

Introduction

La fonctionnalité « localisation de défaut » est un processus très important requis par le fonctionnement des systèmes de puissance. Elle a une grande influence sur la sécurité et la qualité de l'énergie.

Ce chapitre vise à étudier la possibilité d'application de la théorie du retournement temporel électromagnétique (RTEM) au problème de diagnostic filaire. L'idée de base du RTEM est de profiter de l'avantage de la réversibilité dans le temps de l'équation d'onde. Ce concept permet « le retournement temporel » des ondes au niveau des points d'observation du système pour focaliser l'emplacement de la source d'énergie transitoire.

L'objectif consiste à démontrer l'applicabilité de la méthode RTEM pour la localisation de défauts en validant une technique qui consiste à focaliser l'emplacement du défaut. Ensuite nous allons étudier le comportement de la ligne après défaut en observant les tensions générées par celui-ci puis dégager des avantages de la technique RTEM.

Le chapitre est scindé en deux parties qui sont : la partie théorique et la partie pratique.

Dans la première partie, nous allons d'abord démontrer théoriquement l'applicabilité de la méthode RTEM pour le diagnostic filaire. Cette méthode est donc proposée et illustrée pour le cas simple d'une ligne de transmission monofilaire. Ensuite nous allons étudier le comportement de la ligne après défaut en observant les tensions générées par celui-ci.

Dans la deuxième partie, nous allons simuler les programmes pour pouvoir valider la méthode, commenter les résultats et identifier quelques avantages de la technique.

4.1. Partie théorique

4.1.1. Application de la méthode RTEM pour la localisation de défaut

Afin de fournir une utilisation plus adéquate de la technique RTEM, nous considérons une ligne de transmission unifilaire sans perte (**Figure IV.2**) de longueur l . Les paramètres de la ligne peuvent se référer à une ligne aérienne de distribution. En particulier l'impédance d'onde ou impédance caractéristique est de l'ordre de quelques centaines d'ohms et la vitesse de propagation est celle de la lumière c.à.d. c . Nous supposons qu'aux deux extrémités de la ligne, sont connectés des transformateurs de puissance. Par conséquent comme indiqué dans le chapitre précédent, ils sont représentés par des impédances d'entrée élevées Z_1 et Z_2 (**Figure IV.2**). Le défaut est à la coordonnée x_f et les ondes de défauts sont supposées être enregistrées soit à une extrémité ou aux deux extrémités de la ligne ($x_1 = 0$ et $x_2 = l$). Finalement, comme les défauts analysés durent quelques millisecondes, nous considérons que la condition de pré-défaut est caractérisée par une valeur constante de tension pour $0 < x < l$.

4.1.2. Expressions des tensions générées par le défaut dans le domaine fréquentiel

Le but de ce paragraphe est de déterminer analytiquement le comportement de la ligne après le défaut. Pour exprimer la réponse de la ligne, le problème est résolu dans le domaine fréquentiel. Il est donc nécessaire de spécifier les conditions aux limites des deux sections de (**Figure IV.2**) c'est-à-dire pour $0 < x < x_f$ et pour $x_f < x < l$. Etant donné toutes ces suppositions, on peut définir les coefficients de réflexion à $x = 0$ ($i = 0$) et $x = l$ ($i = 2$) comme :

$$\rho_i = \frac{Z_i - Z_c}{Z_i + Z_c} \quad (4.1)$$

Donc il convient de noter que ρ_i est considéré comme paramètre fréquentiel indépendant du temps d'observation transitoire.

Concernant la condition aux limites à l'emplacement du défaut, nous supposons la représenter par le moyen d'une source de tension $U_f(\omega)$ localisée à $x = x_f$.

