

Analyse Spatiale Du Risque D'exposition Aux Rayonnements Electromagnetiques Non Ionisants De La Telephonie Mobile Dans La Ville De Dschang

TCHATCHOUANG PEGMI Yves Serges

Département de Géographie, Aménagement et Environnement, Université de Dschang, Cameroun.

Email: pegyves@yahoo.fr

Abstract—Following the opening of Cameroon to mobile telephony in 1998, the city of Yaoundé was taken over by mobile network equipment. The consumption of telephone services by the population will lead operators to deploy an increasingly efficient technology, but nevertheless generating artificial electromagnetic waves at the origin of the electromagnetic pollution responsible for health damage. The WHO classifies non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony as potentially carcinogenic. Considering these issues, how is the exposure to non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephones in the city of Dschang? To answer this, this research has set itself the objective of contributing to the determination of the risk levels induced by non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony. It is with this in mind that we made use of a multispectral pollimeter for field power dosimetry and geodata collection equipment. We then used criticality matrix analysis, statistical processing, spatial analysis and GIS to refine our work. Our results show that nearly 47% of households and 65% of sensitive habitats (health and education facilities) in the city of Dschang are exposed to a critical risk. Moreover, the corridor where these artificial waves of radio equipment are acutely rife goes from the administrative district, to the top of the Dschang university campus. Ignorance and non-compliance with standards of protection against these microwaves, substantially contribute to exposing populations to health risks. This work is a decision support tool. It is also intended to be a basement for researchers from other disciplines, in particular health and law, with a view to exposing and combating the harmful effects of these invisible but yet devious non-ionizing waves, which are now part of our daily lives.

Keywords: *City of Dschang; threshold of emission, Electromagnetic threats*

Résumé

Suite à l'ouverture du Cameroun à la téléphonie mobile en 1998, la ville de Dschang est investie par des équipements du réseau mobile. La consommation des services de la téléphonie par la population va amener les opérateurs à déployer une technologie de plus en plus performante, mais cependant génératrice d'onde électromagnétiques artificielles à l'origine de la pollution électromagnétique responsable de dommages sanitaires. L'OMS classe d'ailleurs les rayonnements électromagnétiques non ionisants de la téléphonie mobile comme potentiellement cancérogènes. Considérant ces enjeux, comment se fait l'exposition aux rayonnements électromagnétiques non ionisants de la téléphonie mobile dans la ville de Dschang ? Pour y répondre, la présente recherche s'est donnée pour objectif de contribuer à la détermination des niveaux risque induits par le rayonnement électromagnétique non ionisant de la téléphonie mobile. C'est dans cette optique que nous avons fait usage d'un pollimètre multispectral pour la dosimétrie des puissances des champs et de matériels de collecte de géodonnées. Puis nous avons fait usage de méthodes d'analyse par la matrice de criticité, de traitement statistiques, d'analyse spatiale et de SIG pour affiner nos travaux. Nos résultats montrent que près de 47% des ménages et 65 % d'habitats sensibles (établissements de santé et d'éducation) de la ville de Dschang sont exposés à un risque critique. D'ailleurs le couloir où sévissent avec acuité ces ondes artificielles des équipements radioélectriques va du quartier administratif, jusqu'au sommet du campus universitaire de Dschang. L'ignorance et le non-respect des normes de protection faces à ces microondes, contribuent substantiellement à exposer les populations à des risques sanitaires. Ce travail est un outil d'aide à la décision. Il se veut également un sous bassement pour des chercheurs d'autres disciplines notamment de santé et de droit, en vue de mettre à nue et combattre les nocivités de ces ondes non ionisantes invisibles mais pourtant sournoises, qui font désormais partis de notre quotidien.

Mots-clés : *Ville de Dschang; Seuil d'émission, Risque électromagnétique*

I. Introduction

Le groupe d'expert du Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) de L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), classent les champs de radiofréquences électromagnétiques émis par les terminaux d'antennes relais mobiles (ou station de base) en catégorie «2B »1 dans sa publication du 31 mai 2011, c'est-à-dire « potentiellement cancérigènes ». Ainsi le rayonnement émis par la téléphonie mobile rejoint l'amiante et le tabac dans cette classification. Face aux risques induit par l'exposition à ces radiofréquences. La Stratégie Internationale de la Réduction des Catastrophes des Nations Unies (ISDR) prescrit pour une action efficace de lutte contre les risques, de passer d'une « culture de réaction » à une « culture de prévention »2. Au Cameroun, la Direction de la Protection Civile (DPC) identifie les champs électromagnétiques de la téléphonie mobile comme un risque technologique, par conséquent son usage devrait être encadré3. Dans la même lancée, le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MINEP), a établi en 1995 un Plan National de Gestion de l'environnement pour les études d'impacts environnementaux. Dans son chapitre deuxième portant sur l'étude d'impact environnemental, article 17, il précise que : « le promoteur ou tout projet d'aménagement, qui risque de porter atteinte à l'environnement, est tenu de veiller à ne pas rompre la qualité de vie des populations et de l'environnement en général ». Or, avec le développement du réseau mobile au Cameroun ces dernières décennies et l'augmentation des opérateurs, la multiplication de l'implantation des stations de base dans le paysage de la ville de Dschang il est opportun de se demander si ce foisonnement d'antennes relais se fait effectivement dans le respect des normes nationales et recommandations internationales. C'est de cette interrogation que découle l'objet de notre recherche qui s'intitule : « analyse spatiale du risque d'exposition des populations aux rayonnements électromagnétiques non ionisants de la téléphonie mobile dans la ville de Dschang ». Pourtant, les techniques qui ont permis la maturation des ondes de téléphonie mobile sont d'origine militaire 4. Tout

semble de passer comme si, sous nos cieux, nous ignorons les alertes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et les résultats de nombreuses études scientifiques faites dans d'autres pays dans des contextes similaires, qui mettent en garde contre les effets délétères de l'utilisation non conforme de cette technologie sur la santé.

Dans le cadre de la présente analyse, nous constatons un problème majeur qui expose la population de la ville de Dschang à la pollution liée aux rayonnements électromagnétiques du réseau mobile.

En guise de constat, les populations se rendent vulnérables aux champs électromagnétiques, en demeurant pendant plusieurs années à une distance non réglementaire des antennes relais de la téléphonie mobile. Nous constatons également que ces différents équipements rayonnent avec une puissance allant au-delà du seuil normatif en deçà duquel les risques sur la santé sont infimes.

Notre recherche voudrait répondre à un questionnement principal, qui convie à une autre question subsidiaire ayant pour but de spécifier le problème pour mieux y répondre.

La question principale de notre recherche est de savoir comment se fait l'exposition aux rayonnements électromagnétiques non ionisants de la téléphonie mobile dans la ville de Dschang ?

Nous élargerons notre question principale avec la question spécifique suivante :
Quels sont les risques électromagnétiques encourus par la population de Dschang ?

II. Matériels et Méthodes

1. Le site de l'étude

La commune de Dschang (carte 1) a été créée par le décret n° 2007/117 du 24 avril 2007 du Président de la République portant création des communes. Cette ville a une altitude de moyenne de 1400 m et s'étend sur environ 262 km². Elle se situe approximativement entre 5°25' et 5°30' de latitude Nord et entre 10° et 10°5' de longitude Est (NGWEPE 1976).

Le relief de la ville de Dschang est typique de celui de l'ensemble de la région. Toutefois, les changements d'altitude d'une part et le fait qu'elle soit blottie sur un site de cuvette connu sous le nom d'alvéole (NGOUFO 1989) d'autre part, lui procurent une topographie assez morcelée. En effet, la ville est caractérisée par des sommets aux allures polyconvexes dominant par des escarpements les vallées situées dans sa partie Ouest.

