

## CALCUL DU CHAMP ÉLECTRIQUE ET DES CAPACITÉS PARTIELLES D'UNE LIGNE ÉLECTRIQUE AÉRIENNE À HAUTE TENSION

Saul PASARE

*Université de Craiova, Faculté d'électrotechnique  
Blv. Decebal 107, 200440 Craiova- Romania; E-mail: spasare@ elth.ucv.ro*

**Résumé** – Ce travail présente une méthode d'analyse aux éléments finis du champ électrique engendré par une ligne électrique aérienne à haute tension. La frontière finie du domaine est établi à l'aide de la transformation de Kelvin pour le demi-espace infini situé au dessus du sol où se trouve la ligne électrique. La transformation de Kelvin est un procédé efficace pour l'analyse aux éléments finis des problèmes ayant de frontières ouvertes [7, 8]. L'intensité du champ électrique est déterminée en régime électrostatique en utilisant le principe superposition des deux composants (réelle et imaginaire) des tensions électriques de la ligne. Les valeurs de l'intensité du champ électrique et des capacités de la ligne, calculées de cette façon, sont comparées aux les valeurs obtenues par la méthode des images électriques [1].

**Mots clefs:** ligne électrique aérienne à haute tension, champ électrique, éléments finis, transformation de Kelvin.

### 1. INTRODUCTION

Les champs électriques et magnétiques engendrés par les lignes de transport à haute tension interagissent avec l'environnement. Les perturbations électromagnétiques associées sont limitées par les normes générales sur la compatibilité électromagnétique et par les directives 89/336, 92/31 et 93/68/CEE du Conseil de la Communauté Européenne. Ces perturbations sont analysées et les résultats des recherches sont communiqués dans plusieurs travaux de spécialité.

Ce travail s'encadre dans ces préoccupations, ayant comme but de calculer le champ électrique d'une ligne aérienne à haute tension, circuit simple, à l'aide de méthodes numériques. On détermine ainsi d'une part les valeurs du champ électrique à 1,8 m au dessus du sol et d'autre part les capacités partielles de la ligne. Les valeurs du champ sont comparées avec les valeurs maximales (5 kV/m applicables au public et 10 kV/m pour les professionnels), recommandées par la directive 519/1997 du Conseil de l'Union Européenne, [9].

La formulation d'un problème de régime électrostatique exige que l'analyse du champ électrique soit réalisée séparément de l'analyse du champ magnétique quasi-statique, [1], [2], [3].

L'exposé suivante présente quelques relations de

calcul utiles pour l'analyse du champ électrique et pour la détermination de certains paramètres de la ligne électrique [1]. Une ligne électrique de transport avec fil de garde représente un system de conducteurs soumis à un system triphasé symétrique de tensions électriques sinusoïdales. Elle se comporte comme une source de champs électriques et magnétiques sinusoïdales de fréquence basse (50 Hz).

Le système triphasé de tensions électriques sinusoïdales de séquence positive est donné par :

$$\underline{U} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \cdot U = \begin{bmatrix} 1 + j0 \\ -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot U, \quad (1)$$

où  $U$  représente la valeur efficace de la tension électrique de phase (phase par rapport à la terre).

### 1.1. Équations de Maxwell en complexe pour les coefficients de potentiel, [p].

Pour une ligne électrique triphasée avec fil de garde, ces équations sont:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}, \quad (2a)$$

ou bien

$$[V] = [p] [q] \quad (2b)$$

Les coefficients de potentiel, [p], sont de paramètres réels de la ligne qui vérifient aussi les équations (2a) ou (2b) écrites pour les parties réelles et pour les parties imaginaires des potentiels et des charges électriques:

$$[V_R] = [p] [q_R], \quad (3a)$$

$$[V_I] = [p] [q_I]. \quad (3b)$$

### 1.2. Équations de Maxwell pour coefficients capacitifs, [c], posées sous forme matricielle, sont:

$$\begin{bmatrix} \underline{q}_1 \\ \underline{q}_2 \\ \underline{q}_3 \\ \underline{q}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4a)$$

