



**HAL**  
open science

# Modélisation du champ électromagnétique rayonné par l'arc en retour subséquent de foudre –approche d'analyse

Abdelghani Chahmi

► **To cite this version:**

Abdelghani Chahmi. Modélisation du champ électromagnétique rayonné par l'arc en retour subséquent de foudre –approche d'analyse. 1 ère Conférence Nationale sur la Compatibilité électromagnétique, Nov 2009, Tiaret, Algérie. hal-01906885

**HAL Id: hal-01906885**

**<https://hal.science/hal-01906885>**

Submitted on 27 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Modélisation du champ électromagnétique rayonné par l'arc en retour subséquent de foudre –approche d'analyse

A.CHAHMI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Entreprise de Construction et Réparation Navale, Mars el-Kebir, Oran  
chahmi\_g@yahoo.fr

## RESUME :

Plusieurs travaux, sont réalisés, dans le cadre de la modélisation du champ électromagnétique rayonné par l'arc en retour subséquent de foudre, l'objectif de cette communication est d'étudier les aspects théoriques lié au calcul du champ électromagnétique .

Ce calcul s'appuie sur distribution du courant à la base et le long du canal de foudre ainsi , pour effectuer ce calcul nous avons été amené à choisir la forme du courant à la base du canal de foudre. A cet effet une analyse comparative des différents modèles dits d'ingénieurs à été effectuée. A l'issue de cette analyse, le modèle « MTL » à été retenue. Les résultats obtenus, validés par des résultats expérimentaux, montre que les approches d'analyse et les outils informatiques utilisés sont satisfaisants.

**MOTS-CLES :** Perturbation électromagnétique, la foudre, champ électrique vertical, champ électrique azimutal  
Modèle ligne de transmission.

## 1. INTRODUCTION

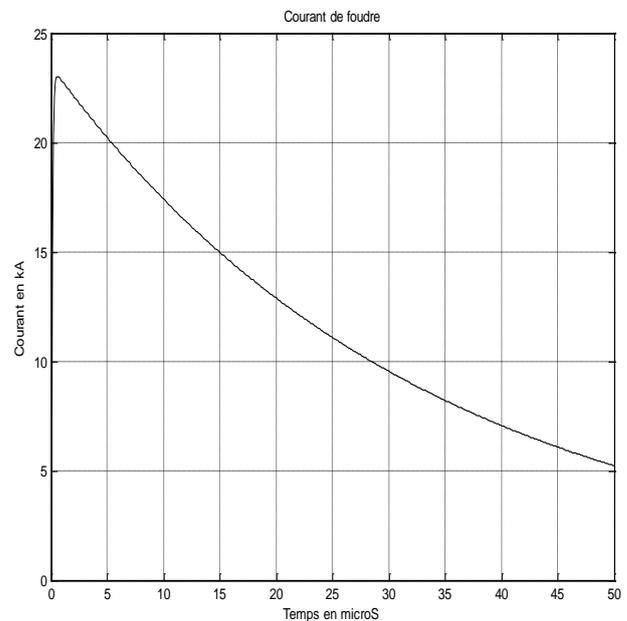
Le recours à des outils numériques pour l'analyse des problèmes de CEM est devenu une nécessité croissante afin d'avoir des résultats réalistes à partir de modèles établis .Le calcul du champ électromagnétique constitue dans ce sens un grand pôle d'intérêt .l'enjeu de telles études est la mise en œuvre d'outils numériques pour l'ingénieurs afin d'analyser les perturbations induites par ces champs sur les systèmes électriques .En effet ce système deviennent de plus en plus vulnérables aux agressions électromagnétiques

## 2. PHENOMENOLOGIE DE LA Foudre

La foudre est un phénomène électrique lié a la formation de nuages électrisés : les nuages d'orage. La foudre n'est qu'une manifestation de l'orage, les deux autres manifestations tout aussi dangereuses, étant les précipitations (pluie et grêles) et le vent. La foudre est une très violente et brève décharge d'électricité, une sorte d'immense étincelle de plusieurs kilomètres de long, qui travers l'espace atmosphérique.