Les opérateurs de la téléphonie mobile préfèrent les sommets des collines pour installer leurs stations de bases. En effet, au fur et à mesure que l'on va en altitude, la densité de l'atmosphère diminue, favorisant la propagation des ondes électromagnétiques. Aussi

¹ L'OMS précise qu'un agent peut être classé dans cette catégorie sur la seule base d'indications solides de données mécanistiques et autres.

² ISDR (2007), Towards a Culture of Prevention: Disaster Risk Reduction Begins at School: Good Practices and Lessons Learned, UN/ISDR-11-2007-Geneva

³ YOGO, Emmanuel D. KAM. "DROIT ET POLITIQUE DE GESTION DES CATASTROPHES ET RISQUES AU CAMEROUN." Environmental Law and Policy in Cameroon - Towards Making Africa the Tree of Life | Droit Et Politique De L'environnement Au Cameroun - Afin De Faire De L'Afrique L'arbre De Vie, edited by Oliver C. Ruppel and Emmanuel D. Kam Yogo, 1st ed., Nomos Verlagsgesellschaft MbH, Baden-Baden, Germany, 2018, pp. 312–332.

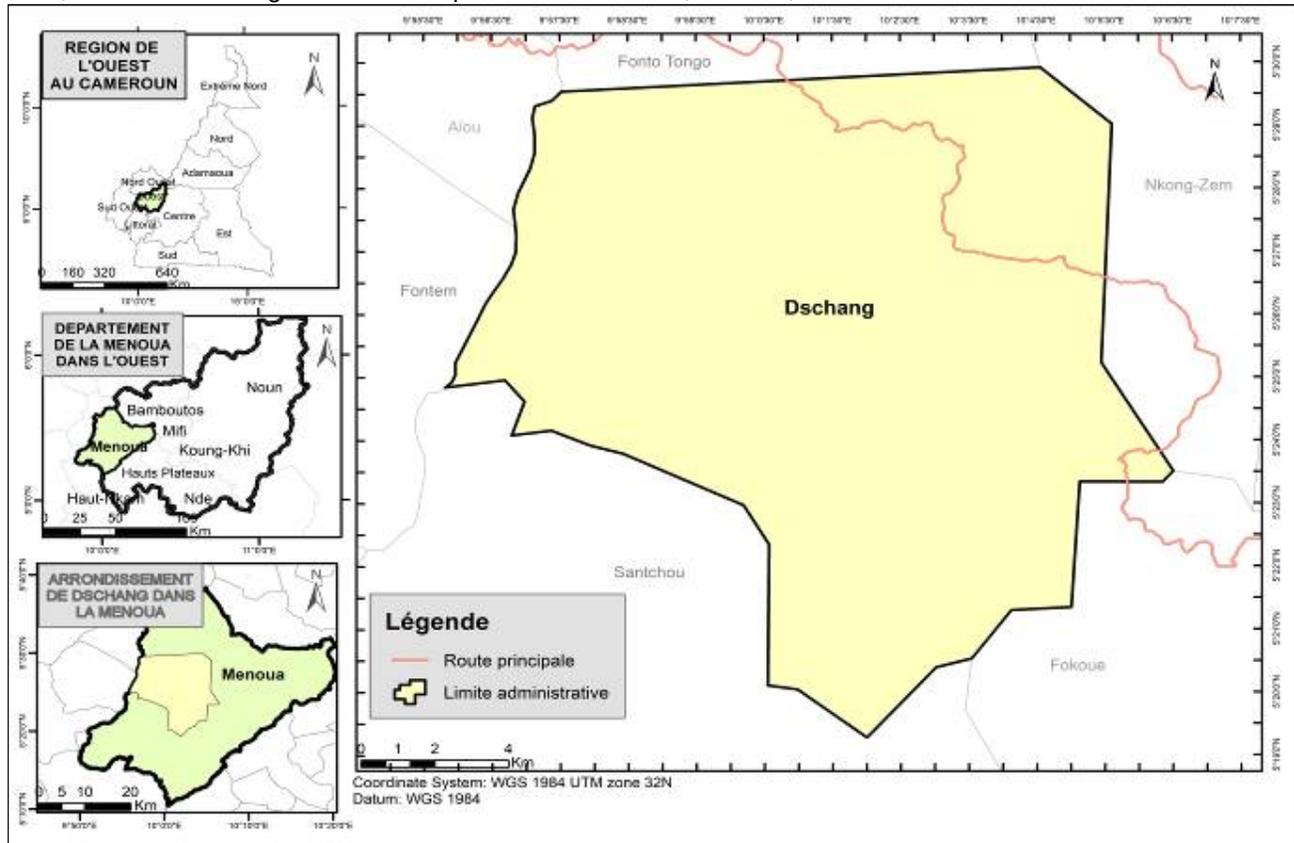
⁴ Perry, F.S Reichmanis, Marini, Becker (1981) Environmental power frequency magnetic fields and suicide, health phys.41, 267-277.

afin d'éviter des pertes de signal liée à l'obstacle que pourrait causer la topographie accidentée, les opérateurs ont multiplié dans la ville de Dschang des postes de stations de bases afin de bien assurer le relais de la communication.

A cause de son appartenance aux hauts plateaux de l'Ouest, la ville de Dschang est sous « l'empire de la

influences touchent particulièrement les fréquences en dessous de 30 MHz. Tandis que les hautes fréquences, utilisées par la téléphonie mobile, sont peu perturbées.

Cette configuration climatique donne lieu à des températures moyennes annuelles oscillant entre 18,9°C et 21,1°C et des vents modérés.



Carte 1: Localisation de la commune de Dschang

mousson » (Suchel, 1972) qui apporte ici 1900 mm de pluie par an. Par ailleurs, (Ndogmo, 1981) décrit ce climat comme un « pseudo-tropical d'altitude ». On observe une saison de pluie allant de mars à octobre et une saison sèche de novembre à février. Les pluies diurnes sont abondantes et régulières pratiquement toute l'année. Plus de 50% des pluies se produisent dans l'après-midi. Elles sont rares entre 2100TU et 0300TU (Tsalefac et Al 2003). Or les pluies constituent un rideau qui atténue le signal des micro-ondes (REJIBA, 2002). Le Tableau 2 montre que les valeurs diélectriques de l'eau peuvent constituer une source de perte de signal. De ce fait, ces heures (2100TU et 0300TU) constituent un couloir favorable à une communication fluide et d'échange de données d'importante capacité (voix et image).

Les orages avec pluies sont assez fréquents dans la région (Tsalefac 1983). Ces derniers constituent des décharges atmosphériques sous formes d'éclairs et sont considérées comme des bruits pour les ondes électromagnétiques. En effet, ils émettent des parasites dans une large bande de fréquence. Leurs

Par ailleurs, la présence d'arbres n'est pas assez dense pour dans ville pour inhiber quelque peu la propagation des ondes. Le sol de par ses propriétés, permet une bonne réflexion des ondes, qui assure une bonne communication. Toute fois la topographie contraignante des montagnes et les bruits atmosphériques, justifient la multiplication des équipements réseau afin d'assurer la desserte des clients.

2. Méthodes

Pour mener à bien notre étude, nous avons d'abord pris attache avec des acteurs de la téléphonie mobile ; ensuite, nous avons procédé à la collecte et l'analyse des données, pour une vérification empirique de nos théories et hypothèses.

- a. Attache avec les acteurs de la téléphonie mobile

Dès la finalisation des formalités avec l'Université de Dschang, nous avons déposé des requêtes en vue de recevoir des informations en rapport à notre sujet,

auprès de l'ART et des opérateurs de la téléphonie mobile. Cette démarche s'étant révélée infructueuse, nous avons eu des entretiens téléphoniques informels avec des techniciens de certains opérateurs de téléphonie mobile implantés dans la ville de Dschang.

b. Collecte des données

La collecte des données s'est faite sur le terrain pour avoir des données, après avoir recueilli des données indirectes à travers l'étude documentaire.

