

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/271965097>

Study of the Influence of an Electromagnetic Field Close to a High-voltage Line on the Human Being

Conference Paper · November 2014

DOI: 10.13140/2.1.4337.2323

CITATIONS

0

READS

91

3 authors, including:



Seghier Tahar

Université Amar Telidji Laghouat

45 PUBLICATIONS 63 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Zoubir Nedjem

Université Amar Telidji Laghouat

2 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



The photo-oxidative degradation of LDPE films [View project](#)



Contribution to the study of photonic crystals based on a new materials. Applications at the Electromagnetic Compatibility [View project](#)

Study of the Influence of an Electromagnetic Field Close to a High-voltage Line on the Human Being

Zoubir NEDJEM¹, Tahar SEGHER¹, Abdechafik HADJADJ²

¹Laboratoire d'étude et de développement des matériaux semi conducteur et diélectriques

²Laboratoire d'Analyse et Commande des Systèmes d'Energie et Réseaux Electriques 'LACoSERE'

^{1,2}Université Amar TELIDJI, Faculté de Technologie, LAGHOUAT, Algérie

E-mail: z.nedjem@lagh.univ.dz, t.seghier@mail.lagh-univ.dz, ahadjadjdz@yahoo.fr

Abstract—: The objective of our work is to determine the levels of the risks caused (provoked) by a close electromagnetic field radiated by a high-voltage line on a human body. By using a calculation code based on finite elements, we calculated the induced currents by the electric field and the magnetic field with an industrial frequency (50 Hz) in a human body being in various positions near a high-voltage electric line of configuration tablecloth.

Mots clés ; Ligne à haute tension, champ électromagnétique, simulation, compatibilité électromagnétique.

I. INTRODUCTION

Si l'électrification remonte au début du XXe siècle, tout de même, il a fallu attendre la dernière décennie pour admettre les nuisances des rayonnements des installations électriques (notamment les lignes et les transformateurs électriques) sur la santé des populations. Pourtant dès 1960, des scientifiques soviétiques ont tiré la sonnette d'alarme et signalaient les dangers d'une exposition prolongée aux rayonnements électromagnétiques des lignes de haute tension. Par la suite d'autres sociétés internationales de production d'énergie ont reconnu timidement l'existence des risques sur le système immunitaire des êtres humains. Des années plus tard, les perturbations électromagnétiques associées aux lignes ont été limitées par les normes générales de la Compatibilité Electromagnétique (directives 89/336, 92/31 et 93/68) établies par le Conseil de la Communauté Européenne.

Le travail que nous présentons constitue une contribution à l'étude du rayonnement du champ électromagnétique par une ligne à haute tension à fréquence industrielle. Notre but est de calculer le champ électrique, le champ magnétique ainsi que la densité du flux magnétique et cela en présence d'un être humain, à différentes distances par rapport aux phases des lignes. Nous nous intéressons plus particulièrement au calcul de la densité du courant induite par ces champs dans le corps humain. Cela nous permettra de déterminer le niveau de risque provoqué par une ligne à haute tension sur tout individu se trouvant dans son voisinage.

Dans le cas de notre étude nous avons choisi la configuration d'une ligne haute tension (400 kV) la plus utilisée en Algérie, à savoir la configuration nappe horizontale. Les paramètres de sa géométrie sont illustrés dans la figure suivante :

