

ESTIMATION DE LA VISIBILITÉ MÉTÉOROLOGIQUE À L'AIDE DES LIENS MICRO-ONDES COMMERCIAUX DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Djibo Moumouni ^{1,*}, Ouedraogo Wendyam Boris Serge ¹, Doumounia Ali ^{1,2}, Sanou Serge ^{1,3},
Sawadogo Moumouni ¹, Guira Idrissa ⁴, Zougmore François ¹

¹ Laboratoire de Matériaux et Environnement, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso ;

² Institut Des Sciences, Ouagadougou, Burkina Faso

³: Autorité de Régulation des Communications Électronique des Postes , Ouagadougou Burkina Faso

⁴: Telecel Faso SA, Ouagadougou, Burkina Faso

* gdjibom@yahoo.fr

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 15 novembre 2020

Réçu en format révisé le : 01 juin 2021

Accepté le : 21 juin 2021

Mots-Clés: Signal micro-onde commercial,
Atténuation, Poussière, Visibilité.

Keywords: Commercial microwave signal,
Attenuation, Dust, Visibility.

RE S U M E

Plusieurs facteurs peuvent atténuer le signal radio lors de son parcours entre une antenne émettrice et une antenne réceptrice. On peut citer comme sources d'atténuation : la végétation, les gaz de l'atmosphère, le brouillard, la vapeur d'eau, les instruments de transmission, la pluie, la température, etc... Les sources d'atténuation diffèrent selon le climat et le relief de chaque continent voire de chaque pays. Dans ce travail nous cherchons à montrer qu'il y a un lien entre l'atténuation du signal micro-onde et la visibilité météorologique en présence de poussière. La visibilité météorologique est un facteur très important pour la sécurité des transports routiers, maritimes, ferroviaires et aériens. En présence de poussière la visibilité est fortement réduite et on constate aussi une forte atténuation du signal micro-onde se propageant entre deux antennes. En réalisant une régression linéaire sur le nuage de point atténuation-visibilité, nous proposons une méthode d'estimation en temps réel de la visibilité connaissant l'atténuation des signaux micro-ondes. Une mesure de corrélation entre la visibilité estimée par notre méthode à partir des données réelles d'atténuation de l'opérateur de téléphonie mobile Telecel Faso SA (Burkina Faso) et les mesures de visibilité de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso a donné un coefficient de corrélation de 0.86.

ABSTRACT

Several factors can attenuate radio signal between transmitting and receiving antenna. One can cite: vegetation, atmospheric gases, fog, water vapor, transmission instruments, rain, temperature, etc... The sources of attenuation differ according to the climate and the relief of each continent or even each country. In this work we aim to show that there is link between microwave signal attenuation and weather visibility in the presence of dust. Weather visibility is a very important factor for the safety of road, sea, rail and air transportation. In the presence of dust, the visibility is strongly reduced and there is also a strong attenuation of the microwave signal propagating between two antennas. By performing a linear regression on the attenuation-visibility scatter plot, we propose a method for real-time estimation of the visibility knowing the microwave signals attenuation. A correlation measurement between the visibility estimated by our method from the real attenuation data of the mobile phone operator Telecel Faso SA (Burkina Faso) and the visibility measured by the National Meteorological Agency of Burkina Faso (ANAM) gave a correlation coefficient of 0.86.

I. INTRODUCTION

En météorologie, la visibilité est définie comme la plus grande distance dans une direction donnée à laquelle il est possible de voir et d'identifier un objet noir proéminent contre le ciel à l'horizon en plein jour, ou la plus grande distance à laquelle il pourrait être vu et

reconnu la nuit si l'éclairage général était porté au niveau de la lumière normale du jour (N. David et al., 2013).