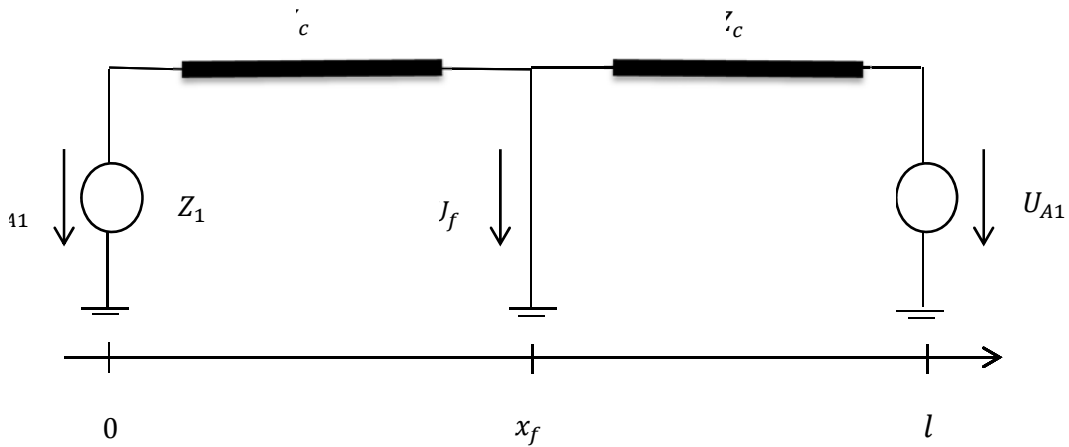


Figure IV.1 - Configuration simplifiée d'une ligne post-défaut.

A L'emplacement du défaut qui est considéré comme source d'onde de tension, le coefficient de réflexion approprié est $\rho_f = -1$. Avec l'hypothèse d'une ligne sans perte, la constante de propagation de la ligne γ est purement imaginaire c'est-à-dire $\gamma = j\beta$ avec $\beta = \omega/c$.

Les expressions des tensions après défaut, observée en $x = 0$ et $x = l$ dans le domaine fréquentiel sont [25]:

$$U_{A1}(\omega) = U(0, \omega) = \frac{(1 + \rho_1)e^{-\gamma x_f}}{1 + \rho_1 e^{-2\gamma x_f}} U_f(\omega) \quad (4.2)$$

$$U_{A2}(\omega) = U(l, \omega) = \frac{(1 + \rho_2)e^{-\gamma(l-x_f)}}{1 + \rho_2 e^{-2\gamma(l-x_f)}} U_f(\omega) \quad (4.3)$$

4.1.3. La technique RTEM appliquée pour focaliser l'emplacement du défaut

Les équations (4.2) et (4.3) fournissent dans le domaine fréquentiel, les expressions des tensions de défauts aux deux points d'observation situés aux extrémités de la ligne. En accord avec la technique RTEM, nous pouvons remplacer les points d'observation par deux

sources dont chacune impose une tension de défaut retournée temporellement à savoir $U_{A1}^*(\omega)$ et $U_{A2}^*(\omega)$ où * désigne le complexe conjugué.

$$I_{A1}^*(\omega) = \frac{U_{A1}^*(\omega)}{Z_1} \quad (4.4)$$

$$I_{A2}^*(\omega) = \frac{U_{A2}^*(\omega)}{Z_2} \quad (4.5)$$

$I_{A1}^*(\omega)$ et $I_{A2}^*(\omega)$ sont les courants injectés comme montrés sur la figure ci-dessous :

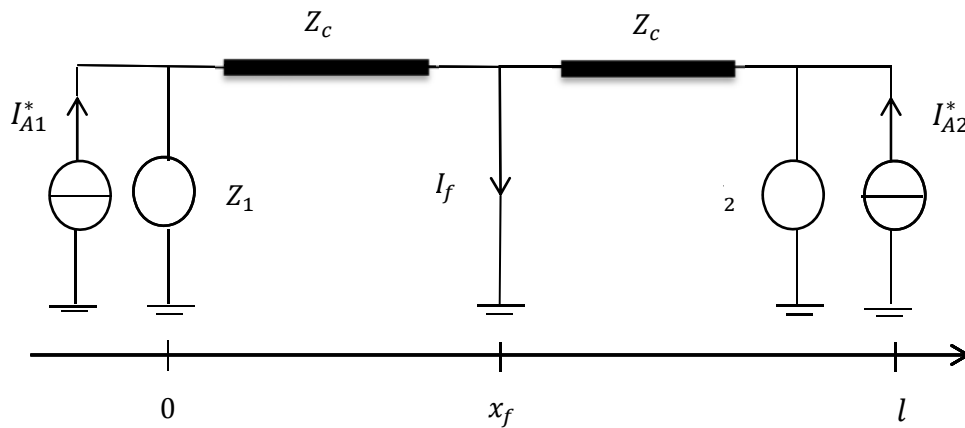


Figure IV.2 - Configuration simplifiée de l'application de la technique RTEM à une ligne monofilaire.