ou bien

$$[\underline{q}] = [c][\underline{V}] = [p]^{-1}[\underline{V}]. \quad (4b)$$

### 1.3. Équations de Maxwell pour capacités partielles, [C].

Celles-ci s'obtiennent à partir des équations pour coefficients capacitifs (4a). Pour les établir, on considère le potentiel de référence nul ( $\underline{V}_0=0$  V) au niveau de la terre, on néglige la charge du câble de garde et par un groupement adéquate de termes on obtient:

$$\begin{bmatrix} \underline{q}_1 \\ \underline{q}_2 \\ \underline{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{20} & C_{23} \\ C_{31} & C_{23} & C_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_{10} & \underline{U}_{12} & \underline{U}_{13} \\ \underline{U}_{21} & \underline{U}_{20} & \underline{U}_{23} \\ \underline{U}_{31} & \underline{U}_{32} & \underline{U}_{30} \end{bmatrix}, \quad (5a)$$

ou, après l'identification des coefficients, il vient

$$C_{i0} = \sum_{j=1}^3 c_{ij}, i=1,2,3; \quad C_{ij} = -c_{ij} = C_{ji}, i \neq j; \quad (5b)$$

$$\underline{U}_{i0} = \underline{V}_i - \underline{V}_0; \quad \underline{U}_{ij} = \underline{V}_i - \underline{V}_j.$$

## 2. CALCUL DE L'INTENSITÉ DU CHAMP ÉLECTRIQUE ET DES CHARGES ÉLECTRIQUES DES CONDUCTEURS DE LA LIGNE

### 2.1. Procédé de calcul de l'intensité du champ électrique, à l'aide des éléments finis.

Le domaine du champ électrique de la ligne aérienne est superposé sur la région voisine et s'étend vers l'infini. L'analyse du champ sera réalisée dans un plan vertical perpendiculaire par rapport à la ligne électrique, car le problème présente une symétrie plan-parallèle.

En considérant le potentiel égale à zéro au niveau de la terre ( $\underline{V}_P = \underline{V}_0 = 0$  V), le domaine du champ s'étend dans le demi-espace infini au dessus du sol. Il faut établir un frontière finie du champ d'intérêt au voisinage de la ligne, ceci étant possible par de différents procédés montrés dans la littérature technique (le ballonnement de frontière, frontière circulaire avec conditions asymptotiques, frontière circulaire avec conditions périodiques (de continuité) par la transformation de Kelvin [4], [5], [6], [7], [8]). **L'exposé suivant** présente le procédé de la transformation de Kelvin appliqué sur le demi-

espace situé au dessus du sol. La frontière finie du domaine est demi-circulaire, de rayon  $r_0$ , ayant de conditions de type périodique (de continuité du potentiel). La transformation de Kelvin est définie par l'expression:

$$R = r_0^2 / r \quad (6)$$

et elle transforme un domaine du champ infini (avec  $r_0 \leq r < \infty$ ) dans une région finie demi-circulaire de même rayon,  $r_0$ .

Le procédé de délimitation de la frontière du domaine du champ exige les actions suivantes:

(1) Le domaine de champ dans le demi-espace infini (fig.1) est divisé en deux régions (sous régions):

- une première région intérieure demi-circulaire,  $\mathcal{D}_i$ , de rayon  $r_0$ , ayant la frontière  $\theta_0$  qui ferme les sources de champ et délimite la région d'intérêt en voisinage de la ligne;

- deuxième région sans sources,  $\mathcal{D}_e$ , à l'extérieur de l'autre, (avec  $r_0 \leq r < \infty, 0 \leq \theta \leq \pi$ ); dans cette région le potentiel vérifie l'équation de Laplace.

(2) La région extérieure infini,  $\mathcal{D}_e$ , est transformée, par la transformation de Kelvin, dans une région finie demi-circulaire,  $\mathcal{D}_e'$ , ayant le rayon  $r_0$  égale au rayon de la première région.