Plusieurs méthodes ont été proposées pour l'estimation de la visibilité météorologique en période de brouillard. On peut distinguer quatre principales approches qui sont : l'approche basée sur un observateur humain, celle exploitant la télédétection par laser (LIDAR), les méthodes basées sur des visionneuses optiques, les méthodes utilisant des caméras (H. Chaabania et al. 2018 ; O. Kolawole et al., 2019 ; N. David et al., 2013, 2015 ; N. Hautière et al., 2011). Plus récemment des méthodes exploitant les micro-ondes commerciales des opérateurs de téléphonie ont été proposées pour estimer la visibilité météorologique en présence de brouillard (N. David et al., 2013, 2015).

Dans ce travail nous cherchons à utiliser la technique des micro-ondes pour estimer la visibilité météorologique en présence de poussière. Nous montrons d'une part qu'il y a une relation entre l'atténuation du signal micro-onde entre deux antennes de télécommunications et la visibilité météorologique en présence de poussière. D'autre part nous établissons un lien linéaire entre la visibilité et l'atténuation due à la poussière. Après avoir décrit la méthode, nous présenterons les résultats obtenus lors d'une saison d'harmattan au Burkina Faso.

II. MATERIEL ET METHODES

La figure 1 montre le système d'acquisition utilisé pour l'expérimentation.

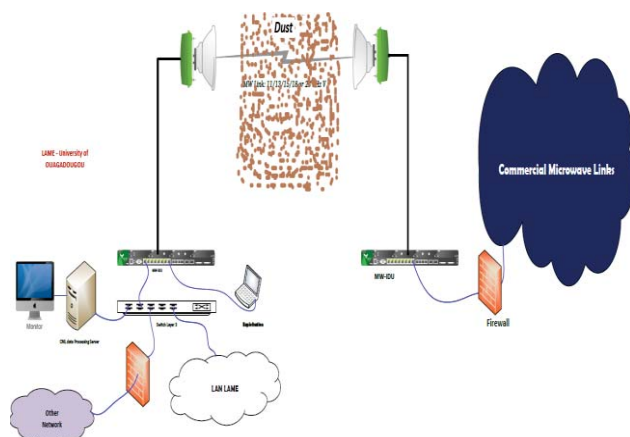


Figure 1 : Système d'acquisition des niveaux des signaux émis (T_x) et reçu (R_x) sur des liens micro-ondes commerciales de Telecel Faso.

Les données utilisées dans ce travail sont issues de l'opérateur de téléphonie mobile Telecel Faso (Burkina Faso) sur la période de novembre 2019 à avril 2020. Elles ont été collectées par le système d'acquisition illustré ci-dessus. Ce système d'acquisition est installé au Laboratoire Matériaux et Environnement (LA.ME) de l'Université Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso). Tous les liens sont localisés à Ouagadougou (Burkina Faso), ils émettent à une fréquence comprise entre 6 GHz et 13 GHz, et ont une longueur variante entre 0,88 km à 5,79 km. Pour les liens micro-ondes commerciales (CML pour Commercial Microwave Link), la puissance émise (T_x) est typiquement constante (puissance fixée par l'opérateur de

téléphonie) tandis que la puissance reçue (R_x) varie suivant les conditions climatiques. Ces puissances sont enregistrées par notre système d'acquisition à intervalle d'une minute.

Lorsque le signal émis entre deux antennes de télécommunications rencontre une nappe de poussière, il perd en puissance à cause de l'effet de la poussière. Cette atténuation supplémentaire due à la poussière est utilisée pour estimer la visibilité météorologique.