## 3. Modélisation du courant à la base du canal de la foudre

**Bi exponentiel :**  $i(t) = I [ \exp (t / \tau_1) - \exp (t / \tau_2) ]$   
 $is(t) = I / 2 [ \exp (t / \tau_1) - \exp (t / \tau_2) ]$



## Modélisation du courant à la base du canal de la foudre

### Modèle de 'Heidler'

$$I(0, t) = i_1(t) + i_2(t)$$

$$i_1(t) = \frac{I_1}{\eta_1} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{n1}}{1 + (t/\tau_1)^{n1}} \exp(t/\tau_{12})$$

$$i_2(t) = \frac{I_2}{\eta_2} \cdot \frac{(t/\tau_{21})^{n2}}{1 + (t/\tau_{21})^{n2}} \exp(t/\tau_{22})$$

$$\eta_1 = \exp[-(\tau_1/\tau_2)(n1\tau_1/\tau_2)^{1/n1}]$$

|      | I1         | $\tau_{11}$    | $\tau_{12}$    | n1 | I2         | $\tau_{21}$    | $\tau_{22}$   | n2 |
|------|------------|----------------|----------------|----|------------|----------------|---------------|----|
| Cas1 | 5.20<br>kA | 0.2<br>$\mu$ s | 1.2<br>$\mu$ s | 2  | 5.55<br>kA | 1.9<br>$\mu$ s | 75<br>$\mu$ s | 2  |
| Cas2 | 10.5<br>kA | 0.6<br>$\mu$ s | 0.9<br>$\mu$ s | 2  | 7<br>kA    | 1.4<br>$\mu$ s | 14<br>$\mu$ s | 2  |

## Modélisation de la distribution du courant de foudre dans le canal

Modele MTL ( modified transmission line)

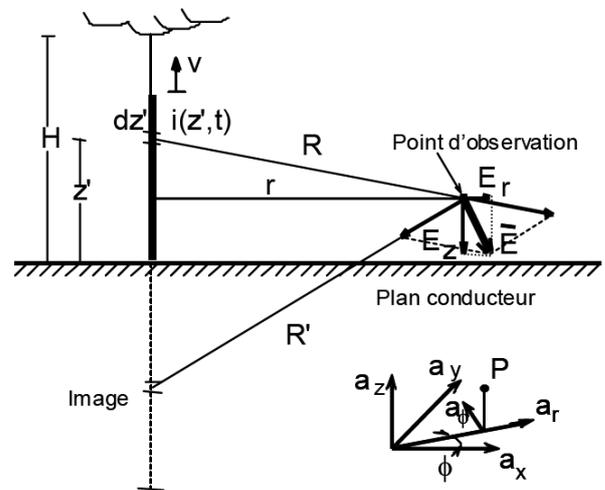
$$\text{Si } zc < v. t \quad i(zc, t) = \exp(\lambda/zc) \cdot i(0, t-zc/v)$$

