

## ETUDE NUMERIQUE DU MODELE CIRCUIT RLC D'UNE PRISE DE TERRE

*Kadiolotien SORO<sup>1</sup>, Aka TANOH<sup>2</sup>, and Aka S. KOFFI<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Doctorant, Ecole Doctorale Polytechnique, UMRI Electricité et Electronique Appliquée, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Maitre de Conférence, Institut National Polytechnique Houphouët Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Doctorant, Laboratoire de Physique de Condensation de la Matière et Technologie, UFR Sciences des Structures de la Matière et Technologie, Université Felix Houphouët Boigny Cocody, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

---

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:** This article is contribution on the digital analysis of the RLC model of the earth connector. The RLC model of the earth connector was feigned on MATLAB. These simulations were made with the horizontal earth connector and the vertical earth connector with a ground of resistivity 1000Ω.m and on the other hand with a ground of resistivity 2000Ω.m. The results obtained by feigning on MATLAB both electrodes show that earth connectors must be buried in depths superior or equal to 6 meters. The relevance of this article, it is to help to determine the depths to which the earth connectors of the model RLC can be buried.

**KEYWORDS:** Grounding Impedance, earth connector, high frequency, RLC model.

**RÉSUMÉ:** Cet article est une contribution sur l'analyse numérique du modèle RLC de la prise de terre.

Le modèle RLC de la prise de terre a été simulé sur MATLAB. Ces simulations ont été faites avec la prise de terre horizontale et la prise de terre verticale avec un sol de résistivité 1000Ω.m et d'autre part avec un sol de résistivité 2000Ω.m.

Les résultats obtenus en simulant sur MATLAB les deux électrodes montrent que les prises de terre doivent être enterrées à des profondeurs supérieures ou égales à 6 mètres.

La pertinence de cet article, c'est d'aider à déterminer les profondeurs auxquelles peuvent être enterrées les prises de terre du modèle RLC.

**MOTS-CLEFS:** Impédance de terre, prise de terre, haute fréquence, modèle RLC.

### 1 INTRODUCTION

La prise de terre est un élément essentiel de l'installation qui établit un contact permanent entre la masse terrestre et la masse métallique d'un outil, d'un appareil ou d'une installation électrique. En clair la prise de terre permet d'écouler les courants de défaut, les courants de foudre et les courants extérieurs au réseau et de protéger les systèmes électriques.

La richesse de l'onde de foudre en fréquence variant de 1kHz à 1MHz et son intensité élevée qui peut parfois atteindre 50kA ont particulièrement retenu notre attention sur le type de prise de terre des réseaux électriques haute tension [1].

Ce qui nous intéresse dans notre cas, c'est de savoir quel type de prise de terre conviendra au réseau électrique haute tension en vue de protéger celui-ci contre la foudre.

L'article présente donc une simulation sur MATLAB du modèle RLC de la prise de terre.

### 2 METHODE

Le modèle circuit RLC de la prise de terre (figure 1) a été simulé sur MATLAB.

$\underline{Z} = j\omega L + \frac{1}{G + j\omega C}$  [2] G, C et L sont déterminés à partir des formules (1) pour l'électrode verticale et (2) pour l'électrode horizontale.

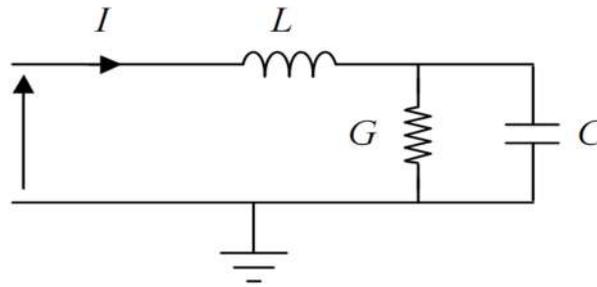


Fig. 1. Prise de terre modèle RLC

Pour une électrode cylindrique et verticale, les relations suivantes définissent les paramètres RLC du circuit approché [3]

$$R_i = \frac{\rho l}{S}; R = \frac{1}{G} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{r}\right); C = 2\pi\epsilon l \left[ \ln\left(\frac{2l}{r}\right) \right]^{-1}; L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln\left(\frac{2l}{r}\right) \quad (1)$$

$l$  est la longueur de l'électrode,  $r$  son rayon.