La collecte directe a constitué à :

- Prendre le positionnement de toutes les antennes relais de la téléphonie mobile, des institutions scolaires et universitaires, des formations sanitaires de la ville à l'aide d'un GPS ;
- Effectuer des prises de vues photographiques des antennes relais de la téléphonie mobile, des institutions scolaires et universitaires, des formations sanitaires de la ville à l'aide d'un appareil photo ;
- Réaliser des mesures dosimétriques de l'intensité du champ afin d'avoir la densité surfacique de puissance.

Pour les mesures, nous avons également tenu compte de règles de dosimétrie classique du champ lointain ou zone Fraunhofer. Cette théorie stipule que, lorsqu'on se trouve à un certain point éloigné du BTS, la puissance émise par l'antenne décroît selon l'inverse du carré de la distance. Cette variation est obtenue lorsque la distance « D » entre le point d'observation et la lisière de l'ouverture, supposée carrée, de dimension « d », est telle que :

$$D \geq \frac{2d^2}{\lambda}$$

Pour une mesure optimale, nous avons placé l'antenne du polluo-mètre sur le lobe de propagation principale de l'antenne. Pour la mesure des hautes fréquences, notre appareil intègre à la fois, le champ électrique et le champ magnétique et enfin, la valeur nette de la Densité Surfaccique de Puissance (DSP)⁵, exprimée en W/m² (Watt par mètre carré) ou en V/m (Volt par mètre) selon le paramétrage.

- Réaliser une enquête par questionnaire auprès de population. L'enquête ménage a été effectuée dans les mois de janvier à mars 2018 à l'aide d'un formulaire standardisé comportant à la fois des questions ouvertes et fermées afin de déterminer les lieux d'habitations, les habitudes d'utilisation des ménages vis-à-vis de la technologie mobile durant la période d'enquête, cela facilite l'identification certains facteurs comportementaux qui exposent les populations aux risques électromagnétiques.

L'échantillon est constitué de 100 personnes (75 d'entre eux habitent près des antennes relais et les 25 autres en sont éloignés).

La collecte indirecte a constitué à :

- Consulter des recherches écrites (ouvrages scientifiques et universitaires, rapport des télécommunications, etc.) ;

- Consulter les sites web en rapport avec le sujet, notamment ceux des opérateurs de la téléphonie mobile ;
- Utiliser les images rasters et de capteurs satellite et radars.

c. Traitement et représentation de données

La base de données géographiques a été traitée avec les logiciels : GPS Track Maker pour la conversion et la mise en forme des coordonnées géographiques. Tandis que, Erdas Imagine, a servi au référencement et de la télédétection des images satellitaires, leurs analyses sont réalisées grâce aux techniques d'ortho rectification, de classification. Enfin Erdas permet la visualisation et la sortie cartographique des images. Les questionnaires d'enquête ont été traités avec Spss. Les valeurs de mesures de champs quant à elles l'ont été avec le tableur Excel. Ce dernier a également servi à la représentation des graphiques et des tableaux. Le SIG ArcGIS a servi à la représentation des cartes de localisation de la ville et de celles issues de l'analyse spatiale. La modélisation du réseau cellulaire a été réalisée par ADOBE Illustrator. Et toutes les stimulations du réseau mobile par les logiciels Radio Mobile et Atoll Forks.

Tandis que, Erdas Imagine, a servi au traitement d'image et de la télédétection. Les questionnaires d'enquête ont été traités avec Spss. Les valeurs de mesures de champs quant à elles l'ont été avec le tableur Excel. Ce dernier a également servi à la représentation des graphiques et des tableaux. Le SIG ArcGIS a servi à la représentation des cartes de localisation de la ville et de celles issues de l'analyse spatiale Et toutes les stimulations du réseau mobile par les logiciels Radio Mobile et Atoll Forsk.

III. RESULTATS

1. Analyse de la vulnérabilité

Le Décret du 27 février 2013, relatif au seuil maximal d'exposition du public aux rayonnements électromagnétiques prévoit que l'implantation des équipements radioélectriques doit se faire à un rayon de 100 m des résidences. Cette recommandation définit comme résidences sensibles. :

- Les établissements scolaires,
- Les formations sanitaires,
- Les crèches.

Nous réaliserons une analyse de proximité avec ces différents paramètres et pour une meilleure lisibilité, présenterons une cartographie au cas par cas suivant les opérateurs officiels (CAMTEL, MTN, NEXTTEL, ORANGE).

a. Représentation des habitats sensibles à risque

L'ineffectivité de l'application de la loi camerounaise fixant les seuils de maxima d'exposition

⁵ L'équation reliant les trois variables est la suivante : DSP = champ électrique x champ magnétique

aux rayonnements électromagnétiques. Avant de contribuer éventuellement à une prise de décision des pouvoirs publics sur le sujet, cette représentation nous donne de faire certains constats :

- Pas un seul opérateur de téléphonie mobile présent dans la ville de Yaoundé, n'a respecté la distance normale d'implantation des stations de base ;
- Les infrastructures scolaires sont les plus touchées. Ceci laisse perplexé quand l'on sait que les enfants ont un organisme plus vulnérable aux rayonnements non ionisant ; quant aux formations sanitaires, une aggravation des maux due aux ondes est à craindre. Plus encore, une surexposition aux micro-ondes est à envisager par le biais des autres équipements émetteurs qui pourraient être présents au sein d'institutions comme l'hôpital de district ;
- L'université de Dschang est l'entité de l'éducation qui a le plus grand nombre de bâtiments dans la zone tampon ;
- Après les habitats sensibles situés en plein cœur de la ville, viennent ceux situés dans les hauteurs, sur les collines.

b. Représentation des résidences à risque

Les crèches, les établissements scolaires et les bâtiments des formations sanitaires ne sont pas les seuls touchés par l'implantation anarchique des antennes-relais de la téléphonie mobile dans la ville de Yaoundé.

Les résidences sont en nombre, plus touchées que les habitats sensibles à risque. Ceci nous permet de dégager quelques observations :

- Les résidences les plus concernées par la zone tampon sont en plein cœur de la zone urbaine. On peut déduire que, les antennes relais s'accroissent en nombre avec la concentration urbaine. Ainsi, les résidences situées dans les quartiers Azenla, Famla, Mechieu et Mingmeto sont les plus touchées.

L'emploi d'un système d'information géographique a permis de mettre en place une cartographie du risque électromagnétique incluant les édifices de la ville de Yaoundé. Cette cartographie est un support, un outil d'aide à la décision pour la gestion des risques électromagnétiques. L'exposition extérieure a été définie pour chaque antenne relais des opérateurs de téléphonie officiels présents dans la ville. Il en ressort que le niveau de risque électromagnétique reste en grande partie faible et négligeable. Toutefois, on observe l'occurrence non singulière d'une surexposition critique dans de nombreux sites. Lorsqu'on connaît les conséquences biologiques potentielles sur les êtres vivants, il serait primordial de mettre en place un niveau d'alerte conséquent. Du moment où l'on a intégré la pratique constante de la spatialisation des antennes relais, qui augmente la puissance d'émission et donc la nocivité, avec l'augmentation du nombre d'antennes pour satisfaire les abonnés, nous concluons qu'il est judicieux de baisser le seuil minimal d'exposition au Cameroun.

Plusieurs pays, à l'instar du Lichtenstein et la Suisse (0.6V/m), ont commencé à revoir à la baisse leur seuil d'exposition.

- Les résidences situées dans la périphérie et à forte densité sont également les plus près des stations de base de la téléphonie mobile ;
- Les résidences se trouvant dans les zones d'altitude sont aussi construites dans la zone à risque. Elles subissent une implantation de plus d'une antenne dans leur environnement et sont très souvent à une distance de moins de 100 m de plusieurs antennes relais. Par exemple les quartiers Azento,
 - Fianko II, le sommet du campus C, se trouvent dans cette situation.