$$\text{Si } zc < v.t \quad i(zc, t) = 0$$

$$\text{Si } zc > H \quad i(zc, t) = 0$$

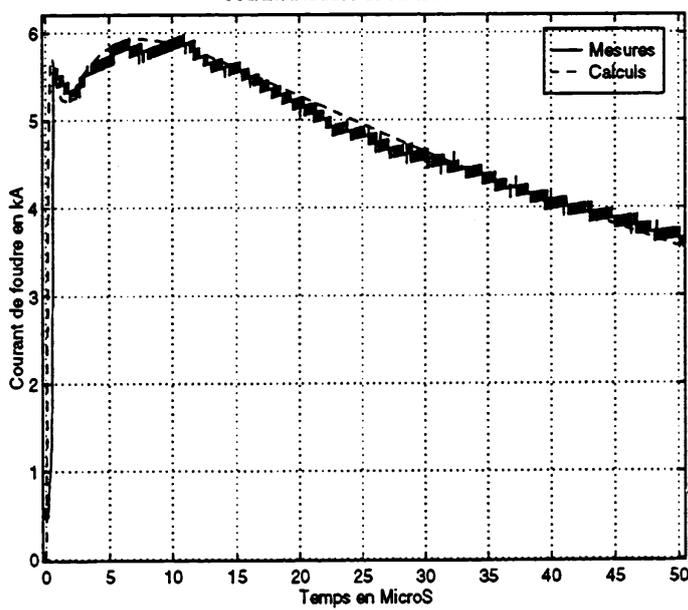
## 4. Calcul du Champ Electromagnétique

Géométrie du problème :

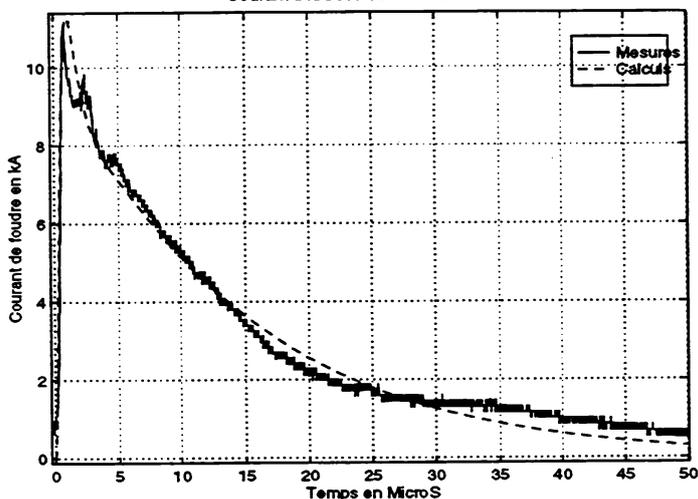


Cas 1 : courant à la base du canal de foudre  
Ayant les paramètres suivants :

### Cas 1 (19089501.A2) :



### Cas 2 (12089504.A2) :



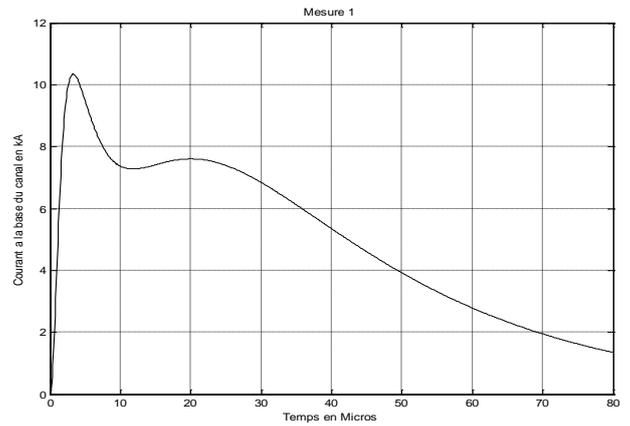
| I1     | $\tau_{11}$ | $\tau_{12}$ | n1 | I2   | $\tau_{21}$ | $\tau_{22}$ | n2 |
|--------|-------------|-------------|----|------|-------------|-------------|----|
| 10,5kA | 2           | 4,8 $\mu$ s | 2  | 9 kA | 20 $\mu$ s  | 26 $\mu$    | 2  |

Pour le champ électrique vertical  $E_z$  :

$$E_{Z\acute{e}l}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{2(z-z_c)^2 - r^2}{R^5} \int_0^t i(z_c, \tau - R/c) d\tau dz_c$$

$$E_{Zind}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{2(z-z_c)^2 - r^2}{cR^4} i(z_c, t-R/c) dz_c$$

$$E_{Zray}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{r^2}{c^2 R^3} \cdot \frac{\partial}{\partial t} i(z_c, \tau - R/c) dz_c$$