Pour une électrode horizontale enterrée à une profondeur  $h$  ( $l \gg r$  et  $l \gg h$ ) [2]

$$R = \frac{1}{G} = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rh}}\right) - 1 \right]; C = 2\pi\epsilon l \left[ \ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rh}}\right) - 1 \right]^{-1}; L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{2l}{\sqrt{2rh}}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 RÉSULTATS : ANALYSE FRÉQUENTIELLE ET IMPÉDANCE HARMONIQUE

L'impédance harmonique de mises à la terre est une grandeur complexe. Elle varie par rapport à la fréquence. Elle dépend uniquement des caractéristiques géométriques et électromagnétiques de la mise à la terre. Elle ne dépend donc pas de l'excitation. L'impédance harmonique peut être trouvée par modélisation de la mise à la terre comme un circuit électrique à partir de la formule du modèle RLC (figure 1).

Le comportement de la mise à la terre en haute fréquence peut être soit résistif, soit inductif ou encore capacitif. Ceci dépend des caractéristiques géométriques des électrodes et des propriétés électriques du sol.

Pour une électrode verticale et cylindrique de rayon égale à 3 cm, enterré dans des sols de résistivité  $\rho=1000\Omega.m$  et  $\rho=2000\Omega.m$  et de permittivité relative  $\epsilon_r=10$ , les figures 2 et 3 suivantes donnent l'impédance de terre en fonction de la fréquence.

Pour une électrode horizontale et cylindrique de rayon égale à 3 cm, enterré dans un sol de résistivité  $\rho=1000\Omega.m$  et  $\rho=2000\Omega.m$  et de permittivité relative  $\epsilon_r=10$ , les figures 4 et 5 suivantes donnent l'impédance de terre en fonction de la fréquence.