Dans le domaine infini,  $\mathcal{D}_e$ , le potentiel  $V(r, \theta)$ , ( $r_0 \leq r < \infty$ ), ( $0 \leq \theta \leq \pi$ ), vérifie l'équation de Laplace écrite en coordonnées polaires

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} = 0 \quad (7)$$

Lorsqu'on applique la transformation de Kelvin il en résulte le changement de la variable conformément à l'expression (6). Par conséquent, dans le domaine  $\mathcal{D}_e'$ , le nouveau potentiel  $V(R, \theta)$ , ( $0 < R \leq r_0$ ), ( $0 \leq \theta \leq \pi$ ), après certaines opérations simples, vérifie l'équation de Laplace:

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left( R \frac{\partial V}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} = 0 \quad (8)$$

À la raison que les équations (7) et (8) ont des formes identiques, le potentiel électrique est une fonction continue sur les deux frontières demi-circulaires des domaines,  $\mathcal{D}_i$  et  $\mathcal{D}_e'$ . Il vient que sur les deux frontières demi-circulaires s'impose une condition périodique:

$$V(r=r_0, \theta) = V(R=r_0, \theta) \quad (9)$$

qui demande la continuité du potentiel sur les frontières de deux domaines.

Dans la deuxième région demi-circulaire,  $\mathcal{D}_e'$ , pour assurer l'unicité de la solution s'impose la valeur nulle du potentiel en le point central,  $V(R=0)=0$  qui correspond au potentiel nul à l'infini, ( $V=0$ ), en le domaine initial infini. Mais, les deux diamètres des

régions demi-circulaires se superposent au dessus du sol, par conséquent, le potentiel est forcé de prendre la valeur zéro. Le procédé numérique a un avantage essentiel concernant la précision du calcul, mais il nécessite plus de mémoire et temps de calcul pour l'analyse du champ en le deuxième domaine extérieur,  $\mathcal{D}_e'$ , où le champ ne présente pas d'intérêt.

L'analyse avec éléments finis du champ électrique de la ligne se fait avec le logiciel FEMM [7] qui contient la variante de la transformation de Kelvin pour conditions sur frontière. La résolution d'un problème de champ électrostatique est réalisée d'abord pour les parties réelles, puis pour les parties imaginaires des tensions électriques complexes.