Pour le champ horizontal  $E_R$  :

$$E_{rel}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{2r(z-z_c)^2}{R^5} \cdot \int_0^t i(z_c, \tau - R/c) d\tau dz_c$$

$$E_{rind}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{3(z-z_c)^2}{cR^4} i(z_c, t - R/c) dz_c$$

$$E(r, z, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-H}^H \frac{r(z-z_c)^2}{c^2 R^3} \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \cdot i(z_c, t - R/c) dz_c$$

Pour le champ azimutal  $H_\phi$  :

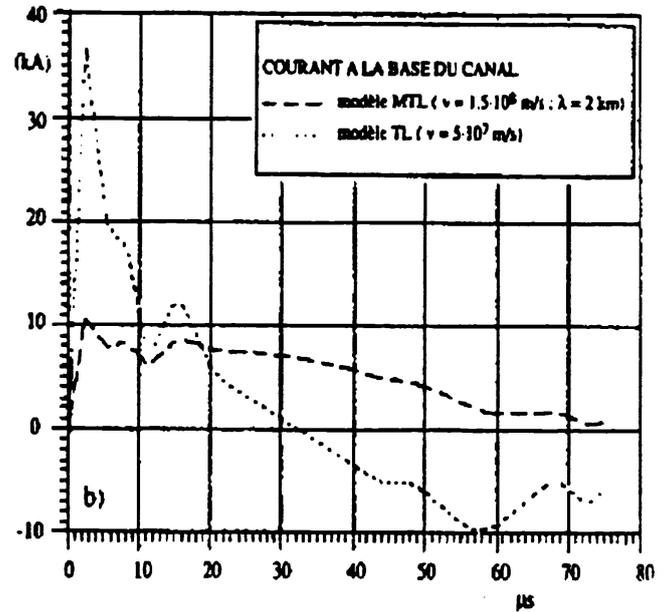
$$H_{ind}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi} \int_{-H}^H \frac{r}{R^3} i(z_c, t-R/c) dz_c$$

$$H_{ray}(r, z, t) = \frac{1}{4\pi} \int_{-H}^H \frac{r}{R^3} \frac{\partial i}{\partial t} \cdot i(z_c, t - R/c) dz_c$$

Avec :

