

Chapitre III Simulation du champ EM généré par l'interaction d'un coup de foudre avec un objet élevé

III. 1 Introduction

Selon la littérature, la vitesse de l'arc en retour peut être choisie entre le tiers et la moitié de la vitesse de la lumière, avec une moyenne égale à $120\text{m}/\mu\text{S}$.

Dans ce chapitre, nous allons évaluer les composantes du champ électromagnétique proche engendré par l'interaction de la foudre avec la tour Peissenberg de hauteur 168 m pour les trois valeurs de la vitesse de l'arc en retour, à différents niveau du sol (au-dessous ,au niveau ,en dessus) caractérisé par une conductivité finie $\sigma=0.01\text{S}/\text{m}$, en appliquant le code de calcul développé au sein du laboratoire Génie Electrique et des Plasmas [22], basé sur la méthode numérique FDTD, Puis procéder à l'analyse des formes d'ondes du champ électrique et magnétique.

III.2 Présentation de la Géométrie du problème

Dans notre travail, nous allons considérer le cas de la tour Peissenberg de hauteur 168m, un sol de conductivité finie $\sigma=0.01\text{S}/\text{m}$, le point d'observation se situe à une distance de 50m de la tour, a différents niveau du sol. Nous allons procéder à faire varier la vitesse de propagation du front de l'arc en retour dans le code de calcul développé au sein du laboratoire génie électrique et des plasma basé sur le méthode FDTD 2D élaboré en FORTRAN. On va prendre trois valeurs de vitesse de la propagation du front d'onde [22][25][27].

Tour 168 m	Ez/Hphi	Ez/Hphi	Ez/Hphi
Vitesse de l'arc en retour	1 m /s	1.2 m/s	1.5 m/s
Conductivité Finie	0.01S/m	0.01S/m	0.01S/m
Modèle de la distribution du courant le long du canal et le long de la tour	Modèle de Baba	Modèle de Baba	Modèle de Baba

Nos observations se limiteront à voir l'effet de la vitesse de propagation du front de l'arc en retour pour ces trois valeurs choisis. Donc il faut tout d'abord donner la structure géométrique appropriée pour nous aider à modéliser le problème.

La figure III-1 et la figure III.2 présentent la structure géométrique et le domaine d'étude.

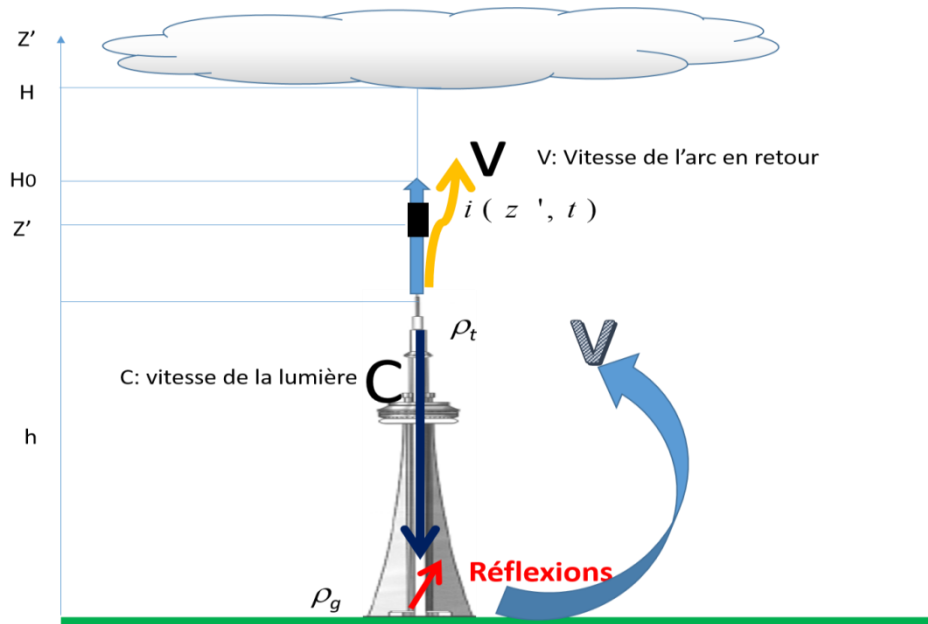


Figure III.1 la structure géométrique, tour 168m, $\rho_t = -0.53$, $\rho_g = 0.7$ $\sigma = 0.01\text{S/m}$