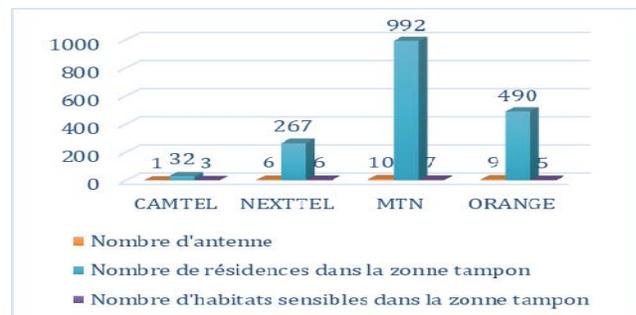
c. Statistiques des résidences à risque

Les statistiques des données se référant aux résidences permettent de se faire une idée de la dimension spatiale de l'impact des ondes sur notre habitat. Il est dès lors crucial de saisir le phénomène de risque, étudié au travers des représentations mathématiques. Notre section vise donc à produire un éventail de graphiques qui présentent la situation de l'impact des ondes électromagnétiques aussi bien au niveau des habitats sensibles, qu'au niveau des résidences des particuliers, ou encore de toute autre structure n'appartenant pas à la première catégorie.

Le graphique (1) suivant permet d'avoir une idée, sur les proportions des composantes des habitats sensibles qui sont construits à moins de 100m des antennes relais des différents opérateurs. Ainsi peut-on conclure du graphique suivant des points précis :

- 05% des formations sanitaires sont construites à moins de 100m antennes-relais ;
- 15% des établissements de l'éducation sont construits à moins de 100m des antennes-relais.

Selon le décret N° 2013/0403/PM du 27 février 2013, fixant les seuils maxima d'exposition aux rayonnements électromagnétiques, 5% des bâtiments



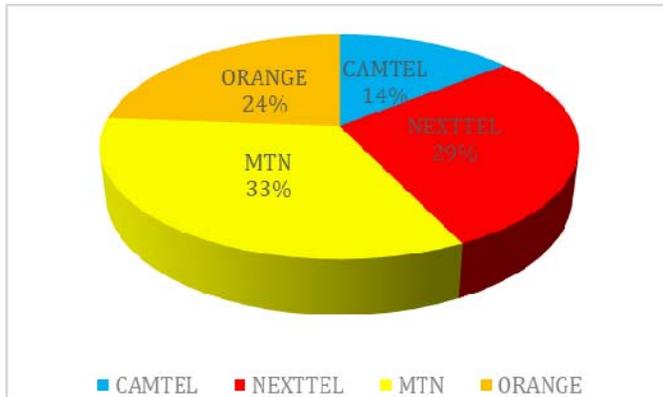
Graphique 1: répartition des bâtiments irradiés par les opérateurs

construits dans la ville de Yaoundé sont classés à risque. En effet, ils sont situés à une distance en deçà des normes de sécurité (à moins de 100m) des antennes relais de la téléphonie mobile. Par

conséquent, les populations qui y vivent, seraient sujettes aux effets nocifs de ces ondes sur la santé.

Les opérateurs de téléphonie mobile n'ont pas une même répartition spatiale de leurs antennes relais. Par conséquent, il serait intéressant de faire ressortir une illustration graphique, de l'ensemble du bâtiment construit à moins de 100m de leurs antennes.

Le graphique (2) ci-après illustre le nombre total de bâtiments construits dans les zones tampons des différents opérateurs de téléphonie mobile, ainsi que du nombre de BTS installé dans la ville. Il nous permet de constater que :



Graphique 2 : Bâtiments construits en zones tampons

- Les stations de base dans leur ensemble ne sont pas implantées dans une zone qui est à moins de 100m des bâtiments construits ;

- Le nombre élevé de BTS implanté entraîne une aussi un nombre accru de résidences construites dans la zone tampon. Ainsi l'opérateur MTN a dans sa zone tampon près de 992 résidences, soit environ 56% de résidences touchées dans l'ensemble de la ville de Dschang. On note quand même une certaine particularité : la frugalité dans la proportion entre le nombre de stations de base et la quantité de résidences touchées. C'est le cas de l'opérateur ORANGE qui, avec presque autant d'antennes relais installées dans la ville que MTN, touche moitié-moins de résidences que ce dernier, soit environ 490. Toutefois, dans l'ensemble il se classe à la deuxième place d'opérateur le moins discipliné dans l'implantation des BTS dans la ville de Dschang, avec 27% de résidences touchées. Quant aux deux derniers,

- NEXTEL et CAMTEL, avec respectivement 15% et 2%, ne dérogent pas à la règle qui veut que plus il y a de BTS implantés, plus le nombre de résidences touchées dans la zone tampon augmente ;

- L'impact des stations de base sur les habitats sensibles (crèches, écoles, formations sanitaires) suit en règle générale le schéma observé avec les résidences. Le graphique (2) montre le comparatif des habitats sensibles construits dans la zone tampon des différents opérateurs de téléphonie mobile de la ville.

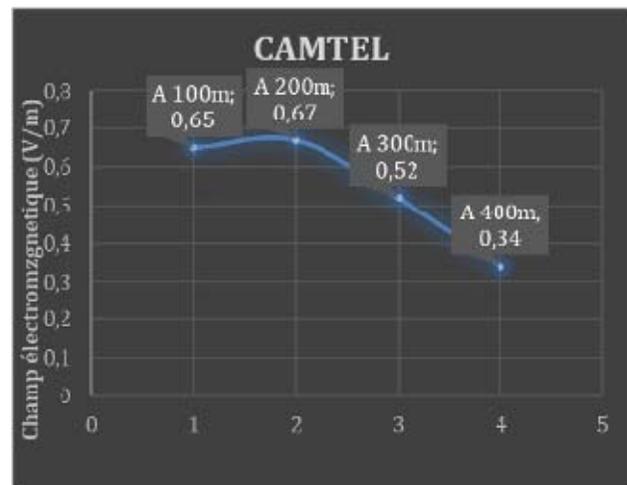
Alors que les opérateurs MTN et CAMTEL gardent respectivement la première (33%) et la dernière place (14%), ORANGE ne touche que 24% alors qu'il a plus d'antennes implantées que l'opérateur NEXTEL (graphique (5) ci-dessus).

2. Analyse de l'alea
 - a. Mesure du champ électromagnétique

Nous avons effectué, avec un pas de (100) cent mètre, des mesures du champ électromagnétique près des différentes stations de bases des différents opérateurs présents dans la ville de Dschang. Les chiffres obtenus, sont issus des moyennes de mesure des champs en des heures précises. Ces valeurs ont été agrégées avec le calcul des incertitudes afin de minimiser les erreurs.

- Champs des antennes CAMTEL

Le graphique (3) suivant retrace les valeurs mesurées du champ électromagnétique sur l'antenne de

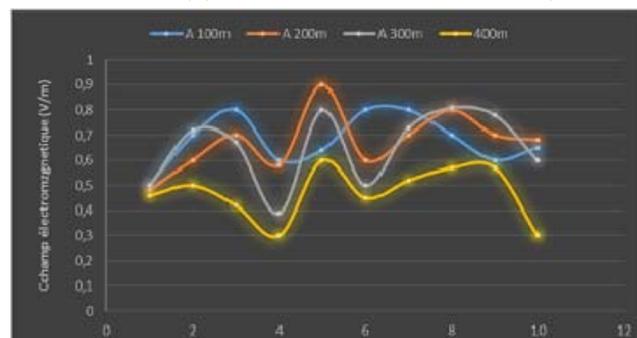


Graphique 3 : Valeur de champ de l'antenne CAMTEL

l'opérateur CAMTEL. La courbe des valeurs est croissante dans l'intervalle compris entre 100m à 200m. Puis, on observe qu'elle décroît significativement au bout de 300m de distance.

- Champs des antennes MTN

Le Graphique (4) suivant montre les valeurs moyennes



Graphique 4 : Valeur de champ de l'antenne MTN

mesurées du champ électromagnétique (en V/m) sur les antennes de l'opérateur MTN dans la ville de Dschang.