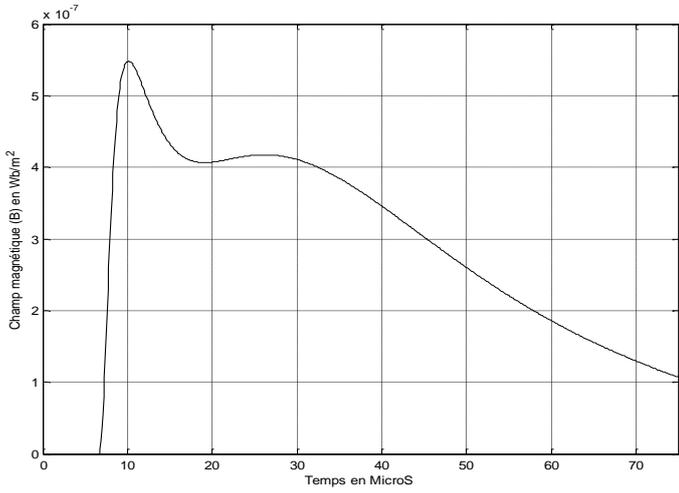
$$R = \sqrt{r^2 + (z - z_c)^2}$$

Courbe obtenue par simulation

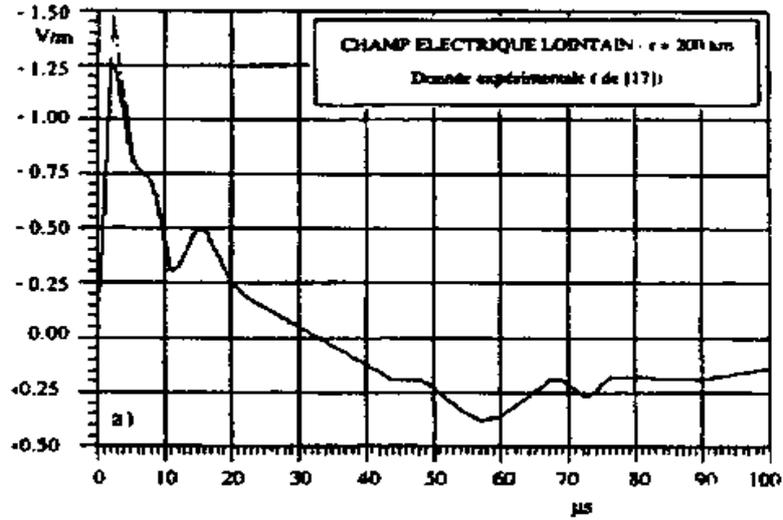


Courbe expérimentale

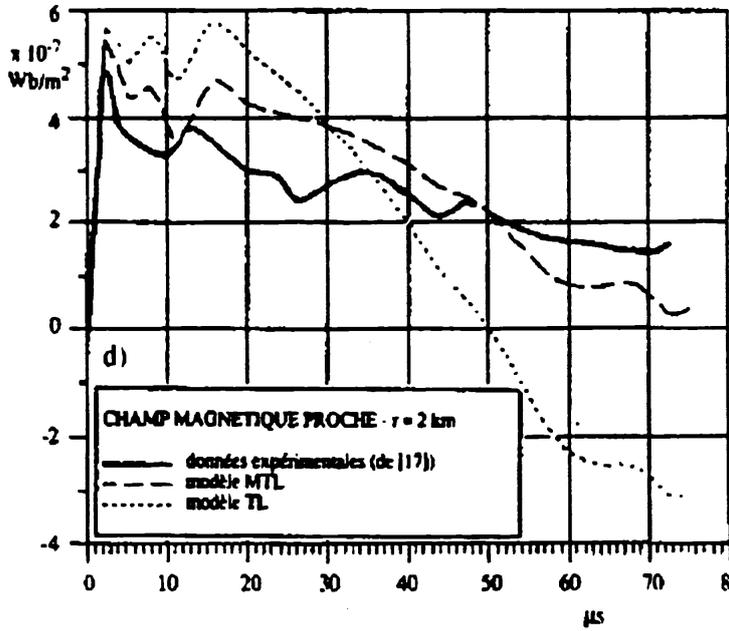
La comparaison de ces deux résultats montre un bon accord, ce qui permet de valider l'approche théorique adoptée par le courant à la base du canal