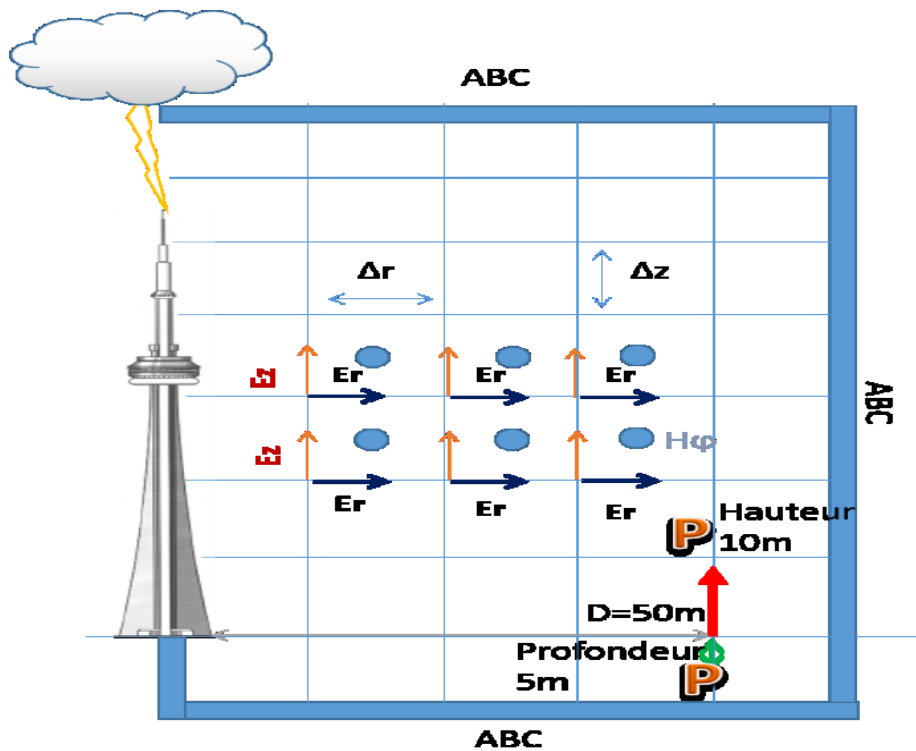


Figure III.2 Domaine d'étude

III.2.1 Condition aux limites

Lorsque les équations du champ électromagnétique sont résolues dans le domaine temporel en utilisant des méthodes aux FDTD dans un espace non borné, il doit y avoir une méthode limitant le domaine dans lequel le champ est calculé. Ceci est réalisé en employant des conditions aux limites absorbantes (Absorbing Boundary Conditions : ABC) aux frontières artificielles du domaine pour simuler l'espace non borné.