On peut en conclure que :

- De 100m à 200m, l'allure de la courbe reste assez constante autour de la 0,6 V/m ;
- A 300m, l'allure de la courbe a des valeurs qui fluctuent beaucoup autour de la valeur 0,6 V/m. Seulement, ces valeurs restent dans la majorité au-dessus de ce seuil ;
- A 400m, la courbe a une allure qui fluctue dans les valeurs allant de 0,3 à 0,6 V/m. Il est à noter cependant, que la courbe reste dans l'ensemble de cet intervalle dans des valeurs en-deçà de 0,6V/m.

- *Champs des antennes NEXTTEL*

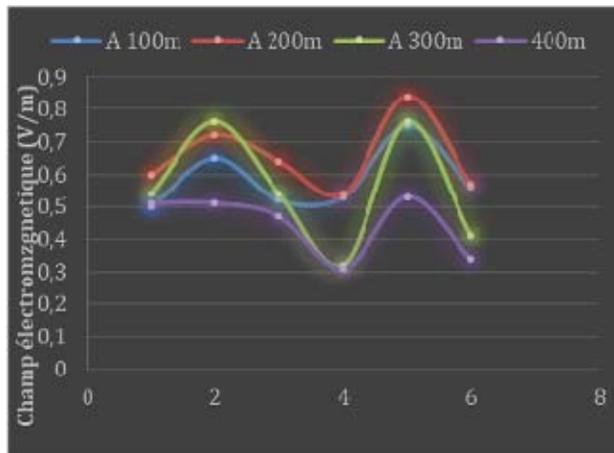
Le graphique (5) suivant montre les valeurs mesurées de champ électromagnétique (en V/m) sur les antennes de l'opérateur NEXTTEL dans la ville de Dschang

Ces intensités se répartissent dans leurs tendances centrales, avec une moyenne arithmétique de 0,56 V/m et une médiane de 0,54 V/m.

Dans l'ensemble, ces valeurs du champ électromagnétique, sont au-dessous des normes établies par les chercheurs indépendants (0,61 V/m). La valeur modale est 0,54 V/m. Même à plus de 300m, les valeurs des tendances centrales demeurent dans la norme. A cette distance on obtient une moyenne de : 0,56 V/m et une médiane de : 0,57 V/m. Le graphique (5) suivant, montre l'allure de la courbe des valeurs du champ électromagnétique mesuré.

On en déduit que :

- De 100 m à 300 m les valeurs du champ vont fluctuer au tout de 0,6 V/m. Il est observé par endroits plusieurs maxima au-dessus de cette valeur ;
- A 400 m, l'allure de la courbe du champ est tout aussi fluctuante. Toutefois, toutes ces valeurs sont en deçà de 0,6 V/m.



Graphique 5 : Valeur de champ de l'antenne NEXTTEL

- *Champs des antennes ORANGE*

Le graphique (6) suivant présente les valeurs mesurées de champs électromagnétiques exprimées en V/m proche des antennes relais de l'opérateur ORANGE dans la ville de Dschang.

Ces intensités se répartissent dans leurs tendances centrales, avec une moyenne arithmétique s'élevant à 0,60 V/m et d'une médiane de 0,61V/m.

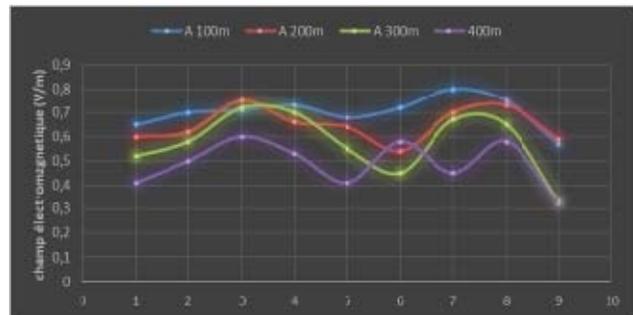
Dans l'ensemble, ces valeurs du champ électromagnétique, sont au-dessus des normes établies par les chercheurs indépendants (0,61 V/m). Même à plus de 300m, les valeurs des tendances centrales demeurent dans la norme. A cette distance on obtient une moyenne de : 0,64 V/m et une médiane de : 0,66 V/m.

On constate que :

A 100 m, l'allure de la courbe fluctue peu et reste en grande partie au-dessus de la norme ;

De 200 m à 300 m, l'allure des courbes fluctuent beaucoup autour de 0,6 V/m. Elles ont des maxima au-dessus de cette valeur ;

A 400 m, la courbe reste constamment en deçà de la valeur 0,6 V/m.



Graphique 6 : valeur de champ de l'antenne ORANGE

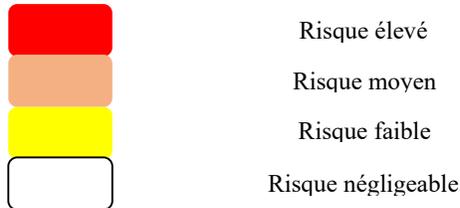
3. Représentation des habitats à risque

Les résultats qui découlent de ces travaux nous permettent de construire une grille de risques (Tableau 1). Cette dernière, permettra par le truchement de la combinaison de nos deux facteurs (aléa et vulnérabilité), d'établir les niveaux de risques aux rayonnements non ionisants des antennes relais de la téléphonie mobile. Cette grille intègre l'indicateur spatial de distance (qui définit la vulnérabilité) et l'indicateur spatial d'intensité du champ (qui définit l'aléa).

Leur croisement permettra de mettre en exergue une classification des zones supposées à risque. Les données issues de la vulnérabilité seront discrétisées afin de faciliter et de garantir une meilleure représentation des données.

Tableau 1 : grille de risques

Distance à l'antenne (m)	Intensité du champ électromagnétique (V/m)			
	0,9	0,8	0,7	0,6
100				
200				
300				
400				



Le SIG (Système d'Information Géographique), nous permettra donc de confectionner une cartographie des risques électromagnétiques dans la ville de Dschang.

Le graphique (7) suivant permet d'avoir une représentation de ce risque. Plusieurs constats peuvent être dégagés :

- Les antennes des différents opérateurs de la téléphonie mobile installées dans la ville de Yaoundé, sont toutes le foyer d'un risque électromagnétique de niveau plus que négligeable ;

- Les antennes situées dans le quartier Mingmeto sur l'immeuble André Kana d'un part, celui au sein de la structure universitaire dans le domaine du rectorat et puis celui situé au campus 'A' près de la scolarité de la Faculté des Sciences, sont les seules qui présentent chacune les trois niveaux de nocivités importantes (élevé, moyen, faible) ;

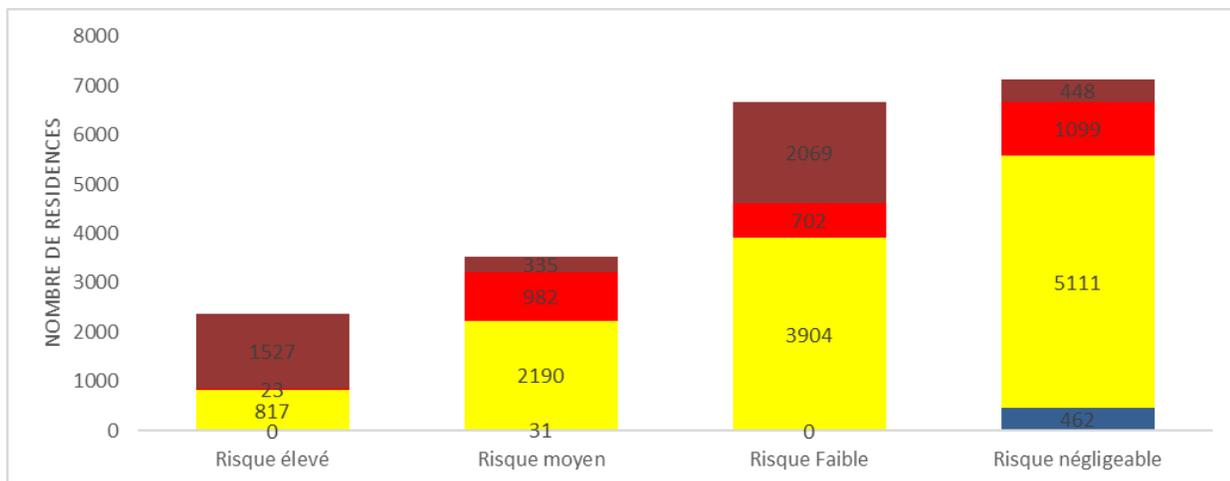
- Les antennes installées dans le quartier Fiankop II au niveau de l'entrée de la chefferie Foto, dans l'enceinte de l'Eglise Evangélique du Cameroun du même quartier, ainsi que celle du siège de Camtel, sont les moins nocives. Elles produisent un risque de niveau faible et négligeable ;