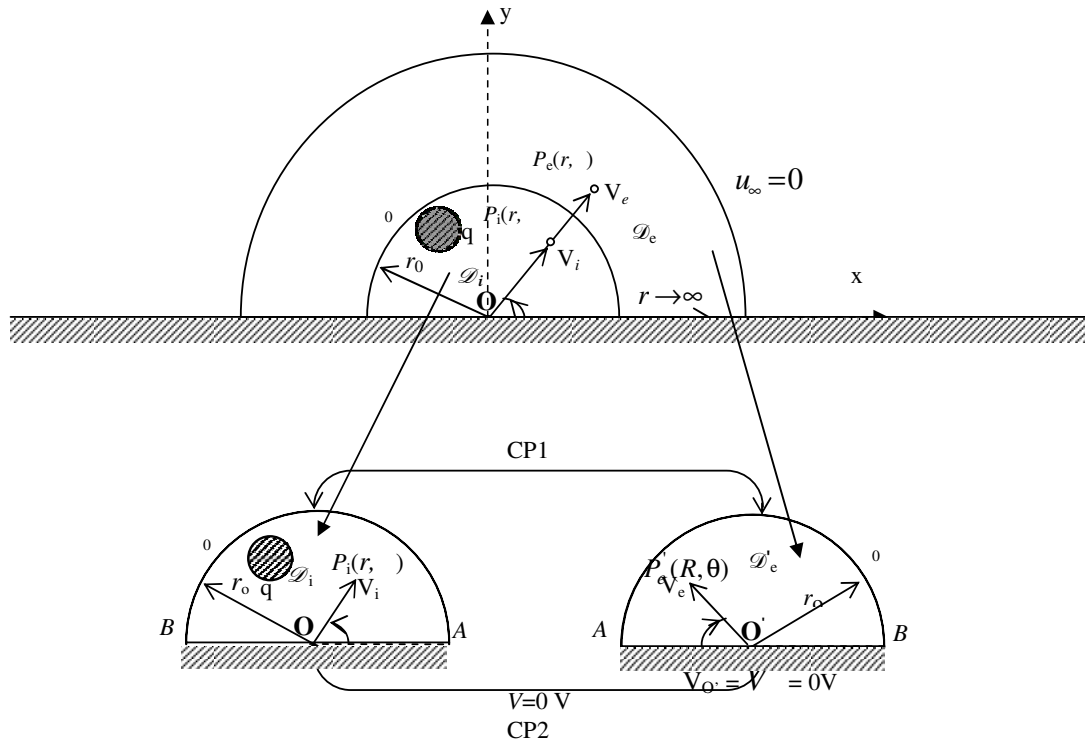


Fig. 1: La frontière du domaine de champ électrique,  $AB_0$ , obtenue par la transformation de Kelvin

L'intensité complexe du champ électrique, dans le point P en voisinage de la ligne, est obtenue par la superposition des deux composantes: réelle et imaginaire. Pour la composante réelle, le vecteur d'intensité du champ électrique s'écrit

$$\vec{E}_R(P) = E_{x,R}(P) \cdot \vec{i} + E_{y,R}(P) \cdot \vec{j} \quad (10)$$

et le champ résultant est calculé à l'aide de l'expression:

$$E_R(P) = \sqrt{E_{x,R}^2(P) + E_{y,R}^2(P)}. \quad (11)$$

D'expressions analogues s'écrivent pour la composante imaginaire de l'intensité du champ électrique.

## 2.2. Procédé de calcul des charges électriques.

Les charges électriques portées par le câble de garde et par chacun de conducteurs actifs, se déterminent

par la prospection de la solution numérique du problème de champ électrostatique résolu à l'étape précédente. En fonction de l'induction électrique sur les surfaces des conducteurs, les charges se calculent numériquement pour les deux composantes, réelle et imaginaire, avec l'expression intégrale générale:

$$q_k = \int_{S_k} D_{n,k} ds_k; k = 1, 2, 3, \quad (12)$$

où  $D_{n,k}$  est la composante normale, réelle ou imaginaire, de l'induction électrique sur la surface du conducteur k.

La charge résultante du conducteur k se calcule avec l'expression:

$$q_k = \sqrt{q_{R,k}^2 + q_{I,k}^2}; k = 1, 2, 3. \quad (13)$$

La connaissance des charges électriques est nécessaire pour le calcul, avec les expressions recommandées par CIGRÉ, de l'intensité du champ

électrique, des capacités partielles et du niveau des perturbations électromagnétiques [1].

### 3. CALCUL DES CAPACITÉS PARTIELLES DE LA LIGNE ÉLECTRIQUE

#### 3.1. Calcul des coefficients d'influences (capacitifs).

Ces coefficients interviennent dans les équations de Maxwell (4) et se déterminent numériquement, en cet ouvrage, par la solution du problème du champ électrostatique de la ligne électrique triphasée.

*Le procédé de calcul.* On considère la ligne triphasée ayant une tension électrique non nulle arbitraire sur un conducteur de phase seulement, les autres tensions des conducteurs de phase étant égales à zéro. Le procédé s'applique successivement, pour tous les conducteurs. L'expression de calcul, pour les quatre variantes du problème du champ électrique analysées successivement, sont:

$$c_{1j} = \frac{q_j}{V_1} \Big|_{V_2=V_3=V_4=0}; \quad c_{2j} = \frac{q_j}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=V_4=0}; \quad (14)$$

$$c_{3j} = \frac{q_j}{V_3} \Big|_{V_1=V_2=V_4=0}; \quad c_{4j} = \frac{q_j}{V_4} \Big|_{V_1=V_2=V_3=0}; \quad j=1,2,3,4.$$

**3.2. Les capacités partielles de la ligne triphasée** interviennent dans les schémas électriques équivalents de la ligne et se calculent à l'aide des expressions (5b) à partir des coefficients d'influences déterminés au dessus.