Courbe obtenue par simulation

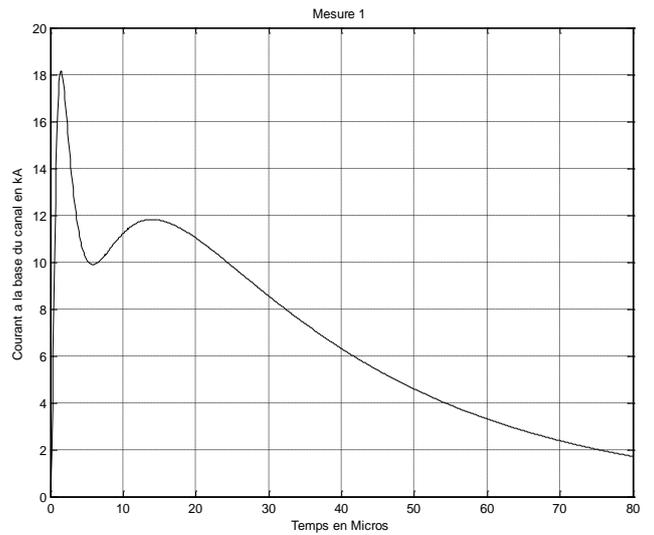


Courbe expérimentale  
Champ électrique vertical a 200Km du point



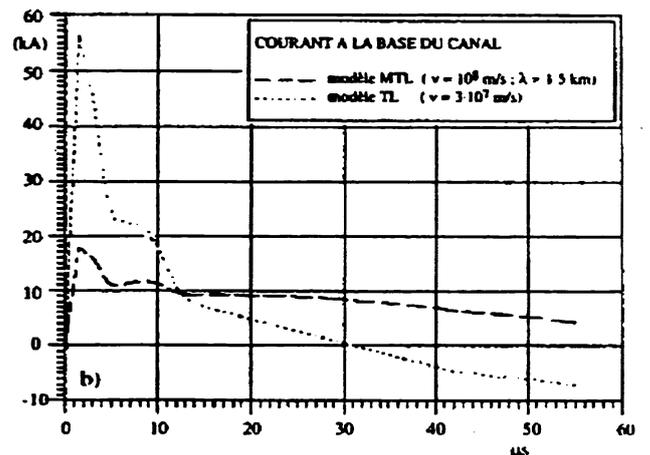
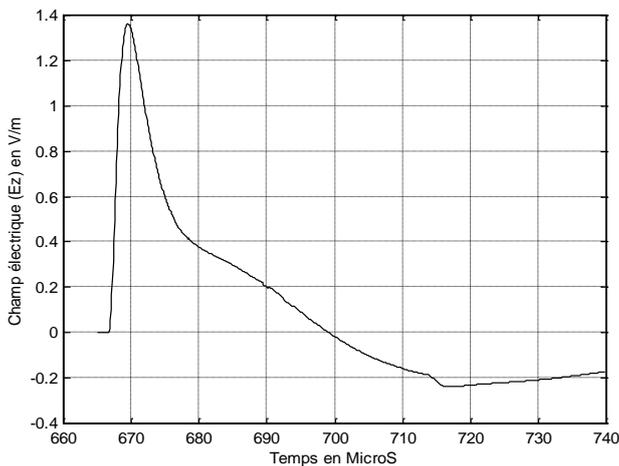
Courbe expérimentale

| I1     | $\tau_{11}$ | $\tau_{12}$ | n1 | I2    | $\tau_{21}$ | $\tau_{22}$ | n2 |
|--------|-------------|-------------|----|-------|-------------|-------------|----|
| 19,5kA | 1 $\mu$ s   | 2 $\mu$ s   | 2  | 12 kA | 8 $\mu$ s   | 30 $\mu$    | 2  |

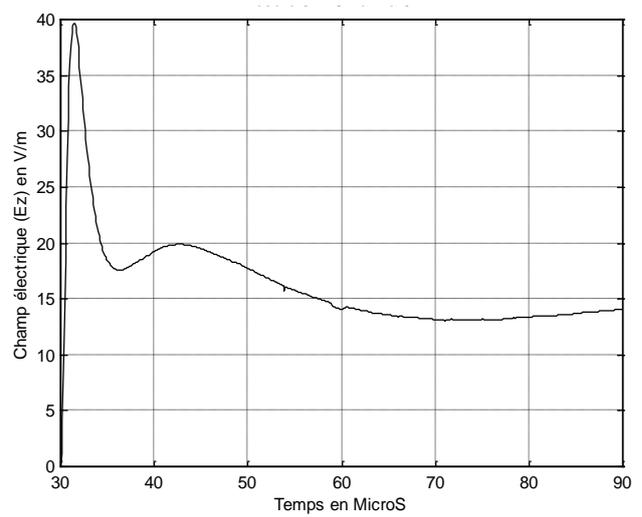


courbe obtenu par simulation

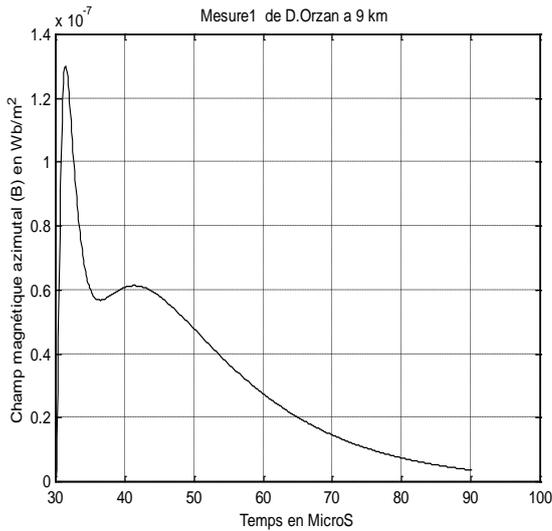
Champ magnétique azimuthal à 2Km du point d'impact