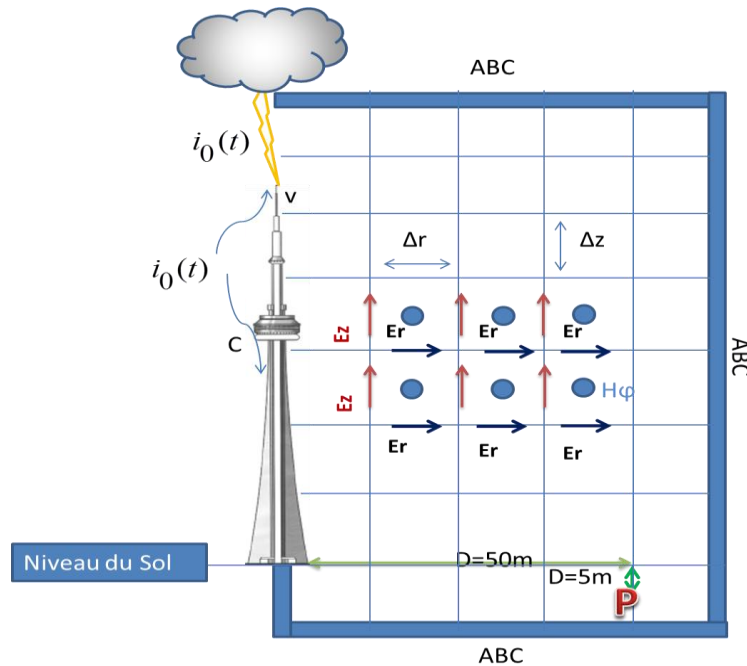


Figure III.3 Maillage 2D-FDTD (coordonnées cylindriques)

Dans ce travail, on a appliqué les conditions aux limites absorbantes au premier ordre développées par Mur.

La condition de stabilité utilisée $\frac{\Delta r}{\lambda} < \frac{1}{10}$ et $\frac{\Delta z}{\lambda} < \frac{1}{10}$

III.2.2 Paramètres de simulation :

H : hauteur du canal de foudre, H=8000m

λ : Constante de décroissance dans le modèle MTLE $\lambda= 2000$ m

C : vitesse de lumière ; $c=3*10^8$ m/S

Δt : pas temporel ; $\Delta t=1$ ns

$\mu_0=12.56e^{-7}$

$\epsilon_0 = 8.842e^{-12}$

III.2.3 Paramètres du courant de court-circuit $i_{sc}(t)$ [23].

Dans le tableau III.2, les paramètres du courant de court-circuit selon la référence [23].

Tableau III.2 Paramètres du courant de court-circuit

	$I_{01}(A)$	$\tau_{11}(\mu)$	$\tau_{11}(\mu)$	n_1	$I_{02}(KA)$	$\tau_{11}(\mu)$	$\tau_{11}(\mu)$	n_2
Arc en retour subséquent	10.7	0.25	2.5	2	6.5	2.1	230	2

III.3 Résultats de simulation et commentaire

Nous présentons nos résultats de simulation obtenus du calcul du champ électrique radial, vertical et champ magnétique azimuthal générés par l'interaction d'un coup de foudre frappant directement une tour élevée (tour Peissenberg) grâce au code de calcul élaboré en Fortran, par [8], aux points d'observations considérés situés Au-dessus du sol, au niveau du sol et en fin en dessous du sol .Trois valeurs différentes de la vitesse sont considérées dans cette étude à savoir $V=100m/\mu s$, $V=120m/\mu s$, $V=150m/\mu s$.

III.4 Champ électrique vertical

Les figures (III.4, III.5, III.6) présentent les résultats de simulation du champ électrique vertical calculé à la distance de 50 m du canal de foudre qui frappe l'objet élevé (tour 168m), pour les trois différentes valeurs de vitesse de l'arc en routeur

L'analyse du champ électrique se fera pour les trois niveaux, au-dessous du sol au niveau du sol et en-dessus du sol de conductivité finie.