- En règle générale, les antennes qui sont proches du centre-ville induisent majoritairement le problème de risque électromagnétique important. Ce constat permet de conforter l'idée que les antennes relais augmentent en nombre et en puissance au fur et à mesure que la concentration urbaine s'accroît ;

- Les antennes relais voisines, conduisent la plupart du temps à une surexposition des maisons construites trop proches de leur environnement, à cause de leur nocivité ;

- La distance seule ne peut être appliquée de manière mécanique pour justifier le fait qu'un habitat sensible ou qu'une résidence serait dans une zone à risque. L'aléa et la vulnérabilité doivent être concomitamment pris en compte pour décider du lieu d'implantation d'une antenne relais.

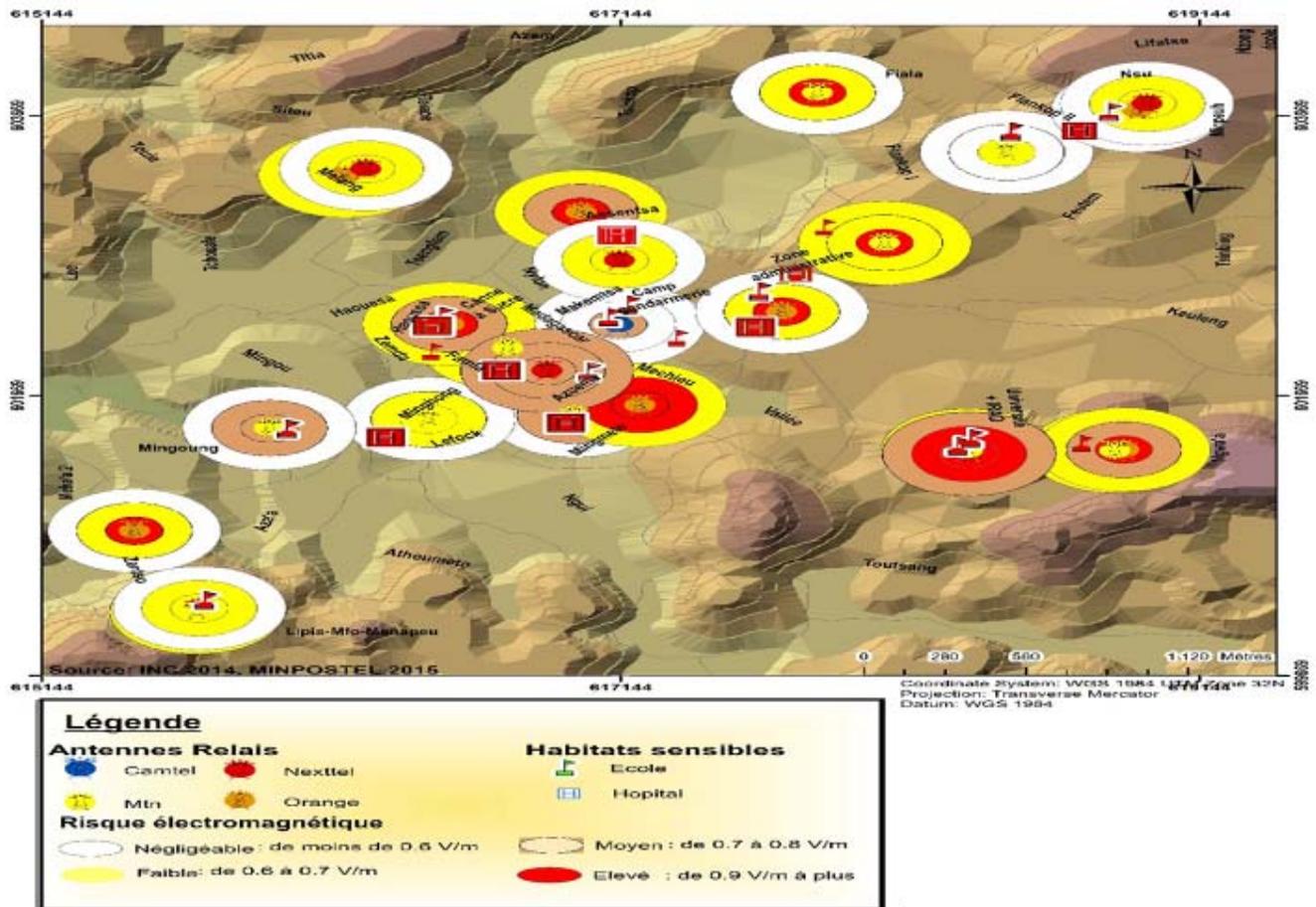
D'un autre côté, cette carte nous permet de définir le niveau de risque auquel appartiennent les différents bâtiments établis dans la ville de Yaoundé. Il s'agit d'une part des habitats sensibles et d'autre part, des résidences diverses.



Graphique 7 : niveaux de risques induits par opérateurs

Le carte (2) ci-dessous reprend le nombre total de résidences recensées par traitement cartographique et

Par conséquent, les opérateurs, pour satisfaire l'offre, feront usage d'une spatialisations au niveau de



Carte 2: risque électromagnétique

statique, puis catégorisées selon le niveau d'exposition au risque lié aux ondes électromagnétique de la téléphonie mobile.

Les antennes des différents opérateurs n'ont pas une nocivité semblable. D'une manière générale, le risque élevé dans la ville de Dschang a le bas indice parmi les niveaux de risque électromagnétique. La grande majorité du risque se concentre au niveau dit « faible » et « négligeable ». Les stations de base de l'opérateur CAMTEL irradient le moins les résidences de la ville de Yaoundé puisqu'elles induisent essentiellement les risques négligeables. Tandis que MTN, ORANGE et NEXTTEL viennent respectivement en deuxième et troisième position en ce qui concerne la pollution électromagnétique. Leurs stations de base constituent la principale source de risque électromagnétique élevé et moyen. Même si, en grande partie, le niveau de risque reste faible ou négligeable dans l'ensemble de notre zone d'étude, il serait irraisonnable de décliner la mise en place d'une stratégie ou d'une politique de veille face au risque électromagnétique. Surtout que, théoriquement, la nocivité a tendance à croître avec le nombre d'abonnés et le nombre d'antennes relais en interconnexion. La ville de Dschang ne cesse de recevoir des habitants ayant des appétits grandissant dans l'utilisation des services de la technologie mobile.

l'antenne. Bien plus, ils multiplieront les stations de base dans toute la ville.

L'on constate également qu'il y a plusieurs établissements surexposés au champ électromagnétique. C'est le cas par exemple du bloc administratif de la FASA du Campus qui se retrouve sous le champ des antennes d'opérateurs différents, avec des niveaux d'exposition élevés. Pour mieux saisir l'ampleur du phénomène, il serait donc judicieux de tenir compte de l'ensemble conjugué des sources d'exposition.

Le traitement cartographique de ces données nous permet de faire ressortir ce que nous pouvons appeler « le couloir de la pollution électromagnétique » dans la ville de Yaoundé.