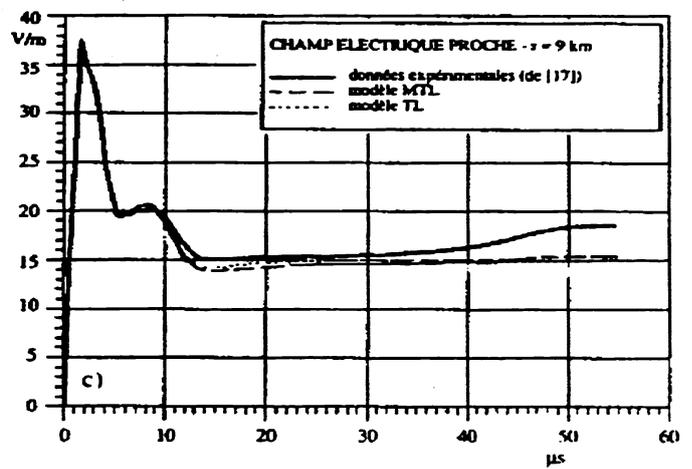
La comparaison de ces deux résultats montre un bon accord, ce qui permet de valider l'approche théorique adoptée par le courant à la base du canal. Dans les figures suivantes nous représentons respectivement les allures du champ magnétique azimutal calculé et mesuré pour une distance du point d'impact égale à 9 Km. La comparaison des résultats présentés montre une bonne concordance notamment en ce qui concerne le premier pic