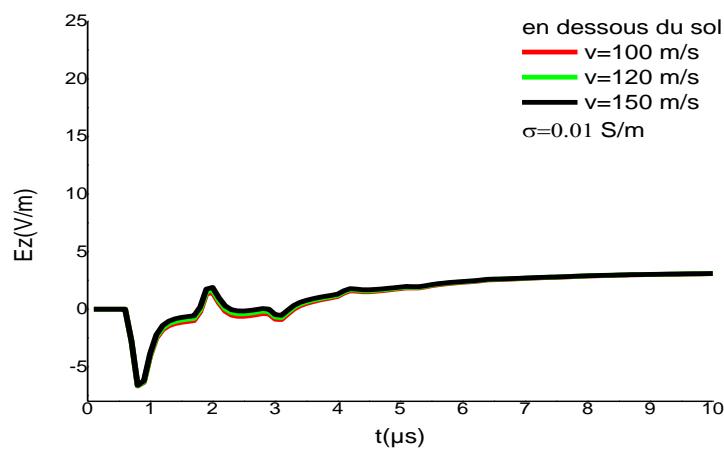


Figure III.4 Champ électrique vertical calculé à la distance de 50 m de la tour *Peissenberg* (168 m) et à la profondeur de 5 m en dessous du sol.

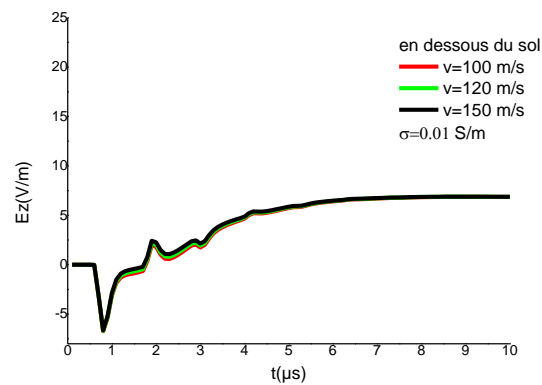


Figure III.5 Champ électrique vertical calculé à la distance de 40 m de la tour *Peissenberg* (168 m) et à la profondeur de 5 m en dessous du sol.

On remarque :

- les amplitudes du champ électrique vertical en dessous du sol similaires et restent les mêmes pour les trois valeurs de la vitesse de l'arc en retour.
- nous observons aussi pour une autre distance égale à 40m de la tour, les formes d'ondes du champ électrique vertical en dessous du sol pour les trois valeurs de la vitesse de l'arc en retour ne changent pas.

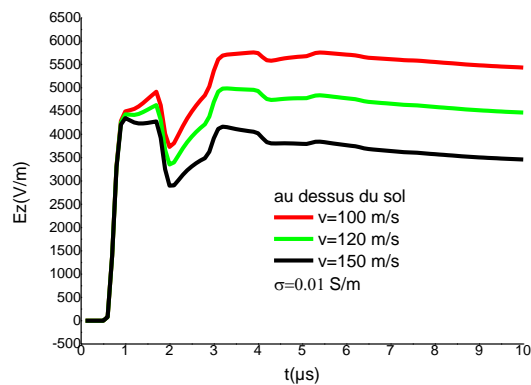


Figure III.6 Champ électrique vertical calculé à la distance de 50 m de la tour *Peissenberg* (168 m) et à la hauteur de 10 m au-dessus du sol.

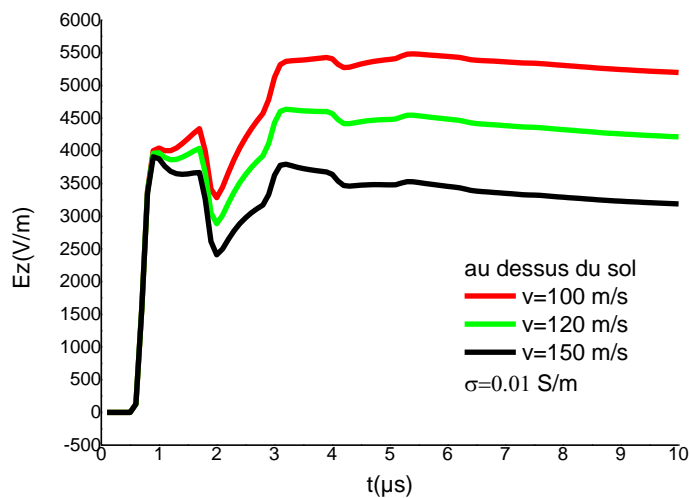


Figure III.7 Champ électrique vertical calculé à la distance de 40 m de la tour Peissenberg (168 m) et à la hauteur de 10 m au-dessus du sol.