IV. DISCUSSION

Avec la contribution, d'une dosimétrie des champs électromagnétiques autour de toutes les antennes relais présentes dans la ville, des données issues d'une enquête de terrain, de plusieurs analyses spatiales et statistiques notre étude est parvenues à des résultats précis. Tout d'abord, ces

résultats sont en faveur d'une mise en place de norme plus stricte. Ceci par le biais d'une distance d'exposition plus conséquente et d'un minima d'exposition plus bas. Dans l'optique d'effectuer une utilisation judicieuse de ces nouvelles normes, nos résultats peuvent être un support pour une prise de décision dans le cadre de la planification et de la gestion de l'implantation des antennes relais dans les zones aménagées.

Ce travail a fait ressortir des niveaux de risques allant graduellement du palier le plus élevé à celui de négligeable. La norme de densité surfacique de puissance de $0,1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit $0,6\text{ V/m}$ a servi de base de mesure sur le terrain, puis de traitement de données pour ce travail. Malgré cela, cette base de travail ne va pas en droite ligne avec la loi camerounaise sur les minima d'exposition aux champs des ondes électromagnétiques, qui propose plutôt une utilisation de 61 V/m comme base de dosimétrie de champ électromagnétique. Pourtant de nombreux travaux ont établi des risques biologiques et sanitaires avérés avec une mesure de champ d'onde à $0,6\text{ V/m}$. Les scientifiques indépendants à Salzbourg⁶ avaient déjà impulsé cette idée en 2000. C'est le cas de l'étude menée par les scientifiques indépendants. Le rapport Bio-initiative (dernière version de 2012) consigne les résultats de 1800 études sur les nocivités potentielles des ondes sur l'homme. Ce premier rapport, dans sa version de 2007, avait déjà été validé par l'Agence Européenne de l'Environnement. La conclusion de leurs travaux montre que le seuil de $0,6\text{ V/m}$ correspond au niveau acceptable en-deçà duquel les effets biologiques et sanitaires sont négligeables chez les êtres vivants. Ils préconisent qu'en vue d'une protection préventive de la santé publique, dans l'usage des microondes pulsées, une norme d'exposition de maximum $0,614\text{ Volt/m}$ devrait être adoptée. Depuis lors, de nombreuses études utilisant une dosimétrie pareille et obtenant les mêmes résultats ont rejoint l'intérêt des scientifiques de Salzbourg. Dès lors, ils recommandent dans des Résolutions et des Appels divers, des normes beaucoup plus basses que les normes officielles décrétées par leur pays ; notamment, l'Appel de Freiburg⁷ en octobre 2002, l'Appel de Bamberg⁸ en mai 2004, l'Appel d'Helsinki⁹ en janvier 2005, l'Appel de Lichtenfels¹⁰ en juillet 2005, l'Appel

de Haibach¹¹ en octobre 2005, la Résolution de Benevento¹² en septembre 2006, la liste n'est pas exhaustive.

S'appuyant sur ces études et appels, les normes en matière de minima d'exposition décrétées en juin 2013 par le législateur camerounais ne sont pas assez strictes pour protéger ses citoyens des risques électromagnétiques. Fort de cela, notre étude recommande de définir une distance d'exposition suffisamment grande entre les antennes relais et les habitats sensibles

La loi de juin 2013 ne se préoccupe pas d'une exposition extérieure (c'est-à-dire induite par les antennes relais) au-delà de 100 m. Pourtant notre étude a montré qu'il y a de nombreux sites dans la ville de Yaoundé qui produisent une pollution électromagnétique importante à plus de 100 m des constructions anthropiques.

Des résultats similaires ont été trouvés suite à des travaux réalisés dans de nombreux pays. Une étude épidémiologique menée en France a aussi relevé chez des riverains d'antennes de téléphonie mobile, des plaintes en rapport avec l'exposition aux microondes (Santini R. et al)¹³. Dans cette étude, deux groupes avaient été constitués. Le premier comprenait les habitants vivant dans un périmètre de 300 m autour de l'antenne. Le second, groupe contrôle, comprenait des personnes vivant au-delà de 300 m de l'antenne ou dont le domicile était situé hors de l'emprise d'une station relai. Des plaintes en rapport avec l'exposition aux microondes ont pu être relevées dans le groupe habitant dans un périmètre de 300 m autour de l'antenne. Certaines plaintes étaient significativement plus souvent exprimées uniquement à certaines distances à l'antenne :

- De 0 à 10 m de l'antenne : nausées, perte d'appétit, perturbations visuelles, difficulté de déplacement ;
- De 10 à 100 m de l'antenne : irritabilité, tendance dépressive, difficultés de concentration, perte de mémoire, vertige, baisse de la libido ;
- De 100 à 200 m de l'antenne : maux de tête, sommeil perturbé, sentiment d'inconfort, problèmes cutanés ;
- De 200 à 300 m de l'antenne : fatigue.

Cette étude a conclu que le nombre de symptômes rapportés était plus élevé à proximité de la station relai que lorsqu'on s'en éloignait.

⁶ Résolution de Salzbourg 7-8 juin 2000 ; <http://www.land-sbg.gv.at/celltower> [visite le 18 mai2015]

⁷ Appel de Freiburg 9-10-2002 ; <http://www.igumed.de/ap,11.htm>, visite le 18 mai2015]

⁸ Appel de Bamberg du 10 juillet 2000 ; <http://www.alerte.ch/sante/bamberg.php>, [visite le 18 mai2015]

⁹ Appel d'Helsinki du 01-01-2005 EMF-Team Finland P.O. Box 1040. FIN-04431 JARVENPAA. <http://www.hese-project.org>, [visite le 18 mai2015]

¹⁰ Appel de Lichtenfels de Juillet 2005 ; http://www.elektrosmognews.de/news/20050703_LichtenfelsAppell.pdf, [visite le 12 mai2015]

¹¹ Appel de Haibach du 26-10-2005 ; <http://www.kombas.ch/downloads/haibacherappell.pdf>, [visite le 18 mai2015]

¹² Résolution de Benevento du 19 septembre 2006 ; <http://www.icems.eu>, [visite le 18 mai2015]

¹³ SANTINI R., SANTINI P., SEIGNE M., DANZE J.M., « Symptômes exprimés par des riverains de stations relais de téléphonie mobile. » Presse Med., 2001 Nov. 3 ; 30 (32) : 1594. Institut national des sciences appliquées, Lyon.

Des travaux antérieurs de SANTINI (Santini R, 1998)¹⁴ démontrent que la vulnérabilité des personnes augmente avec durée d'exposition aux ondes électromagnétiques des antennes relai et que l'exposition aux champs électromagnétiques des micro-ondes peut provoquer chez l'être humain : maux de tête, vertiges, picotements, sensation que la nuque se resserre, mal-être, ... Cependant, ce n'est qu'après un certain temps d'exposition et parfois après plusieurs années, que des symptômes plus particuliers apparaissent, mais avec ce temps de latence, le lien entre la symptomatologie et l'exposition chronique aux micro-ondes n'est souvent pas fait.

Par ailleurs, nous avons trouvé que plusieurs écoles maternelles privées et publiques et plusieurs hôpitaux avaient un niveau d'exposition élevé. Des enquêtes épidémiologiques ont montré de grands risques de maladies sur des personnes saines exposées. Au Canada, Deadman et al. (1999)¹⁵ ont mesuré, dans le cadre d'une étude épidémiologique, l'exposition aux champs électromagnétiques auprès d'enfants de 5 provinces. Dans l'étude, 214 enfants font l'objet des mesures d'exposition en milieu scolaire. Il fait état de plusieurs troubles neurologiques chez ces enfants.

L'intérêt fondamental de notre recherche est d'apporter des résultats précis pouvant contribuer à l'élaboration d'une stratégie de lutte préventive contre les pollutions électromagnétique, notamment, par la facilitation d'une action diligente et efficace des pouvoirs publics, des organismes décisionnels de santé, sur la base de données identifiant les sites avec des niveaux différents expositions.