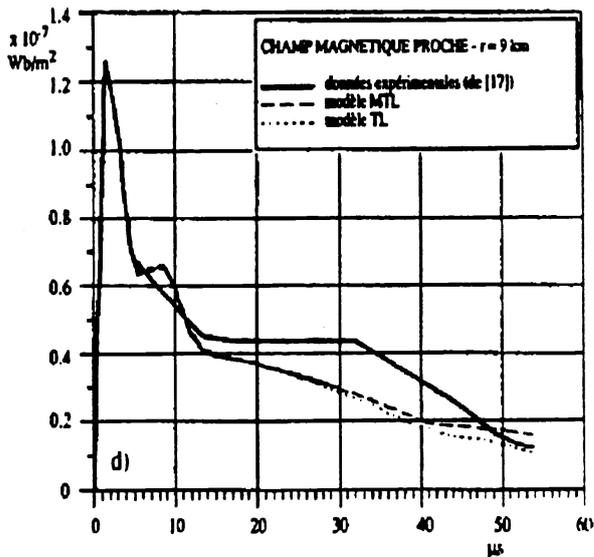
Courbe obtenue par simulation



Courbe obtenue par simulation



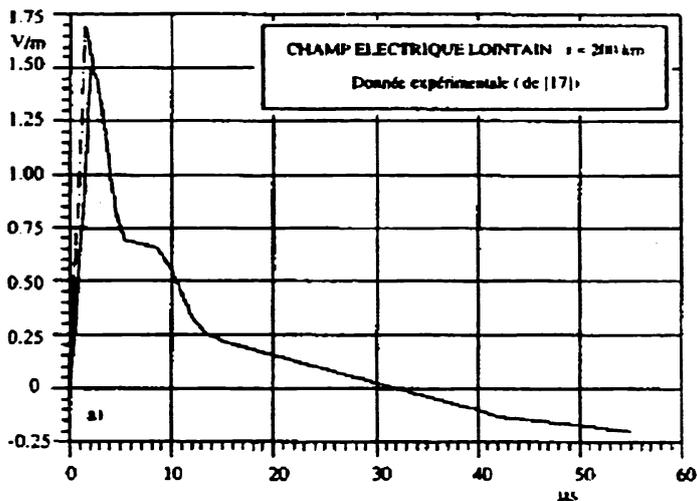
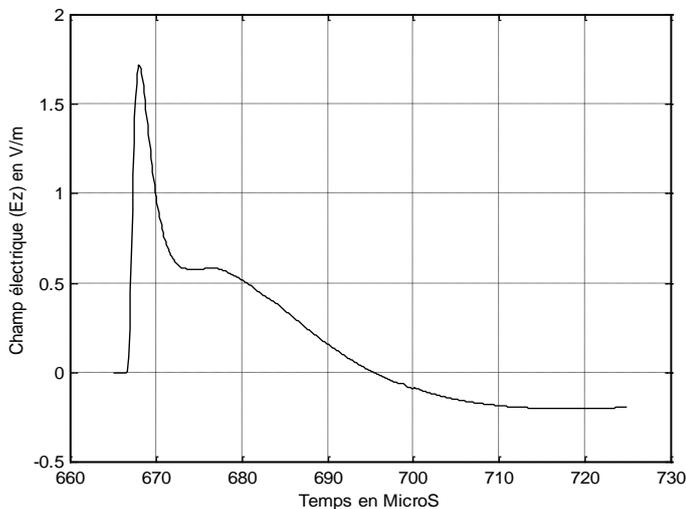
Courbe expérimentale



Champ magnétique azimutal à 9 Km du point d'impact

Champ électrique vertical à 9Km du point

Dans les figures nous représentons l'allure du champ électrique vertical calculé et mesuré à 200Km. la confrontation des résultats montre que pour cette distance lointain l'allure du champ mesuré est retrouvée par le calcul.



Courbe expérimentale

### Champ électrique vertical à 200Km du point d'impact

#### 5. CONCLUSION:

Le calcul du champ électromagnétique rayonné par la phase d'arc en retour d'un coup de foudre descendant a été effectué avec succès. La mise en œuvre informatique de ce calcul a été réalisée en

développant un programme de simulation sous environnement MATLAB qui offre une convivialité très intéressante. Les résultats obtenus permettent d'envisager Le calcul des surtensions induites, par couplage électromagnétique, dans les lignes de transport d'énergie

#### 6. REFERENCES

- 1- B.GHEMRI, « Etude et analyse du couplage champ électromagnétique ligne de transmission », Thèse de magister, département électrotechnique, USTO,2004.
- 2-B.NEDJADI, « Etude de l'effet d'un champ électromagnétique rayonné par un coup de foudre sur un câble enterré », Thèse de magister, département électrotechnique, USTO,2005.
- 3-Z.AZZOUZ, S.Tabbal, S.Maya, « La compatibilité électromagnétique :concepts de base », journée technique sur la compatibilité, école militaire polytechnique de bordj El bahri. Avril 2002.
- 4-R.Tajer, « Analyse des problèmes de compatibilité électromagnétique par logiciel FLUX2D, projet de fin d'étude, département électrotechnique ,USTO,2002.
- 5-A.CHAHMI , « Modélisation du champ électromagnétique rayonné par l'arc en retour subséquent de foudre-Approche d'analyse », Thèse de magister ,USTO,2007
- 6-P.Degauque,J.Hamelin, « Compatibilité électromagnétique », Edition Dunod,1990.
- 7-A.Darcherif, « Contribution a la modélisation des phénomènes d'interférences électromagnétiques dans les réseaux électriques »,Thèse de doctorat de L'INPG de Grenoble,1990.
- 8-G.C Champiot, « Compatibilité électromagnétique-présentation générale ». Technique de l'ingénieur, traité de génie électrique,D1305.