Pour déterminer l'atténuation supplémentaire due à la poussière sur une liaison micro-onde commercial de télécommunications, il est nécessaire de connaître l'atténuation initiale le long du trajet due aux autres phénomènes, notamment la propagation en espace libre. L'atténuation totale entre les deux antennes de télécommunications en présence uniquement de poussière peut être modélisée par l'équation (1) :

$$y(t) = T_x - R_x(t) = \delta(t) + b \quad (1)$$

Dans cette équation, $y(t)$ [dB] est l'atténuation totale entre les deux antennes, elle est mesurée par le système d'acquisition. $\delta(t)$ [dB] est l'atténuation supplémentaire due à la poussière. b [dB] représente l'atténuation due à la propagation en espace libre encore appelée ligne de base. Pour une liaison donnée dont on connaît la fréquence d'émission et la longueur du lien, la ligne de base est indépendante du temps et est déterminée par l'équation (2) (Rec. UIT-R P.525-3, 2016).

$$b = L_F(dB) = 32.4 + 20\log_{10}(d_{km}) + 20\log_{10}(f_{GHz}) \quad (2)$$

Ainsi, $y(t)$ et b étant connus, on détermine l'atténuation due à la poussière par l'équation (3):

$$\delta(t) = y(t) - b \quad (3)$$

Les données d'atténuation, $\delta(t)$, due à la poussière sont ensuite corrélées avec les mesures de visibilité fournies l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso, pour déterminer les paramètres de la droite d'ajustement entre ces deux grandeurs. Ces paramètres peuvent être alors utilisés pour estimer en temps réel la visibilité connaissant l'atténuation.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 2 montre respectivement les niveaux des signaux émis (T_x [dBm]), reçu (R_x [dBm]) et l'atténuation ($T_x - R_x$) [dB] sur un lien de longueur 3,90 km, enregistrés au cours du mois de novembre 2019. Nous pouvons constater sur cette figure que le niveau du signal émis est constant tandis que le niveau du signal reçu, ainsi que l'atténuation fluctuent dans le temps. Cette fluctuation est due aux variations des conditions climatiques sur le lien considéré, en particulier la présence de poussière. Nous obtenons des figures similaires pour tous les liens commerciaux de télécommunications du réseau de Telecel Faso, accessibles par notre système d'acquisition.

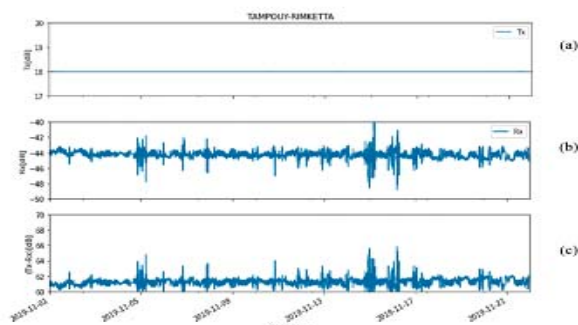


Figure 2 : Niveau des signaux émis (a), reçu (b) et atténuation (c).

La figure 3 présente les données brutes de la visibilité fournit par l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso (ANAM), pour le mois de novembre 2019. La visibilité est dite « bonne » si elle est supérieure à 8 km, par contre elle est dite « réduite » si elle est inférieure à 8 km.

La figure 3 permet de voir que le mois de novembre 2019 est marqué par des journées de faible visibilité. Ces baisses de visibilité sont dues à des nappes de poussière. En effet le Burkina Faso subi chaque année le régime d'harmattan entre novembre et avril, caractérisé par des nappes de poussière qui évoluent sur l'ensemble du pays.

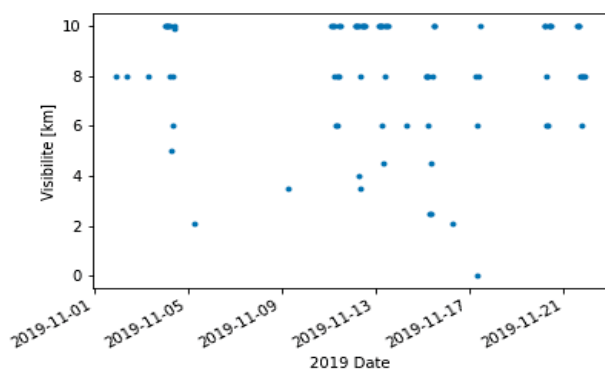


Figure 3 : Données brutes de visibilité fournies par l'ANAM

La figure 4 montre le nuage de points atténuation-visibilité sur la période de novembre 2019 à avril 2020. Sur cette figure, la droite de régression linéaire passe par un maximum de points, ce qui confirme qu'il y a une corrélation entre l'atténuation du signal micro-onde et la visibilité.