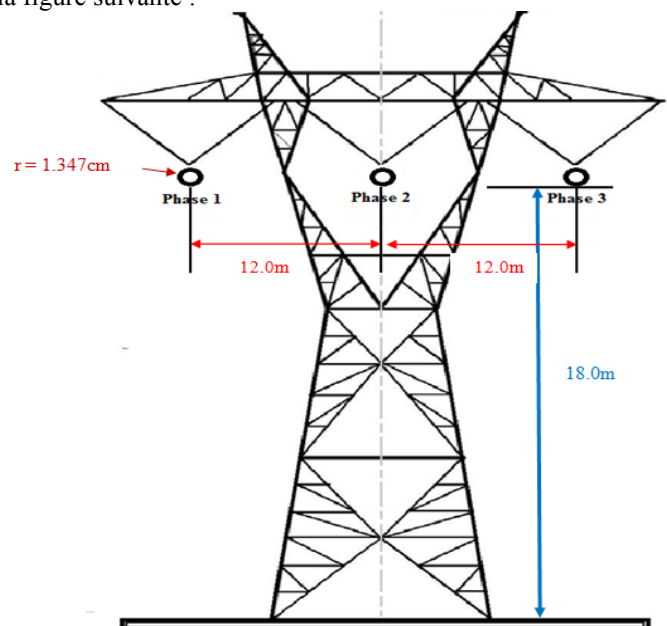


Fig. 1: La structure de la ligne étudiée (ligne à 400 kV)

II. PROCEDE ET METHODE DE CALCUL

Le principe de la méthode des éléments finis est basé sur une formulation intégrale des équations aux dérivées partielles. Cette formulation peut être du type variationnel, où l'on écrit une équivalence entre la solution du problème différentiel et la fonction qui optimise une fonctionnelle (qui est en général une fonction de Lagrange du système), ou bien obtenue par un principe de "résidus pondérés", comme la méthode de Galerkin [1].

Le principe bien connu de la méthode est de discrétiser le domaine d'étude en de multiples éléments puis de résoudre localement, dans chacun de ceux-ci, les équations associées à la formulation retenue. Les inconnues élémentaires sont alors définies par une combinaison linéaire, pondérée par des polynômes d'interpolation. La précision du calcul est liée à la finesse du maillage et au degré de ces polynômes [2].

A. Le formalisme du problème

Nous présenterons dans ce qui suit les équations de l'électromagnétisme sous leurs formes les plus générales régies par les équations de Maxwell. En régime statique, on obtient pour les grandeurs électriques et magnétiques l'ensemble des équations différentielles suivantes [1] :

1) Équations de Maxwell

Les équations du couplage électromagnétique sont :

$$\nabla \times E = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J \quad (2)$$

Où E, H et J sont respectivement le champ électrique, le champ magnétique et la densité du courant.

Les équations de conservation sont :

$$\nabla \cdot D = \rho, \quad \nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

Où D, B et ρ sont respectivement le vecteur de déplacement, l'induction magnétique et la densité de charge électrique.

Les équations phénoménologiques, présentant les propriétés des matériaux sont :

$$B = \mu H \quad D = \epsilon E \quad (4)$$

Où μ et ϵ sont respectivement la perméabilité et la permittivité du milieu.

En régime statique, notre problème est régi par les équations aux dérivées partielles suivantes:

$$-\nabla \cdot \epsilon_0 \epsilon_r \nabla V = \rho \quad (5)$$

$$\nabla * (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} \nabla * A) = J \quad (6)$$

Où V et A représentent respectivement le potentiel scalaire et le potentiel vectoriel.

Ces formulations ne peuvent être résolues de manière analytique pour des systèmes électromagnétiques complexes. Il est donc nécessaire d'avoir recours à une méthode de résolution numérique à savoir la méthode des éléments finis.

2) Équations d'interface

A la frontière, de deux milieux de propriétés différentes, les équations dites d'interface, en absence de charge et courant superficiels, s'écrivent:

$$B_{1,n_1} = B_{2,n_2} \quad H_{1,t} = H_{2,t} \quad (7)$$

$$D_{1,n_1} = D_{2,n_2} \quad E_{1,t} = E_{2,t} \quad (8)$$

Où n_1 et n_2 représentent les normales à la frontière dans les milieux 1 et 2. Elles indiquent la conservation de la composante normale des inductions magnétiques B et électrique D, et la conservation des composantes tangentielles des champs magnétique H et électrique E.