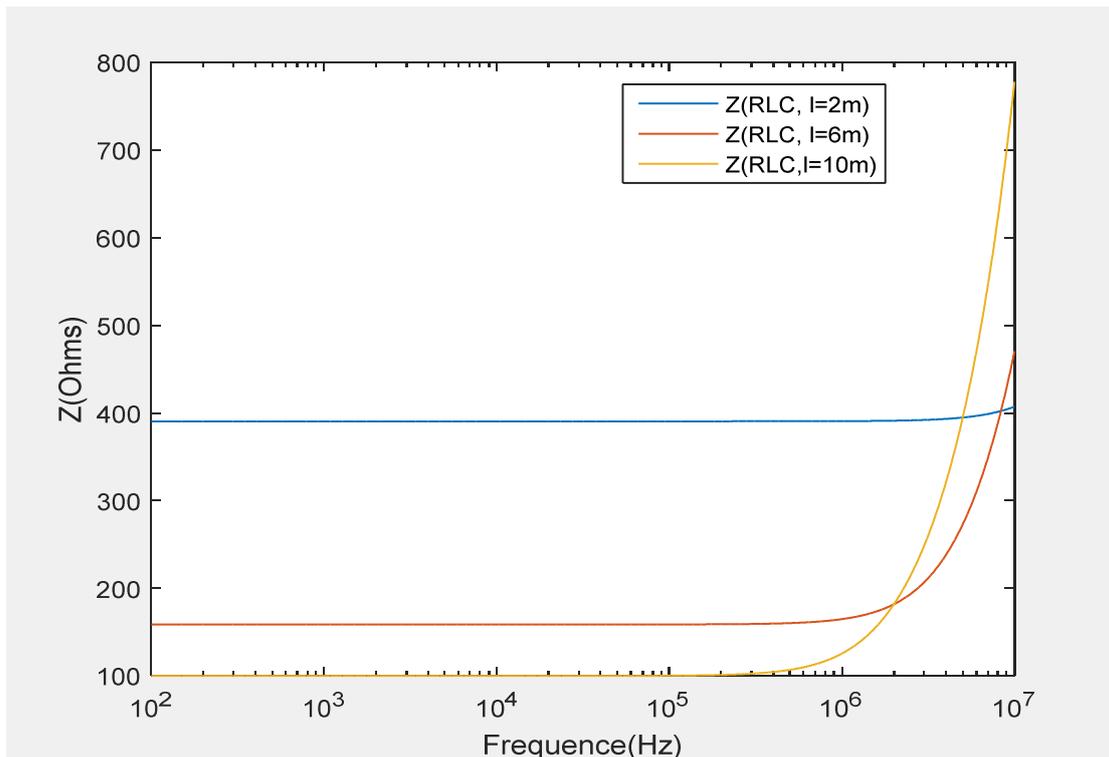


Fig. 2. Impédance de mise à la terre électrode verticale pour  $\rho=1000\Omega.m$

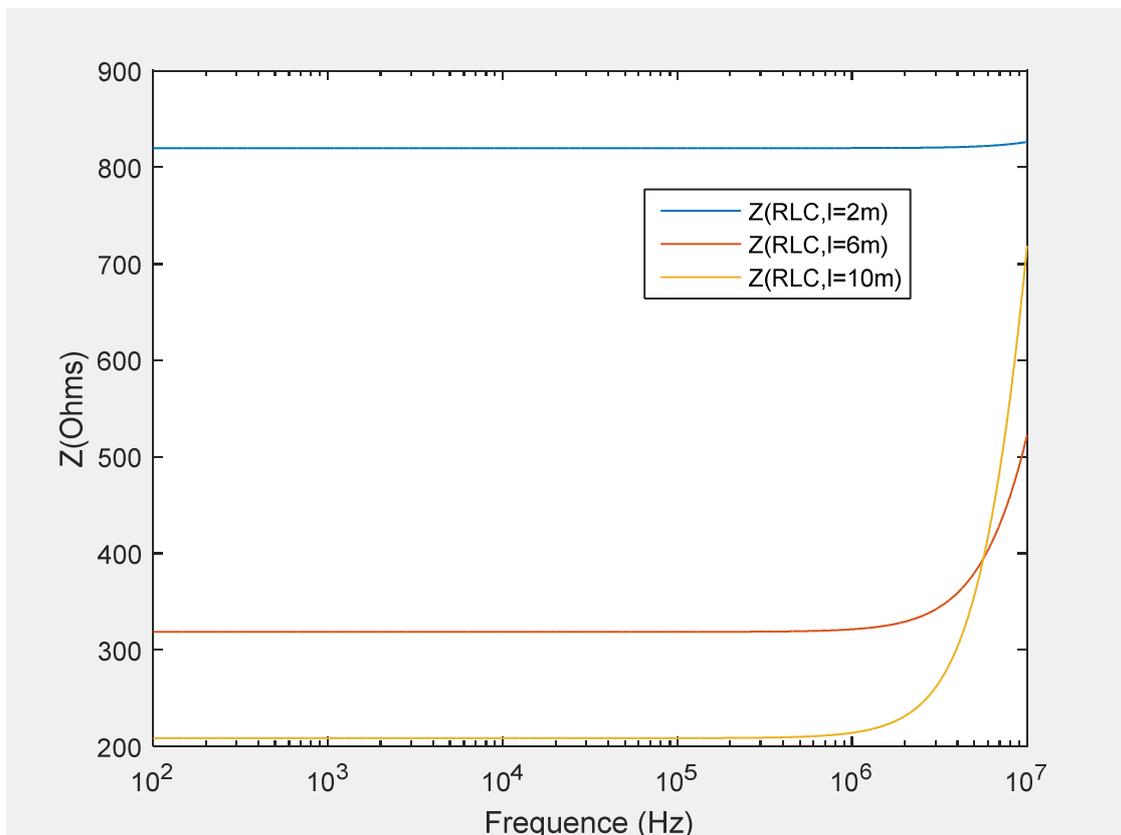


Fig. 3. Impédance de mise à la terre, électrode verticale pour  $\rho=2000\Omega.m$