### 4. RÉSULTATS DU CALCUL

On considère une ligne électrique aérienne triphasée à haute tension ayant l'arrangement et les coordonnées géométriques, rapportées au pylône de suspension, montrée dans la fig.2 (l'exemple est présenté dans [1]). Chaque phase de la ligne ( $L_1, L_2, L_3$ ,) est constituée d'un faisceau de deux conducteurs séparés par 45 cm. Le rayon d'un conducteur est de 1,58 cm et le rayon du câble de garde ( $L_4$ ) est de 1,12 cm ce dernier ayant un conducteur seulement.

On peut supposer que les conducteurs soient parallèles au sol et passent par le centre de gravité de la parabole formée entre deux pylônes de suspension. Les distances de calcul entre les conducteurs de phase, le câble de garde et sol sont indiquées dans la figure 2 (en parenthèse sont les distances de calcul). La tension de ligne (phase-phase) est de 380 kV et la tension de phase (phase-terre) est de 220 kV. Le système de tensions de phase est considéré symétrique et de succession directe (positive).

On analyse le champ électrique de la ligne, en considérant qu'il est invariant pour n'importe quelle section transversale (arbitrairement choisie) de la ligne, en utilisant le logiciel de calcul numérique

avec éléments finis, FEMM, conformément au procédé présenté en cet ouvrage. D'abord on calcule l'intensité du champ électrique à 1,8 m de hauteur et les coefficients capacitifs de la ligne. Les valeurs obtenues sont comparées avec les valeurs calculées en [1].

#### 4.1. Calcul des coefficients capacitifs et des charges électriques portées par les conducteurs.

En appliquant le procédé avec éléments finis présenté au dessus ont été déterminées les valeurs des coefficients capacitifs, montrées en table 1 et les valeurs des charges électriques des conducteurs de la ligne, montrées en table 2. Pour comparaison, en tables sont présentées aussi les valeurs obtenues avec la méthode CIGRÉ [1].

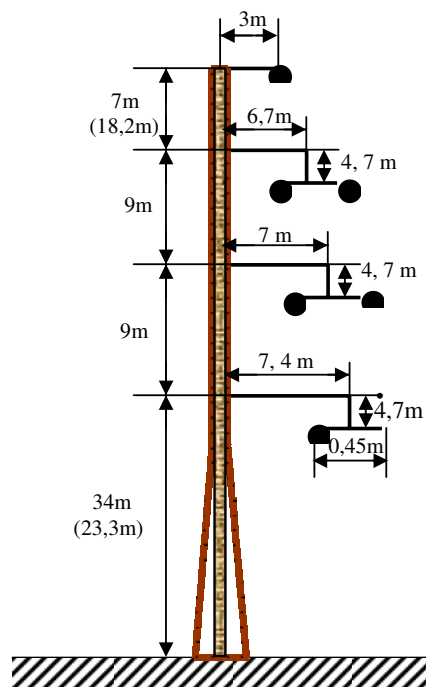


Fig.2: Le pylône et les positions des conducteurs de la ligne électrique

#### 4.2. Calcul de l'intensité du champ électrique à 1,8 m de hauteur peut se faire en deux variantes.

**Première variante:** Les composantes du vecteur  $\vec{E}$ , sur les deux axes, x et y, sont fonctions sinusoïdales orthogonales, et leurs valeurs en complexe sont données par les expressions:

$$\begin{aligned} \underline{E}_x &= E_{x,R} + jE_{x,I} \\ \underline{E}_y &= E_{y,R} + jE_{y,I} \end{aligned} \quad (15)$$

où les indices  $R$  et  $I$  signifient les parties réelles,

respectivement imaginaires.

Par la composition des deux grandeurs sinusoïdales, la résultante du vecteur intensité du champ électrique décrit une ellipse à une période d'évolution en temps, dans le système rectangulaire d'axes  $E_x$  et  $E_y$ .