B. Mécanisme d'interaction (absorption diélectrique)

Le corps humain est un milieu fortement hétérogène. Il est composé d'une multitude de constituants ayant chacun des propriétés très spécifiques. Les tissus biologiques sont principalement constitués d'eau, ils se comportent comme un matériau diélectrique [3]. Les paramètres qui définissent les propriétés de la matière vis-à-vis d'un rayonnement électromagnétique (propriétés diélectriques) sont la permittivité électrique et la perméabilité magnétique. La perméabilité de la matière biologique est très proche de celle du vide, c'est-à-dire qu'elle ne perturbe pas la composante magnétique du rayonnement. La permittivité est liée à la polarisation P de la matière sous l'effet du champ électrique E suivant la relation [4]:

$$P = \epsilon_0 E (\epsilon_r - 1) \quad (9)$$

Où ϵ_0 est la permittivité du vide.

La permittivité du milieu tient elle-même compte de deux autres paramètres :

- **La polarisabilité** des molécules qui est importante pour les molécules biologiques, et en particulier pour l'eau (qui constitue la majeure partie de l'organisme vivant). Cette polarisabilité est l'aptitude d'une molécule à s'aligner dans le champ électrique, suite à la répartition de ses électrons entre les différents atomes qui la constituent (moment dipolaire) [5].
- **La conductivité** du milieu est surtout due aux ions qui présentent une grande mobilité, et sont susceptibles de se déplacer avec la variation du champ électrique. Leur interaction avec les charges fixes de molécules plus grosses engendre une dissipation d'énergie dans le milieu.

De nombreux matériaux dont les tissus biologiques sont à la fois diélectriques et conducteurs. La densité de courant **J** qui résulte de l'application d'un champ électrique sinusoïdal, se compose d'un courant volumique de conduction **J_C** et d'un courant volumique de déplacement **J_D** dû aux phénomènes de relaxation :

$$J = \sigma_s E + j \omega P \quad (10)$$

Où σ_s représente la conductivité statique du milieu. [5]

Les propriétés diélectriques des différents tissus qui composent la matière vivante dépendent essentiellement de leur teneur en eau. Le tableau ci-dessous donne les valeurs principales à 50 Hz.

TABLEAU 1 : Propriétés diélectriques des tissus à 50 Hz [6]

Tissu	Conductivité σ (S/m)	Permittivité ϵ_r
Sang	0,7	5300
Muscle	0,23	$1,8 \times 10^7$
Matière grise	0,075	$1,2 \times 10^7$
Os	0,02	8800
Graisse	0,02	$1,5 \times 10^7$
Peau sèche	0,0002	1100

La figure 2 illustre bien les différents paramètres des tissus constituant le corps humain. Dans cette modélisation on s'est limité à quelques tissus vivants.

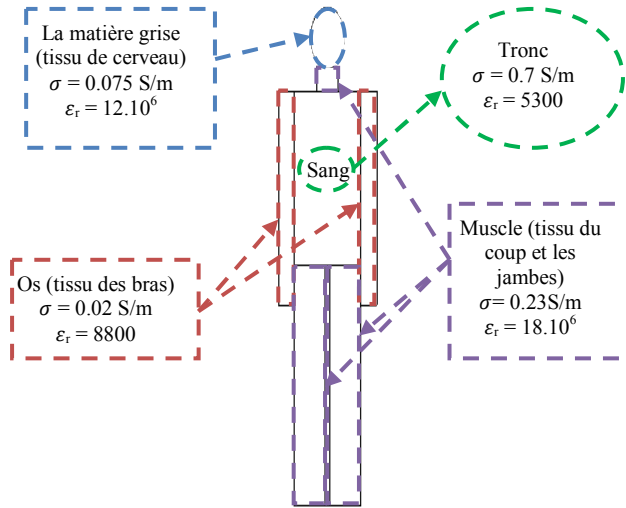


Fig.2: Les caractéristiques de différents tissus du corps humain

III. RESULTATS DE SIMULATION ET INTERPRETATION

Dans cette section, nous présenterons les résultats de calcul par simulation du champ électrique et la densité de flux magnétique émis par une ligne électrique aérienne en nappe. Nous essayerons de mettre en évidence l'influence de ces grandeurs sur le corps humain afin de déterminer le niveau de risque. Cela est possible à travers le calcul de la densité de courant induite par le champ électrique et le flux magnétique dans le corps humain. Les calculs ont été faits pour plusieurs positions par rapport à la ligne. Dans la plupart des figures, le traçage des courbes est effectué à une hauteur de 2 m à partir du sol.