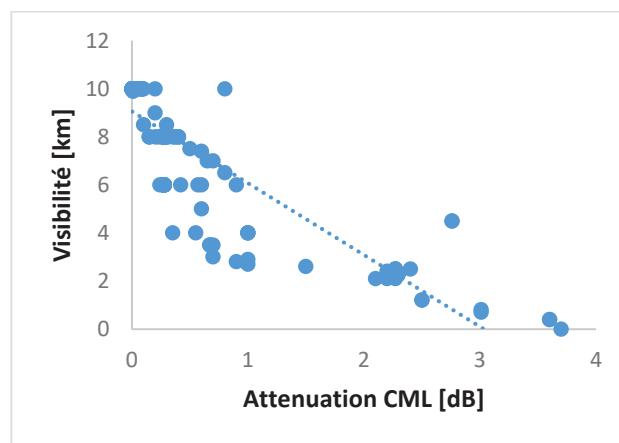


Figure 4 : Nuage de points atténuation- visibilité

Dans ce travail, nous supposons que cette corrélation est linéaire et modélisons la relation atténuation-visibilité par l'équation (4) :

$$v = \alpha x + \beta \quad (4)$$

où v est la visibilité exprimée en km, x est l'atténuation du signal micro-onde due à la poussière exprimée en dB, α et β sont les constantes du modèle à déterminer.

Une régression linéaire effectuée sur le nuage de points de la figure 4 nous donne :

$$\alpha = -2,9848 \text{ et } \beta = 9,0587$$

L'équation (4) devient donc :

$$v = -2,9848 x + 9,0587 \quad (5)$$

La figure 5 montre l'évolution visibilité météorologique fournie par l'ANAM et celle obtenue par notre approche, en fonction de l'atténuation du signal micro-onde. On peut voir sur cette figure que plus le signal CML est atténué, plus les visibilités (autant celle fournie par l'ANAM, que celle estimée par notre méthode) diminuent.

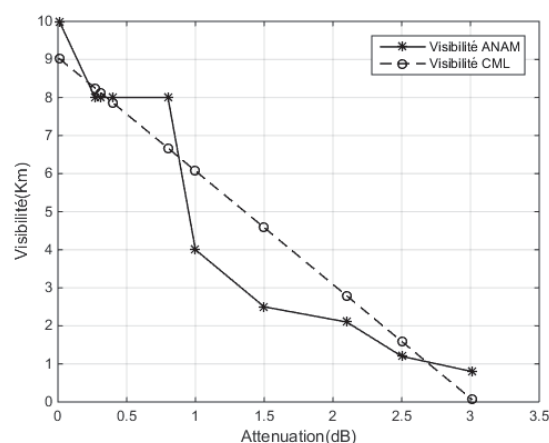


Figure 5 : Évolution de la visibilité météorologique fournie par l'ANAM et celle estimée par notre approche en fonction de l'atténuation du signal micro-onde commercial de télécommunications.

Une mesure de corrélation linéaire à l'aide de la formule (6) entre la visibilité fournie par l'ANAM et celle estimée par notre méthode donne un coefficient de corrélation de $C = 0,86$.

$$C = \frac{\langle v_{CML}, v_{ANAM} \rangle}{\|v_{CML}\| \times \|v_{ANAM}\|} \quad (6)$$

Dans la formule (6), $\langle v_{CML}, v_{ANAM} \rangle$ représente le produit scalaire entre les deux (02) vecteurs v_{CML} et v_{ANAM} , $\|v_{CML}\|$ représente la norme euclidienne du vecteur v_{CML} et $\|v_{ANAM}\|$ représente la norme euclidienne du vecteur v_{ANAM} .