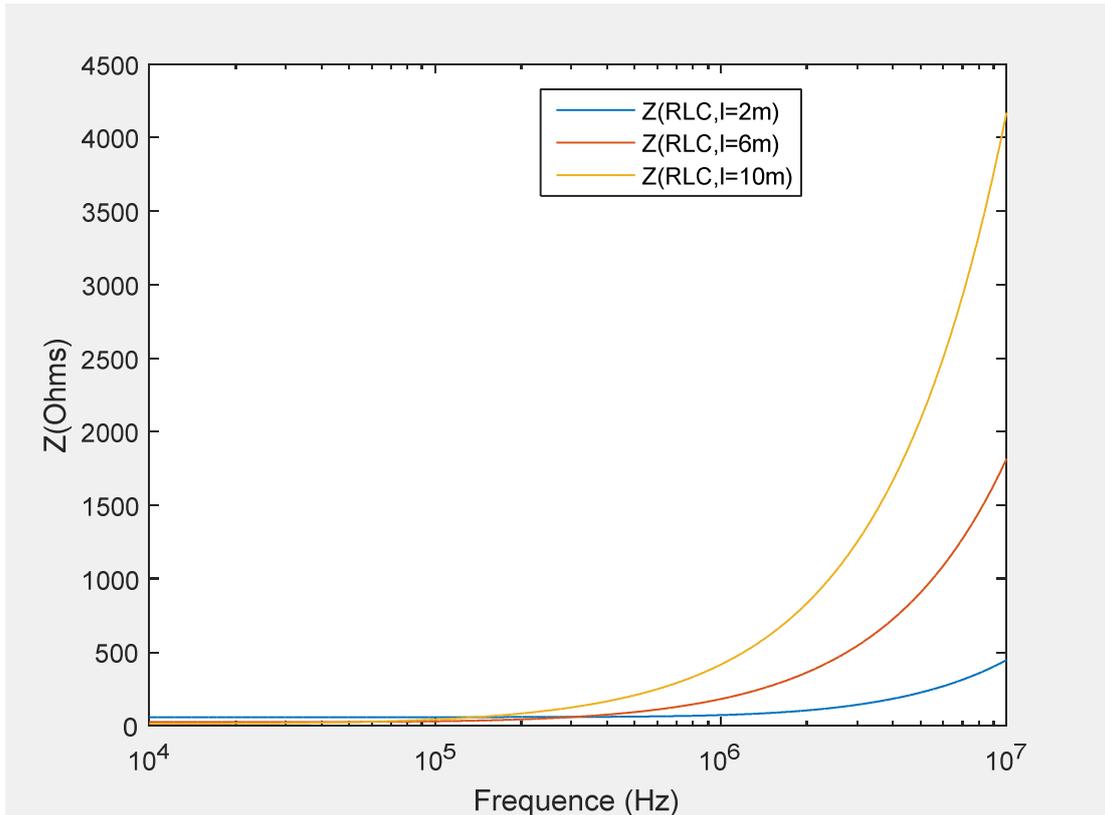


Fig. 4. Impédance de mise à la terre, électrode horizontale pour  $\rho=1000\Omega.m$