Le système de tension et de courants de ligne est considéré symétrique et de succession directe (positive), le tableau suivant donne les dimensions des phases, et les valeurs des tensions et des courants de chaque conducteur.

TABLEAU 2 : grandeurs électriques des phases d'une ligne de 400 kV

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	
n	1	2	3	
$x[\text{m}]$	-12	0	12	$U_c = 400 \text{ kV}$ $I_c = 2322 \text{ A}$ $s = 2\pi/3$
$y[\text{m}]$	18	18	18	
U_n	$U_c / \sqrt{3} e^{js}$	$U_c / \sqrt{3} e^{j0}$	$U_c / \sqrt{3} e^{-js}$	
I_n	$I_c / \sqrt{3} e^{js}$	$I_c / \sqrt{3} e^{j0}$	$I_c / \sqrt{3} e^{-js}$	
$r[\text{cm}]$	1.347	1.347	1.347	

A. Calcul du champ électrique

Pour une ligne électrique de 400 kV et comme premier résultat, la figure suivante montre la distribution des lignes équipotentielles (en traits verts) ainsi que les lignes du champ électrique (en traits rouges) au voisinage des conducteurs.

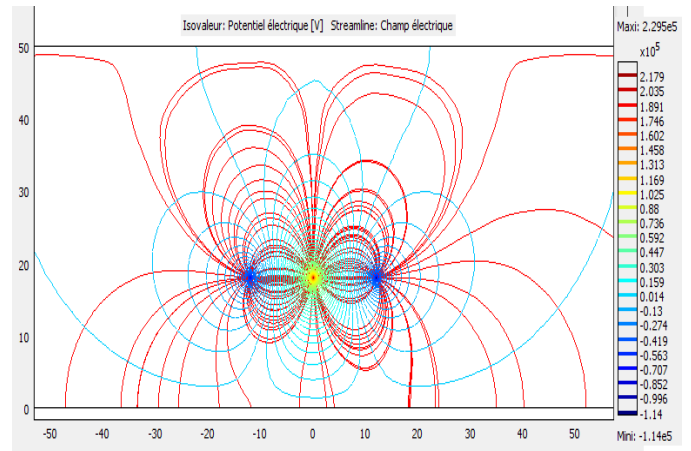


Fig.3 : Distribution des lignes de champ électrique et des lignes équipotentielles en absence d'un corps humain

La figure suivante montre la distribution du champ électrique pour une distance de 105 m de part et de l'autre de la ligne haute tension.

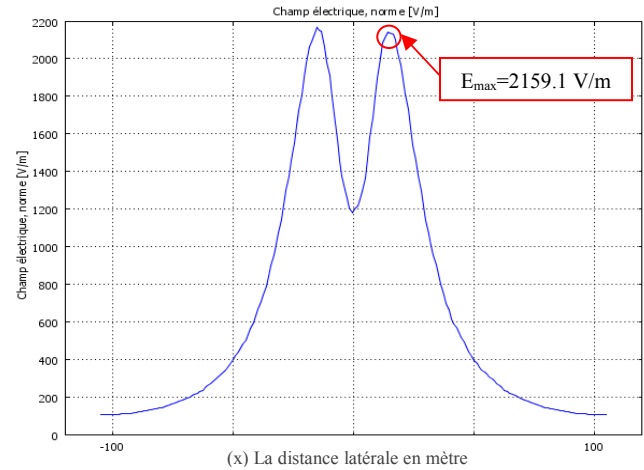


Fig. 4 : La variation du champ électrique en fonction de la distance latérale (cette allure est comparée avec le livre de la bibliothèque nationale du Québec-Canada [7] et l'article de M. Brahami et al. [8], la valeur maximum n'est pas la même, car les paramètres de la ligne et la tension sont différentes)