La valeur résultante maximale du champ électrique

peut être calculée avec l'expression [10]:

$$E_{rez} = \frac{1}{2} \sqrt{(E_{x,R} - E_{y,I})^2 + (E_{x,I} + E_{y,R})^2} + \frac{1}{2} \sqrt{(E_{x,R} + E_{y,I})^2 + (E_{x,I} - E_{y,R})^2} \quad (16)$$

La méthode CIGRÉ [1]	$[c] = \begin{bmatrix} 9,5025 & -2,41095 & -0,99696 & -0,41757 \\ -2,41095 & 9,97353 & -2,2964 & -0,7361 \\ -0,99696 & -2,2964 & 9,7882 & -1,59469 \\ -0,41757 & -0,73618 & -1,59469 & 6,49166 \end{bmatrix} \cdot 10^{-12} [C/V]$
La méthode des éléments finis	$[c] = \begin{bmatrix} 8,71302 & -2,15120 & -0,92005 & -0,11235 \\ -2,14504 & 8,81296 & -1,93301 & -0,51422 \\ -0,92013 & -1,93592 & 9,30415 & -0,31296 \\ -0,12699 & -0,51369 & -0,31123 & 6,12010 \end{bmatrix} \cdot 10^{-12} [C/V]$

Tableau 1: Les valeurs des coefficients capacitifs de la ligne électrique aérienne

La méthode CIGRÉ [1]	$[q] = \begin{bmatrix} 2,458448 - j \cdot 0,268731 \\ -1,371201 + j \cdot 2,331382 \\ -1,040633 - j \cdot 2,296298 \\ -0,223224 - j \cdot 0,060564 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} [\frac{C}{m}]$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 44477,59 \\ 48643,61 \\ 45340,84 \\ 4159,74 \end{bmatrix} \cdot 2\pi\epsilon_0 = \begin{bmatrix} 2,473092 \\ 2,704736 \\ 2,521092 \\ 0,231294 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} [\frac{C}{m}]$
La méthode éléments finis	$[q] = \begin{bmatrix} 2,25007 - j \cdot 0,234066 \\ -1,22784 + j \cdot 2,04690 \\ -1,00959 - j \cdot 2,14203 \\ -0,152391 - j \cdot 0,038471 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} [\frac{C}{m}]$	$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40754008 \\ 44309204 \\ 42590287 \\ 2826798 \end{bmatrix} \cdot 2\pi\epsilon_0 = \begin{bmatrix} 2,26605 \\ 2,46373 \\ 2,36802 \\ 0,15717 \end{bmatrix} \cdot 10^{-6} [\frac{C}{m}]$

Tableau 2: Les valeurs complexes et les amplitudes des charges électriques sur les conducteurs de la ligne

**Deuxième variante:** La valeur résultante de l'intensité du champ électrique peut être calculée à l'aide de l'expression recommandée par CGRE [1]. L'expression d'intensité du champ, dans les points situés au niveau de la terre ( $-60m \leq x \leq 60m$ ,  $y=0$ ) :

$$E_{rez}(x) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \left[ \frac{q_1 \cdot 41,3}{[(x-6,7)^2 + 41,3^2]^{3/2}} + \frac{q_2 \cdot 32,3}{[(x-7)^2 + 32,3^2]^{3/2}} + \frac{q_3 \cdot 23,3}{[(x-7,4)^2 + 23,3^2]^{3/2}} + \frac{q_4 \cdot 53,5}{[(x-3)^2 + 53,5^2]^{3/2}} \right] \quad (17)$$

peut être généralisée pour chaque point du champ électrique de la ligne.

Dans la figure 3 est représentée l'intensité du champ électrique à 1,8 m de hauteur, en voisinage du pylône de suspension.