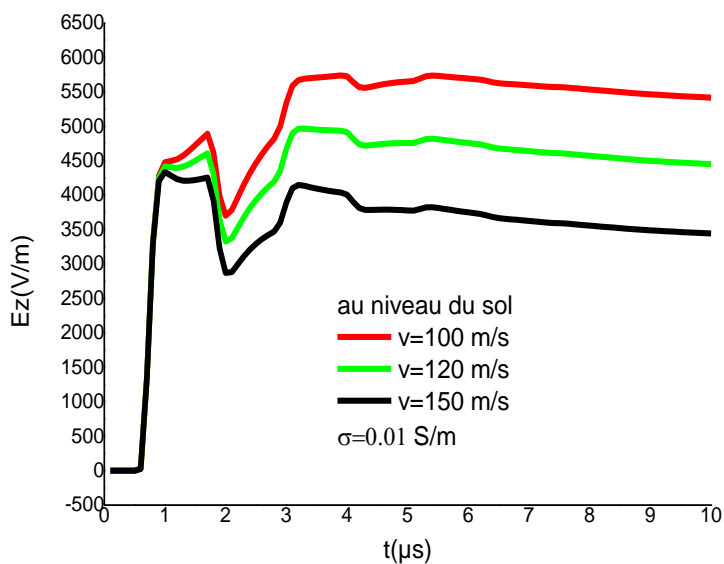


Figure III.8 Champ électrique vertical calculé à la distance de 50 m de la tour (168 m).

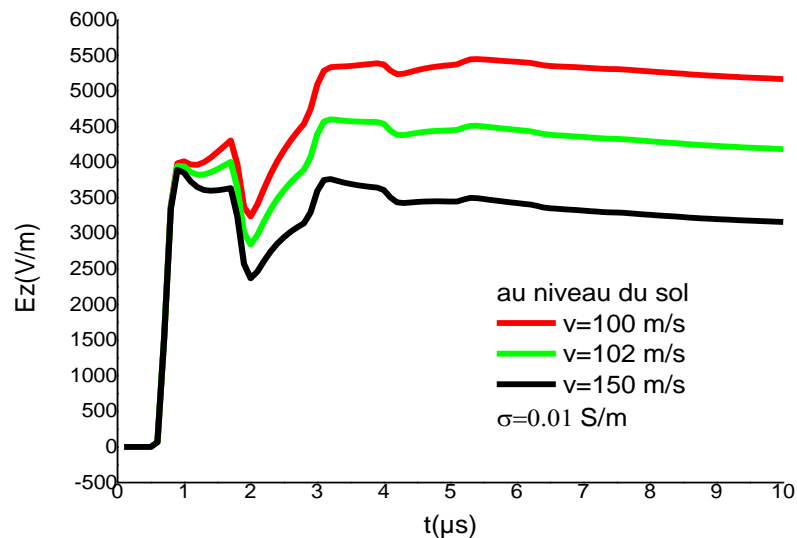


Figure III.9 Champ électrique vertical calculé à la distance de 40 m de la tour (168 m).

On observe sur les figures (III.6, III.7, III.8, III.9) que la variation de la vitesse de l'arc en retour influe clairement dans l'allure du champ électrique vertical, si la valeur de la vitesse augmente, le champ électrique vertical diminue en amplitude, cependant le temps de montée reste le même pour les trois cas, les formes d'ondes du champ électrique vertical sont les mêmes au-dessus du sol et au niveau du sol.

On conclut qu'il existe une relation inverse entre la vitesse et le champ électrique vertical.

III.5 Champ électrique radial

Les figures (III.10, III.11, III.12) présentent les résultats de simulation du champ électrique radial calculé à distance de 50 m pour différentes vitesses de l'arc en retour du canal de foudre et l'objet élevé (tour 168m), au-dessous du sol au niveau du sol et en-dessus du sol de conductivité finie.