Le champ électrique augmente lorsqu'on s'approche de la ligne, il atteint un maximum égale à $E_{\max} = 2159.1 \text{ (V/m)}$ à une distance qui vaut 15 m de part et de l'autre du conducteur central. Il est bien clair que le champ électrique s'atténue si on s'éloigne de la ligne, il vaut 109 V/m pour une distance loin de 100 m.

Pour une ligne électrique de 400 kV et en présence d'un corps humain sous la ligne, la figure 5 expose la distribution des lignes équipotentielles et les lignes de champ électrique.

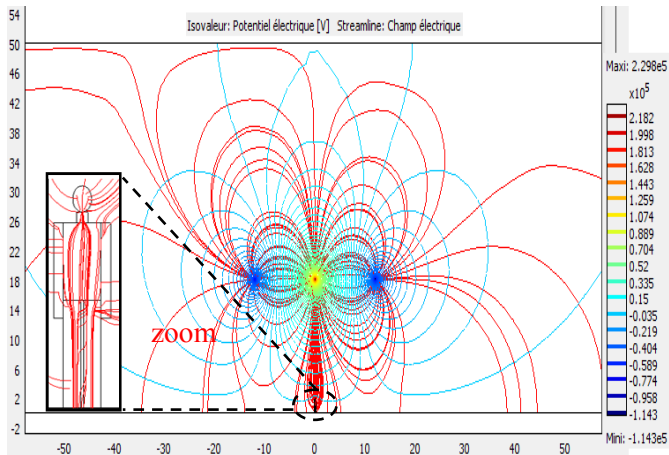


Fig. 5 : Distribution de lignes de champ électrique et des lignes équipotentielles en présence du corps humain

Il est bien clair que la présence d'un corps humain perturbe les lignes équipotentielles et les lignes du champ électrique figure 5. La zone rouge montre la concentration des lignes du champ autour du corps humain. Cette déformation est due à sa nature diélectrique.

Dans ce qui suit, on suppose que le corps humain se trouve sous la ligne dans des positions différentes par rapport au conducteur centrale. La figure 6 représente les résultats de calcul du champ électrique.

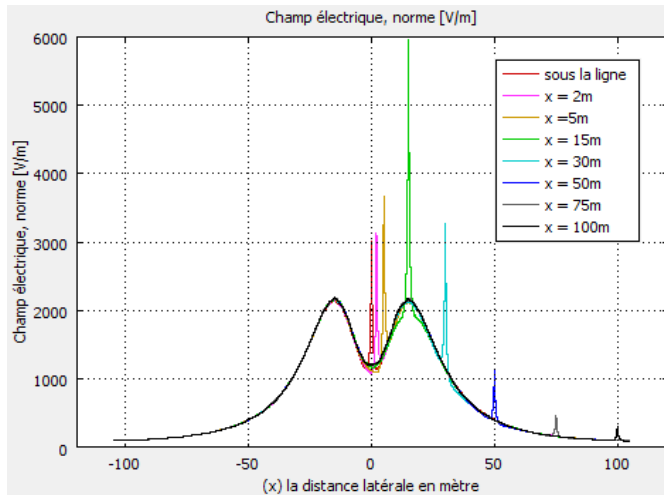


Fig. 6 : Distribution du champ électrique en fonction de la distance pour différentes positions du corps humain

Pour une position donnée, il est bien clair le champ électrique augmenté par rapport au champ électrique en absence du corps. Il atteint la valeur maximale de 5936.5 V/m pour une position située à 15 m. Cette valeur maximale est dangereuse si on la compare avec la norme officielle déterminée par les organisations ICNIRP (Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non-Ionisants) et OMS (Organisation mondiale de santé); cette valeur vaut 5000 V/m. Toutefois, la valeur calculée est estimée très dangereuse si on considère les valeurs préconisées par mesure et protection (10 V/m) [9,10].