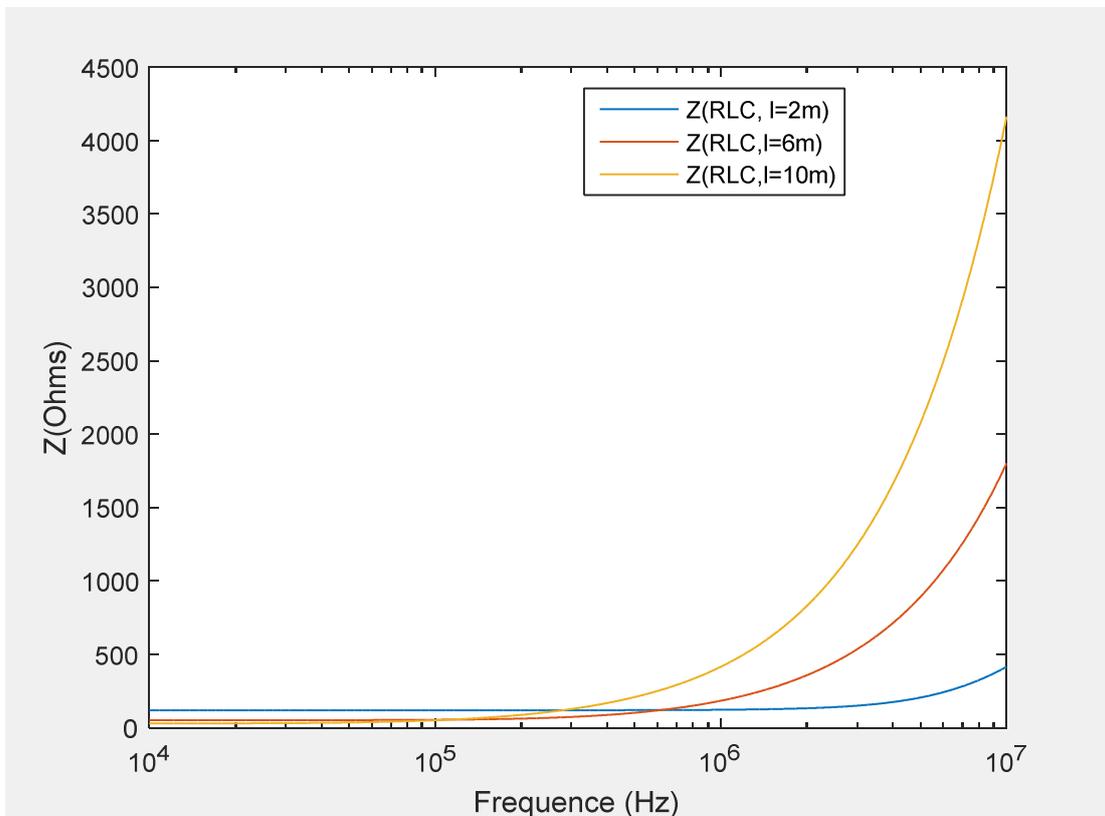


Fig. 5. Impédance de mise à la terre, électrode horizontale pour  $\rho=2000\Omega.m$

### 3.2 INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Dans le cas des électrodes verticales, pour les valeurs élevées de résistivité ( $1000\Omega.m$  et  $2000\Omega.m$ ). Le comportement est inductif en très haute fréquence.

Ceci peut s'expliquer par le rayon  $r=3cm$  des électrodes qui est plus grand que le rayon  $r=1.25cm$  des électrodes où le comportement est plutôt capacitif en très haute fréquence pour les courtes longueurs de l'électrode [2].

Pour les longueurs courtes de l'électrode ( $l=2m$ ), les impédances de mises à terre restent toujours très élevées, donc notre objectif de réduire au maximum l'impédance de mise à la terre n'est pas atteint.

Par contre pour les grandes longueurs de l'électrode ( $l=10m$ ), les impédances de mise à la terre sont réduites au maximum.