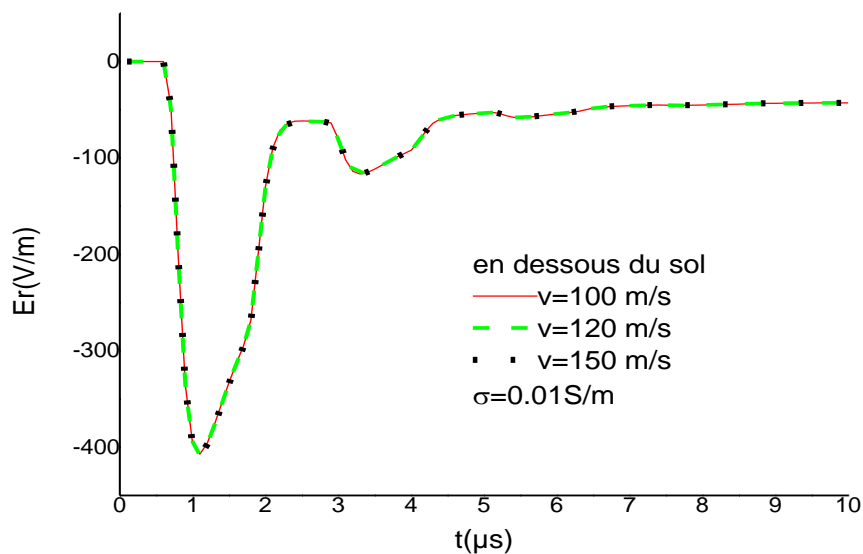


Figure III.10 Champ électrique radial calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m) et à la profondeur de 5 m en dessous du sol.

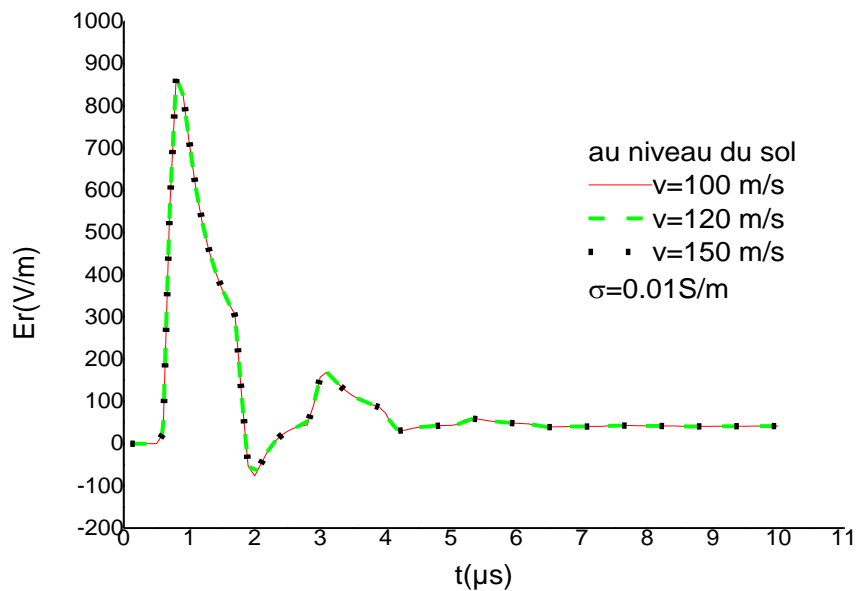


Figure III.11 Champ électrique radial calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m).