B. Calcul du champ magnétique

En présence du corps humain, nous avons déterminé la distribution des lignes de champ magnétique et des lignes de la densité de flux magnétique comme le montre la figure 7.

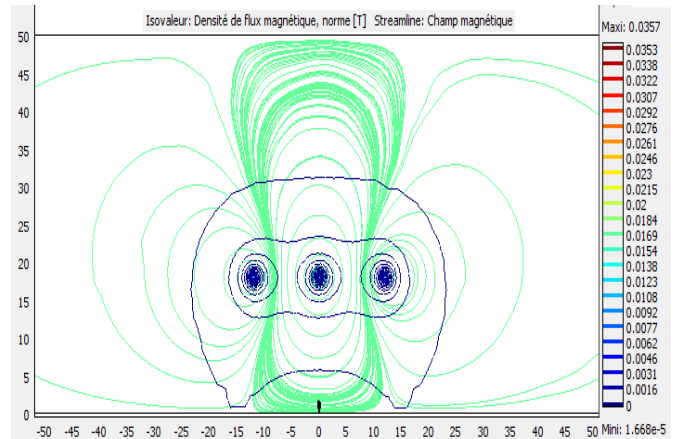


Fig. 7 : Distribution de lignes de champ et de la densité du flux magnétique en présence du corps humain

Dans ce cas, la présence d'un corps humain ne perturbe pas les lignes de champ (en traits verts) et les lignes de la densité de flux magnétique (en traits bleus). Cela est dû à la nature du corps humain car il présente une perméabilité proche du vide.

En effet, pour des positions différentes du corps, la figure suivante présente des courbes superposées. Elles représentent la distribution de la densité de flux magnétique en fonction de la distance latérale.

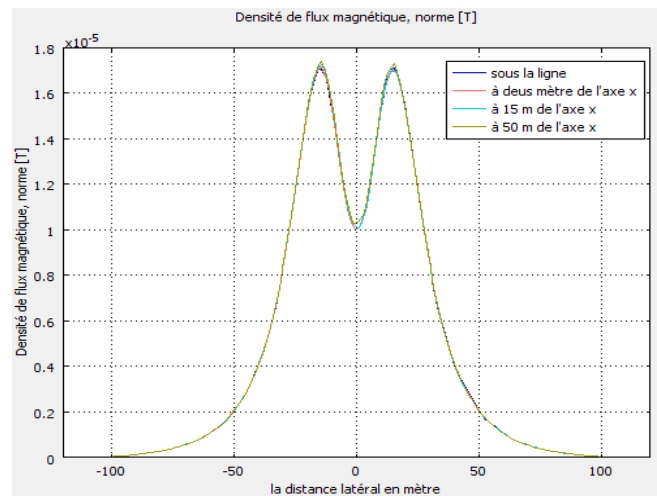


Fig.8 : La variation de la densité de flux magnétique en fonction de la distance latérale pour différentes positions du corps humain (cette allure est comparée avec une étude fait à l'université de Craiova- Roumania et le livre de la bibliothèque nationale du Québec Canada [11, 7, 8], la valeur maximum n'est pas la même, car les paramètres de la ligne et l'intensité de courant sont différentes)

La densité de flux magnétique atteint une valeur maximale d'environ 17.2 μ T pour une distance de 15 m par rapport au conducteur central. Cette valeur est loin d'être dangereuse si on la compare avec celle des normes de l'ICNIRP et l'OMS. Cette valeur vaut 100.