La communauté scientifique pourrait trouver en ces recherches quelques éléments pouvant servir de supports à des recherches plus approfondies, spécialement dans le domaine de la physique, de l'étude des risques et dans le cadre d'études d'impact environnemental et social.

Les cartes de risques électromagnétiques pourraient ainsi représenter un outil de choix pour améliorer la prise de décisions dans le domaine de la santé, de la prévention du risque et dans le suivi des épidémies par création d'un système d'alerte. Cette carte de risques définirait en détail les positions des antennes relais, avec une représentation exhaustive des quartiers et des bâtiments selon leur niveau d'exposition. Les antennes relais constituent la principale source « d'exposition imposée », car elles irradient constamment leurs riverains sans demander leur avis. Au bout de ce processus il serait important

que le législateur camerounais revienne à la baisse les normes sur les minimas d'exposition de champ électromagnétique afin de mieux protéger les populations.

Quelques limites apportent cependant un bémol à notre travail : il serait judicieux d'approfondir le lien entre les niveaux de risque observés et le caractère diélectrique des bâtiments construits dans les zones étudiées pour vérifier l'hypothèse d'une relation causale. Dans le même ordre d'idées, nous n'avons pas établi un modèle numérique de surface, qui aurait eu le mérite de prendre en compte la quantité d'ondes atténuées par les phénomènes d'interférences et diffractions. Il n'existe pas de suivi tacite entre les populations installées à proximité des antennes relais pendant une longue période et la définition des niveaux de risques établis dans ce travail. Nous n'avons pas en notre possession le nombre exact de personnes habitant dans chaque maison, lequel aurait pu nous permettre de définir avec des valeurs proches de la réalité, la population réellement touchée par la pollution électromagnétique.

V. CONCLUSION

Ce travail met en évidence une cartographie du risque électromagnétique incluant les édifices de la ville de Dschang. Cette cartographie est un support, un outil d'aide à la décision pour la gestion des risques électromagnétiques. L'exposition extérieure a été définie pour chaque antenne relais des opérateurs de téléphonie officiels présents dans la ville. Il ressort que le niveau de risque électromagnétique reste en grande partie faible et négligeable. Toutefois, on observe l'occurrence non singulière d'une surexposition critique dans de nombreux sites. Lorsqu'on connaît les conséquences biologiques potentielles sur les êtres vivants, il serait primordial mettre en place un niveau d'alerte conséquent. Du moment où l'on a intégré la pratique constante de la spatialisation des antennes relais, qui augmente la puissance d'émission et donc la nocivité, avec l'augmentation du nombre d'antennes pour satisfaire les abonnés, nous concluons qu'il est judicieux de baisser le seuil minimal d'exposition au Cameroun. Plusieurs pays, à l'instar du Lichtenstein et la Suisse (0.6V/m), ont commencé à revoir à la baisse leur seuil d'exposition.

¹⁴ SANTINI R., « Téléphones mobiles cellulaires et stations relais. Les risques pour la santé. Arguments scientifiques et conseils pratiques » Coll. Resurgence. 208 pages. Edit. Marco Pietteur 1998. ISBN 2-87211-022-

¹⁵ Deadman JE, Armstrong BG, McBride ML, Gallagher R, Thériault G. Exposures of children in Canada to 60-Hz magnetic and electric fields. *Scand J Work Environ Health* 25:368-375 (1999).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Appel de Freiburg 9-10-2002 ; : <http://www.igumed.de/ap, ll.htm>, visite le 18 mai2015]. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] Appel de Bamberg du 10 juillet 2000 ; <http://www.alerte.ch/sante/bamberg.php>, [visite le 18 mai2015].
- [3] Appel d'Helsinki du 01-01-2005 EMF-Team Finland P.O. Box 1040. FIN-04431 JARVENPAA. <http://www.hese-project.org>, [visite le 18 mai2015].
- [4] Appel de Lichtenfels de Juillet 2005 ; http://www.elektrosmognews.de/news/20050703_LichtenfelsAppell.pdf, [visite le 12 mai2015].
- [5] Appel de Haibach du 26-10-2005 ; <http://www.kombas.ch/downloads/haibacherappell.pd>, [visite le 18 mai2015]
- [6] ACGIH (1996). Threshold limit values for chemical sub-stances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- [7] AFSSET and OMS, Instauration d'un dialogue sur les risques dus aux champs électromagnétiques. Genève, OMS, 2008, 405p
- [8] Bortkiewicz, A., et al (2004). Subjective symptoms reported by people living in the vicinity of cellular phone base stations: review, Med. Pr., 455p.
- [9] Buskirk, J et Ostfeld, R. (1998). Habitat heterogeneity, dispersal, and local risk of exposure to Lyme disease. Ecological Applications. Pp. 365-378.
- [10] Champau, J. Villes et campagnes du Cameroun de l'ouest, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, PARIS, 1983.
- [11] Deadman JE, Armstrong BG, McBride ML, Gallagher R, Thériault G. Exposures of children in Canada to 60-Hz magnetic and electric fields. Scand J Work Environ Health 25:368-375 (1999).
- [12] Dongmo JL (1981). Le dynamisme Bamiléké. Accumulation humaine, expansion spatiale et réussite économique d'un peuple de l'Ouest-Cameroun, CEPER, Yaoundé.
- [13] Deadman J., Armstrong Bg, Mcbride Ml, Gallagher R, Thériault G (1999). "Exposures of children in Canada to 60-Hz magnetic and electric fields. Scand J Work Environ Health". pp 368-375.
- [14] ISDR (2007), Towards a Culture of Prevention: Disaster Risk Reduction Begins at School: Good Practices and Lessons Learned, UN/ISDR-11-2007-Geneva.
- [15] Ngouffo, R. (1989). Les Monts Bamboutos, environnement et utilisation de l'espace. Géographie, Université de Yaoundé I. Doctorat 3ème cycle, 1989.
- [16] Perry, F.S Reichmanis, Marini, Becker (1981) Environmental power frequency magnetic fields and suicide, health phys.41, 267-277.
- [17] PRIARTEM. (2009). « Règlementation des implantations d'antennes relais de téléphonie mobile ». La lettre N°23 Mars, pp. 2-6.
- [18] Résolution de Salzburg 7-8 juin 2000 ; <http://www.land-sbg.gv.at/celltower> [visite le 18 mai2015].
- [19] Résolution de Benevento du 19 septembre 2006 ; <http://www.icems.eu>, [visite le 18 mai2015].
- [20] SANTINI R., SANTINI P., SEIGNE M., DANZE J.M., « Symptômes exprimés par des riverains de stations relais de téléphonie mobile. » Presse Med., 2001 Nov. 3 ; 30 (32) : 1594. Institut national des sciences appliquées, Lyon.
- [21] SANTINI R., « Téléphones mobiles cellulaires et stations relais. Les risques pour la santé. Arguments scientifiques et conseils pratiques» Coll. Resurgence. 208 pages. Edit. Marco Pietteur 1998. ISBN 2-87211-022.
- [22] Tsalefac M., et al. "Influence of 400, 900 and 1900 MHz electromagnetic fields on Lemna minor growth and peroxidase activity. Bioelectromagnetics". Faculty of Science, University of Zagreb, HR 10000 Zagreb, Croatia, Department of botany. 3: 2006, pp.185-193..
- [23] K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished YOGO, Emmanuel D. KAM. "DROIT ET POLITIQUE DE GESTION DES CATASTROPHES ET RISQUES AU CAMEROUN." Environmental Law and Policy in Cameroon - Towards Making Africa the Tree of Life | Droit Et Politique De L'environnement Au Cameroun - Afin De Faire De L'Afrique L'arbre De Vie, edited by Oliver C. Ruppel and Emmanuel D. Kam Yogo, 1st ed., Nomos Verlagsgesellschaft MbH, Baden-Baden, Germany, 2018, pp. 312–332.