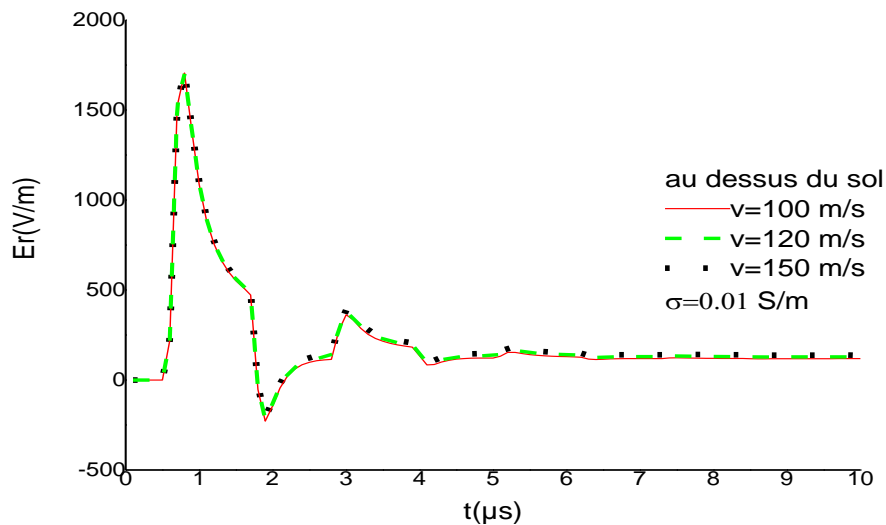


Figure III.12 Champ électrique radial calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m) et à la hauteur de 10 m au-dessus du sol.

On remarque que :

- Le champ électrique radial en dessous du sol, au-dessus du sol et au niveau du sol n'est pas affecté par le changement de la vitesse de l'arc en retour.

III.6 Champ magnétique azimuthal

Les figures (III.13, III.14, III.15) présentent les résultats de simulation du champ magnétique azimuthal calculé à la distance de 50 m pour différentes vitesses de l'arc en retour du canal de foudre et l'objet élevé (tour 168m), au-dessous du sol au niveau du sol et en-dessus du sol de conductivité finie.

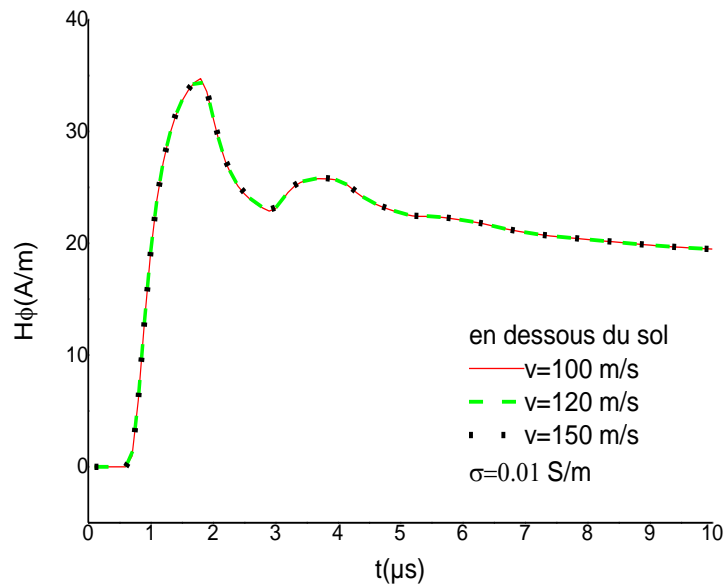


Figure III.13 Champ magnétique azimuthal calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m) et à la profondeur de 5 m en dessous du sol.