Dans le cas des électrodes horizontales, pour les valeurs élevées de résistivités ( $1000\Omega.m$ ,  $2000\Omega.m$ ), avec les longueurs des électrodes supérieures à  $10m$ , l'impédance de mises à la terre est nulle dans la plage de fréquence de  $0Hz$  à  $10^6Hz$ . Ce qui donne un résultat satisfaisant puisque la plage de variation de l'onde de foudre est de  $0Hz$  à  $10^6Hz$ .

Pour les fréquences très élevées supérieures à  $10^6Hz$ , nous observons un comportement inductif des mises à la terre.

## 4 CONCLUSION

Cette simulation sur MATLAB du modèle RLC de la prise de terre est un outil d'aide à la décision. Nous constatons que le modèle RLC de l'électrode convient pour les prises de terre des pylônes électriques haute tension en vue de protéger le réseau électrique haute tension contre les courants de foudre ou les courants extérieurs dont les fréquences peuvent monter à  $10^6$  Hz.

Pour optimiser l'impédance des prises de terre et protéger le réseau électrique haute tension, il faut enterrer les prises de terre à des profondeurs de terre supérieures ou égales à 6 mètres.

## REMERCIEMENTS

Les remarques du Professeur Aka TANOH nous ont été utiles tout au long de ce travail. Je tiens à remercier également mon ami Aka Stephane KOFFI pour m'avoir conseillé votre revue scientifique. Je suis également reconnaissant à tous ceux qui nous ont conduits de près ou de loin sur le chemin de la recherche scientifique.

## RÉFÉRENCES

- [1] X. LEGRAND, "Modélisation des systèmes de mise à la terre des lignes électriques soumis à des transitoires de foudre", Thèse de Doctorat Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique de Lyon, (Décembre 2007)
- [2] J. P. NZURU NSEKERE, "Contribution à l'analyse et à la réalisation des mises à la terre des installations électriques dans les régions tropicales", Thèse de Doctorat Université de Liège, Belgique, (Février 2009)
- [3] Z. A. ZIDANE, "Modélisation et simulation des prises de terre dans les systèmes électriques", Magister Université Ferhat Abbas / Setif Ufas Algérie, (Mai 2012)
- [4] Slaoui Hasnaoui FOUAD, "Estimation des paramètres par la méthode de régression rigide combinée avec l'analyse des paramètres statistiques pour l'interprétation des mesures de résistivités apparentes des modèles de sol à n-couches", ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, Montréal, le 14 Octobre 2003
- [5] Houndedako S., Aredjodoun J., Vianou A., Espanet Ch., Adedjouma S., "Choix de la configuration d'une prise de terre de type piquet pour une protection optimale", Revue du CAMES – SAI, Reçu juin 2013 – Accepté mars 2014
- [6] L. Boufenneche, M. Chouki, S. Khedimallah, H. Belila, D. Sekki, A. Boudouda et B. Nekhoul., "Impact d'une onde de foudre sur un pylone électrique", UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI-BEL-ABBES
- [7] Rafael ALIPIO and Silverio VISACRO, Senior Member, IEEE, "Dependence of electrical parameters of soil modeling the frequency", IEEE JOURNAL AND MAGAZINES, October 2014
- [8] S. W. Georges, Member, IEEE, F. H. Slaoui, P. J. Lagace, Member, IEEE, X. D. Do, Senior Member, IEEE and J. Forth, Member, IEEE, "Evaluation of grounding system impedance of a near sea water hv electric power installation" JOURNAL AND MAGAZINES IEEE.
- [9] Bo ZHANG, Rong ZENG, Jinliang HE, "Novel measurement system for grounding impedance of substations and power plants" TSINGHUA UNIVERSITY BEIJING 100084, CHINA.
- [10] Jong-Hyuk Choi, Hee-Kyung Shin, Dong-Seon Kim, Bok-Hee Lee, "Grounding impedance based on the current distribution for the horizontal ground electrode installed in two-layer soil structure", ASIA-PACIFIC INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING, November 2011.