C. Calcul de la densité de courant à l'intérieur du corps humain

Dans ce qui suit, on calculera la densité du courant. Elle est induite à l'intérieur de l'organisme vivant sous l'effet du champ électrique et la densité du flux magnétique. Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$J = \sigma \cdot \pi \cdot r \cdot B \quad (11)$$

avec

r : rayon de la boucle de courant dans le corps

Cette formule est la fonction de transfert utilisée par l'ICNIRP pour établir les niveaux de référence du champ magnétique afin de ne pas dépasser la restriction de base en densité de courant [5]. Les valeurs calculées seront comparées avec celles des normes 2004/40/CE (pour la gamme de fréquences : 4-1000 Hz, $J = 10 \text{ (mAeff/m}^2\text{)}$); cette valeur représente les valeurs limites d'exposition (valeurs efficaces) [7, 8].

Dans ce cas, on suppose que le corps humain se trouve sous la ligne à la distance 15 m, où les valeurs du champ électrique et de la densité de flux magnétique sont maximales.

Après le calcul des différentes valeurs de champ électrique et de la densité de flux magnétique à l'intérieur de corps dans chaque tissu, on peut donc calculer les valeurs de la densité de courant induites par les différents champs. Les résultats de calcul sont représentés dans les figures 9 et 10 comme une courbe. Ces figures représentent la variation de la densité de courant en fonction de la permittivité et la conductivité des tissus étudiés en les comparant avec les normes préconisées.

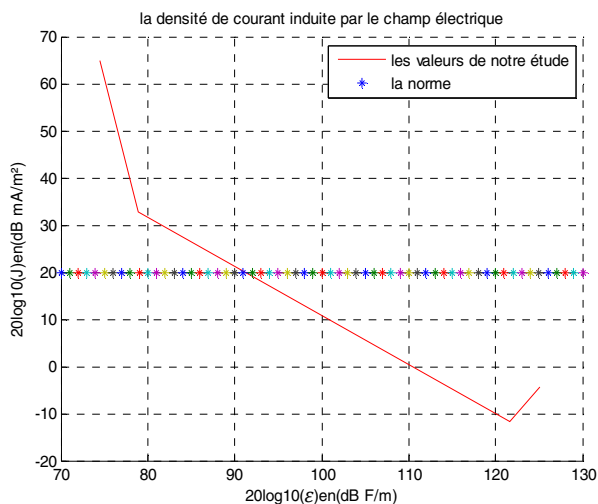


Fig. 9 : La densité de courant induit par le champ électrique en fonction de la permittivité

La figure 9 montre bien que le champ électrique à l'intérieur de corps dépend de la permittivité de tissu. Le champ est plus important pour une faible permittivité. Il est bien clair, aussi que pour les tissus ayant une permittivité inférieure à $3.63 \cdot 10^4$ la densité du courant dépasse la valeur seuil estimée égale à 10 mA/m^2 selon les normes. C'est le cas pour l'os et le sang, les valeurs de la densité du courant égalent à 43.8 et 1726.9 mA/m^2 respectivement.

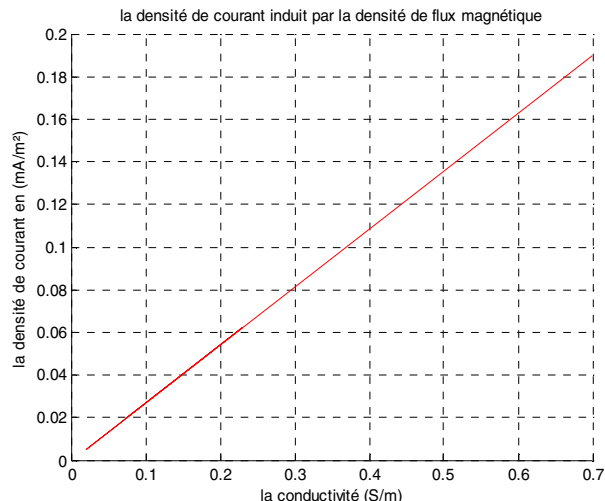


Fig. 10 : La densité de courant induit par le flux magnétique en fonction de la conductivité

La figure 10 montre bien que la densité du courant est proportionnelle à la conductivité du tissu. Le champ électrique induit par la densité de flux magnétique est constant pour tous les tissus, car la perméabilité est constante pour tous les tissus. Notons ici, que les valeurs calculées de la densité du courant sont faibles par rapport aux normes préconisées.

