnés des opérateurs téléphoniques de Bukavu qui par leurs lamentations suite à la qualité de communication téléphoniques nous ont été fournis.

#### REFERENCES

- [1] UIT Télécommunications, Global mobile-cellular subscriptions, total and per 100 inhabitants, 2001-2011, février 2012.
- [2] Kanoun zakaria, Kazi aoul Sofiane, Application du système d'information géographique pour les réseaux GSM, Mémoire, République Algérienne Démocratique et Populaire, Université Abou Bakar Belkaid– Tlemcen, Mai 2015.
- [3] Xavier Lagrange, Philippe Godlewski, Sami Tabbane, Réseaux GSM, Editions Hermès Science (5ème édition), Paris 2000, ISBN 2-7462-0153-4
- [4] Alexandre Boyer, antennes, support de cours, Paris 2011.
- [5] Denis Prêtre, antennes, arc Ingénierie, France 2004.
- [6] Van Droogenbroeck, principes des télécommunications analogiques et numériques, Paris, France 2002.
- [7] Degens, E. T., von Herzen, R. P., Wong, H. K., Deuser, W. G., & Jannasch, H. W. (1973). Lake Kivu: structure, chemistry and biology of an East African rift lake [archive] ; Geologische Rundschau, 62(1), 245-277, PDF 33 p.
- [8] Académie nationale de Médecine, l'Académie des sciences et l'Académie des technologies de la France (ANM, ADS, ADT). Réduire l'exposition aux ondes des antennes-relais n'est pas justifié scientifiquement. Groupe de travail sur la téléphonie mobile, 2009.  
[En ligne] <http://www.academie-medecine.fr/detailPublication.cfm?idRub=26&idLigne=1752>. (Consulté le 27 mai 2018).
- [9] Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement (2008). Santé et stations de base : Décembre 2008. Dans Université Victor Segalen Bordeaux 2. Téléphonie mobile & Santé fiches de synthèse.  
[En ligne] [http://www.isped.u-bordeaux2.fr/CDD/BASES/Telephonie/Fiche\\_Base\\_08.pdf](http://www.isped.u-bordeaux2.fr/CDD/BASES/Telephonie/Fiche_Base_08.pdf). (Consulté le 29 septembre 2009).
- [10] Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2003). Téléphonie mobile et santé : Mars 2003. Dans Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. [En ligne] [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/472646304908464007511232417151/telephonie\\_mobile\\_2003.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/472646304908464007511232417151/telephonie_mobile_2003.pdf). (Consulté le 15 septembre 2009).

- [11] Mathis Legay, Julien Marro, Aymeric Rannou, TPE Les effets des ondes électromagnétiques sur les êtres vivants, 1ere S2 - Lycée Félix le Dantec - Lannion , Septembre 2015 - Février 2016.
- [12] OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES les antennes relais à l'épreuve des inquiétudes du public et des données scientifiques, compte rendu de l'audition publique, ouverte à la presse du lundi 6 avril 2009, organisée par député de la somme M. ALAIN GEST, France 2009.
- [13] Sami Tabbane, Ingénierie des réseaux cellulaires, édition Hermès science, France 2002.