La méthode proposée donc semble constituer une alternative efficace pour estimer la visibilité météorologique. Toutefois, on note un léger gap entre la visibilité estimée par notre méthode et celle mesurée par l'ANAM. Cela pourrait être dû aux autres sources d'atténuation du signal CML qui ne sont pas pris en compte dans ce travail. Une compensation de ce gap permettra d'améliorer la précision de la méthode proposée.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons montré qu'en présence de poussière, il existe un lien entre l'atténuation du signal micro-onde qui se propage entre deux antennes et la visibilité météorologique. Grâce au système d'acquisition installé au Laboratoire Matériaux et Environnement (LA.ME) de l'Université Joseph KI-ZERBO, nous avons enregistré les données CMLs (niveaux des signaux émis et reçus) de l'opérateur de téléphonie mobile Telecel Faso (Burkina Faso) entre novembre 2019 et avril 2020. Des mesures de visibilité ont été également obtenues auprès de l'Agence Nationale de Météorologie (ANAM) du Burkina Faso sur la même période. Nous avons ensuite réalisé une régression linéaire sur le nuage de point atténuation-visibilité pour déterminer l'équation liant l'atténuation du signal micro-onde et la visibilité météorologique.

Une mesure de corrélation entre la distance de visibilité fournie par l'ANAM et celle estimée par notre méthode donne un coefficient de corrélation de $C = 0,86$. On note néanmoins un léger gap entre la visibilité estimée par notre méthode et celle mesurée par l'ANAM.

Pour la suite de nos travaux, nous envisageons d'améliorer la précision d'estimation de la visibilité en présence de poussière grâce au lien micro-ondes, en investiguant des méthodes de corrélation non linéaires et des techniques d'intelligence artificielle.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce au financement du Fonds National de la Recherche et de l'Innovation pour le Développement du Burkina Faso dans le cadre du projet TOP-RAINCELL. Nous remercions Telecel Faso pour la mise à disposition des données CMLs et l'Agence National

de la Météorologie (ANAM) pour les données de la visibilité.

REFERENCES

- Chaabania, H. , Werghib, N. , Kamouna, F., Tahab, B. , Outayc, F., and Yasard, A. U. , 2018. *Estimating meteorological visibility range under foggy weather conditions: A deep learning approach*, Procedia Computer Science, 141, 478–483. doi:10.1016/j.procs.2018.10.139
- David, N. , Alpert, P., and Messer, H., 2013, *The potential of commercial microwave networks to monitor dense fog-feasibility study*. Journal of geophysical research: atmospheres, vol. 118, 11,750–11,761, doi:10.1002/2013JD020346
- David, N., Sendik, O., Messer, H. , and Alpert, P., 2015, *Cellular Network infrastructure The future of fog monitoring ?*, Bulletin of the American Meteorological Society, 96(10), 1687–1698, doi:10.1175/bams-d-13-00292.1
- Hautière, N., Babari, R., Dumont, E., Brémond, R., and Paparoditis, N., 2011, *Estimating Meteorological Visibility Using Cameras: A Probabilistic Model-Driven Approach*, Lecture Notes in Computer Science, 243–254. doi:10.1007/978-3-642-19282-1_20
- Kolawole, O. , Afullo, T. , and Mosalaosi, M., 2019. *Estimation of Optical Wireless Communication Link Availability Using Meteorological Visibility Data for Major Locations in South Africa*, 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring). doi:10.1109/piers-spring46901.2019.9017842
- Rec. UIT-R P.525-3, 2016, *propagation des onde radioélectrique serie P, calcul de l'affaiblissement en espace libre*
- Météo. <https://fr.weatherspark.com/h/td/147795/Météo-historique-à-Aéroport-international-de-Ouagadougou-Burkina-Faso>