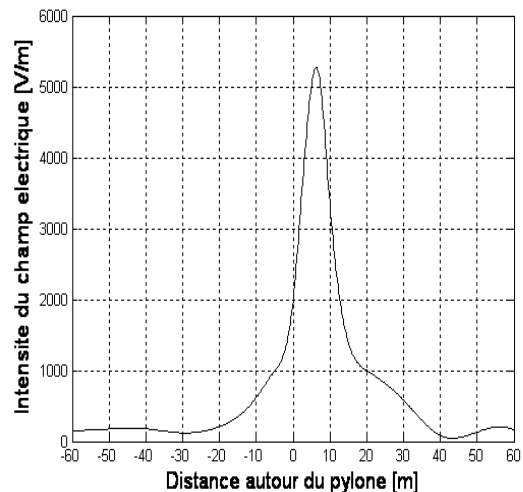


Fig.3: Le champ électrique de la ligne électrique à 1,8 m au dessus du sol

Les calculs sont basés sur l'expression (16). On observe que la valeur maximale de l'intensité du champ électrique,  $E_{\max} = 5,170 \text{ kV/m}$ , près de pylône de suspension pris comme axe de référence, à  $x = 7 \text{ m}$ , dépasse peu la valeur de  $5 \text{ kV/m}$  recommandée par les normes d'UE [9].

## 5. CONCLUSIONS

**5.1.** L'analyse aux éléments finis du champ électrique de la ligne électrique de transport prend en considération la structure réelle des lignes électriques aériennes à haute tension ayant les phases constituées d'un faisceau de deux conducteurs séparés. Par comparaison, la méthode d'images électriques (la méthode CIGRÉ) réalise l'analyse en remplaçant les conducteurs en parallèle de la ligne par un seul conducteur équivalent, ce qui produit d'erreurs supplémentaires de calcul.

**5.2.** De l'analyse de l'exemple de calcul on observe que les valeurs d'intensité du champ électrique, des charges électriques et des coefficients capacitifs, déterminés numériquement, sont comparables par rapport aux grandeurs déterminés par le calcul analytique qui utilise des hypothèses simplificatrices. En conséquence, l'analyse avec éléments finis, en utilisant la transformation de Kelvin pour les domaines de champ ayant de frontières ouvertes, est un procédé numérique alternatif pour les méthodes analytiques de calcul du champ électrique d'une ligne électrique aérienne.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] CIGRÉ, Group de travail, 36.01 (Interférences et champs), *Champs électriques et magnétiques engendrés par les réseaux de transport. Exemple de calcul des perturbations électromagnétiques par la méthode CIGRÉ*, Travail 21-43, 1980, Paris.
- [2] Gh. Iacobescu, I. Iordanescu, M. Tudosi: *Re ele i sisteme electrice*, Editura didactic i pedagogic ., Bucuresti, 1981.
- [3] R. G. Olsen and P.S. Wong, *Characteristics of low frequency electric and magnetic fields in the vicinity of electric power lines*, IEEE Trans. on Mag. , vol 7, no.4 oct.1992.
- [4] E.M. Freeman and D.A. Lowther: *A novel mapping technique for open finite element solutions to Poisson's equation*, IEEE Trans. Magn., Vol. 24, pp. 2934 - 2936, nov.1988.
- [5] I. R. Ciric and S. H. Wong, *Inversion transformation for the finite element solution of three-dimensional magnetic and electric problems*, IEEE Transactions on Magnetics, (25) pp. 4135 - 4136, sept. 1989.
- [6] D. A. Lowther and E.M. Freeman, *Further aspects of the Kelvin transformation method for dealing with open boundaries*, IEEE Trans. Magn., vol. 28, pp. 1667-1670, Mar. 1992.
- [7] D. C. Meeker: *Finite Element Method Magnetics (FEMM 4.0)*, User's Manual., 2004.
- [8] Q. Chen and A. Konrad, *A review of finite element open boundary techniques for static and quasistatic electromagnetic field problems*, IEEE Transactions on Magnetics, 33(1), January 1997.
- [9] CIGRÉ, *Guide pour l'établissement délimités d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques*, International Congres on Large High Voltage Electric, 1-9 sept. 2001, Travail 30.01, Paris.
- [10] T. Horváth, *The electric and magnetic field exposition of biological object due high voltage lines*, Proceedings of the 3rd Japan-Hungary Joint Seminar on Applied Electromagnetics in Materials and Computational Technology, 10 -13 July, 1994, Budapest.