IV. CONCLUSION

Dans le présent travail, la problématique de la compatibilité électromagnétique a été posée : les phénomènes de perturbations du champ électrique et magnétique émises par les lignes électriques aériennes à HT et leur impact sur l'environnement et en particulier sur le corps humain ont été étudiés.

Pour déterminer le niveau du risque du rayonnement électromagnétique des lignes sur le corps humain, nous avons comparé les résultats obtenus avec celles prescrites par les recommandations biocompatibles des ondes à basses fréquences. Cela nous a permis de calculer la position critique à partir de laquelle on peut parler du risque de présence d'un corps humain au voisinage d'une ligne haute tension. Notons que cette position dépend toujours de la norme prise en considération.

Finalement, on peut conclure que l'installation des lignes à haute tension doit nécessairement se faire selon les normes internationales afin que leur fonctionnement soit électromagnétiquement compatible avec notre environnement.

REFERENCES

- [1] B. Haghi-ashtiani, Méthodes d'assemblage rapide et de résolution itérative pour un solveur adaptatif en équations intégrales de frontières destiné à l'électromagnétisme, thèse de doctorat, l'école centrale de LYON, France 1998.
- [2] M. Naïdjate. Développement d'un Code de Calcul pour l'Etude du Rayonnement Electromagnétique des Panneaux Solaires en Champ Proche ", Mémoire de magister, université Amar Telidji de Laghouat, Algérie 2012.
- [3] Clair Poignard, Une introduction à la modélisation électromagnétique des cellules biologiques, 3ième année d'école d'ingénieurs ISPG

- (Paris13) Cours Mathématiques Appliquées et Calcul Scientifique
Laboratoire Ondes et Acoustique, Paris 2007/2008.
- [4] P. Chouroun, La pollution électromagnétique, centre de pathologies environnementales et professionnelles, CHRU de Brest 2011.
- [5] J. P. Vautrin, Elaboration d'une stratégie d'évaluation des risques pour la santé liés aux champs électromagnétiques, Service de Biophysique médicale du CHU de Nîmes institut national de recherche et de sécurité, 2000.
- [6] A. Aurengo, J. Clavel, R. de Seze, P. Guénel, J. Jousot-Dubien, B. Veyret, Champs Magnétiques d'Extrêmement Basse Fréquence et Santé, Rapport remis à la DGS le 8 novembre 2004.
- [7] Bibliothèque nationale -Hydro Québec-, Le réseau électrique et la santé -les champs électriques et magnétiques-, 5ème édition, Bibliothèque Nationale de Québec, Canada novembre 2011.
- [8] M. Brahami, A. Bendaoud, H. Sayah, Pr. P. Pirotte, Calcul du champ électromagnétique au voisinage des lignes THT par la méthode CIGRE, Laboratoire de Conversion d'Energie et Commande LACEC UDL de Sidi Bel Abbès Algérie et Service Transport et Distribution d'Energie Electrique Université de Liège Belgique 2000.
- [9] J. P. Andretzko, Contribution à l'optimisation et à la modélisation d'un banc de mesure CEM - Application à la caractérisation de l'immunité des stimulateurs cardiaques, thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2007.
- [10] F. Couchard, Les champs électromagnétiques et la santé humaine. Etude de cas à Aubange, mémoire présentée pour l'obtention du diplôme de bachelier en écologie sociale Haute Ecole Libre De Bruxelles, Belgique 2011.
- [11] S. Pasare, Calcul du champ magnétique d'une ligne électrique aérienne à haute tension, No. 32; ISSN 1842-4805, Université de Craiova, Roumanie 2008