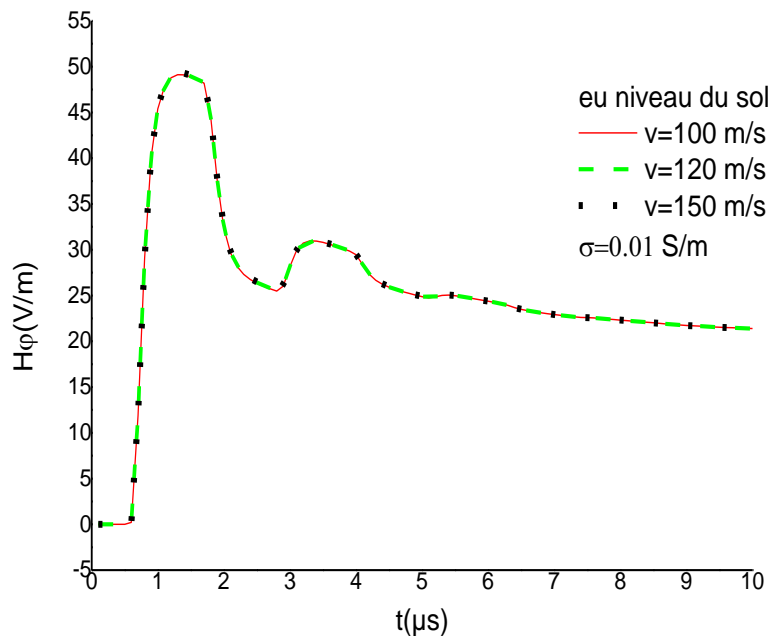


Figure III.14 Champ magnétique azimuthal calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m).

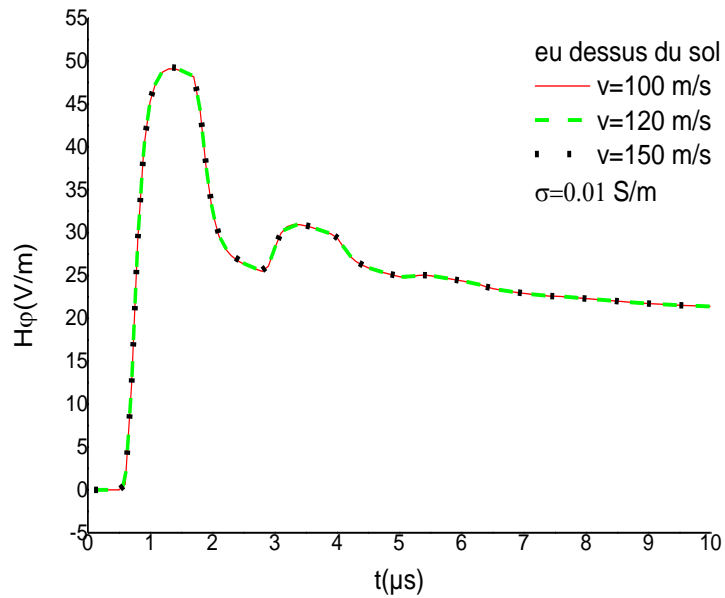


Figure III.15 Champ magnétique azimuthal calculé à la distance de 50 m de la tour Peissenberg (168 m) et à la profondeur de 10 m au-dessus du sol.

On observe sur les figures III.13et III.14 et III.15 que le champ magnétique azimuthal au niveau du sol et au-dessus du sol et en dessous du sol n'ai pas affecté par le changement de vitesse de l'arc en retour.

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une analyse du champ électromagnétique rayonné par la foudre tombant sur une tour de hauteur 168m. Les composantes du champ électromagnétique sont évaluées pour des points d'observations situés à différentes vitesses de l'arc en retour, au-dessus sur et en dessous d'un sol de conductivité finie.

On va conclure quelques points :

- la forme d'onde du champ électrique vertical en dessous du sol similaires et ne sont pas affectées par le changement de la vitesse de l'arc en retour.
- Nos observations restent les mêmes lors du changement de la distance du point d'impact de la tour ($r=40m$).
- les formes d'ondes du champ électrique radial en dessous du sol, au-dessus du sol et au niveau du sol similaires et ne sont pas affectées par le changement de la vitesse de l'arc en retour.
- On observe quand on augmente la vitesse de l'arc en retour le champ électrique vertical est diminué en amplitude, au-dessus du sol et au niveau du sol.
- On conclut qu'il existe une relation inverse entre la vitesse et l'amplitude du champ électrique vertical.
- la forme d'onde du champ magnétique azimuthal pour les trois niveaux du sol n'ai pas affectée par le changement de la vitesse de l'arc en retour.