Comme l'emplacement du défaut est l'inconnu du problème nous allons le placer à une distance générique x'_f . Les contributions en termes de courant au niveau de l'emplacement inconnu du défaut x'_f proviennent de la première et de la deuxième des sources renversées temporellement. $I_{A1}^*(\omega)$ et $I_{A2}^*(\omega)$ sont donnés respectivement par :

$$I_{f1}(x'_f, \omega) = \frac{(1 + \rho_1)e^{-\gamma x'_f}}{1 + \rho_1 e^{-2\gamma x'_f}} I_{A1}^*(\omega) \quad (4.6)$$

$$I_{f2}(x'_f, \omega) = \frac{(1 + \rho_2)e^{-\gamma(l-x'_f)}}{1 + \rho_2 e^{-2\gamma(l-x'_f)}} I_{A2}^*(\omega) \quad (4.7)$$

Avec x_f : emplacement réel du défaut. Et x'_f : emplacement présumé du défaut.

En introduisant (4.4) et (4.5) dans (4.6) et (4.7) :

$$I_{f1}(x'_f, \omega) = \frac{(1 + \rho_1)^2 e^{-\gamma(x'_f - x_f)}}{Z_1 (1 + \rho_1 e^{-2\gamma x'_f}) (1 + \rho_1 e^{2\gamma x_f})} U_f^*(\omega) \quad (4.8)$$

$$I_{f2}(x'_f, \omega) = \frac{(1 + \rho_2)^2 e^{-\gamma(x'_f - x_f)}}{Z_2 (1 + \rho_2 e^{-2\gamma(l - x'_f)}) (1 + \rho_2 e^{2\gamma(l - x_f)})} U_f^*(\omega) \quad (4.9)$$

En conséquence, nous pouvons obtenir une expression fermée du courant total à un quelconque emplacement x'_f le long de la ligne

$$I_f(x'_f, \omega) = I_{f1}(x'_f, \omega) + I_{f2}(x'_f, \omega) \quad (4.10)$$

Dans ce qui suit, nous allons utiliser (4.10) pour montrer l'applicabilité de la méthode proposée pour localiser le défaut.

Considérons une ligne caractérisée par sa longueur $l = 10km$ et supposons un défaut survenu à $x_f = 8km$. La ligne est caractérisée par des impédances terminales $Z_1 = Z_2 = 100k\Omega$ et la tension au niveau du défaut vaut $U_f(\omega) = 1/j\omega$ V/(rad/s). En variant x'_f de 0 à l , il est possible de calculer le courant le long de la ligne en utilisant (4.10).

Dans ce qui suit, nous allons utiliser (4.10) pour montrer l'applicabilité de la méthode proposée pour localiser le défaut.

Considérons une ligne caractérisée par sa longueur $l = 10km$ et supposons un défaut survenu à $x_f = 8km$. La ligne est caractérisée par des impédances terminales $Z_1 = Z_2 = 100k\Omega$ et la tension au niveau du défaut vaut $U_f(\omega) = 1/j\omega$ V/(rad/s). En variant x'_f de 0 à l , il est possible de calculer le courant le long de la ligne en utilisant (4.10).

Tableau IV.1 - Valeurs des caractéristiques de la ligne.

Caractéristiques de la ligne	Valeurs
Longueur de la Ligne l	10km
Impédance Z_c	100
Résistance	0
Conductance	0
Impédance d'entrée du tranfo1	100k Ω
Impédance d'entrée du tranfo2	100k Ω
Tension au point de défaut $U_f(\omega)$	$1/j\omega$
Coefficient de réflexion	-1
Coefficient de phase β	ω/c
Coefficient de propagation au point de défaut γ	$j\beta$
Pulsation	[0, 4.10 ⁴]
Célérité	3.10 ⁸

4.2. Partie application

4.2.1. Application de la méthode

On utilise une ligne de transmission sans perte et on définit ses caractéristiques puis considère la présence de deux points d'observation aux points d'extrémité de la ligne, le tout sous forme de programme_Matlab.

La simulation de défaut se fait par l'introduction de la valeur d'emplacement.

Le résultat est la détermination de l'emplacement du défaut.

4.2.2. Résultats et commentaires

La première simulation permet de déterminer l'emplacement du défaut.

1.a. Pour $x_f = 2.5\text{km}$

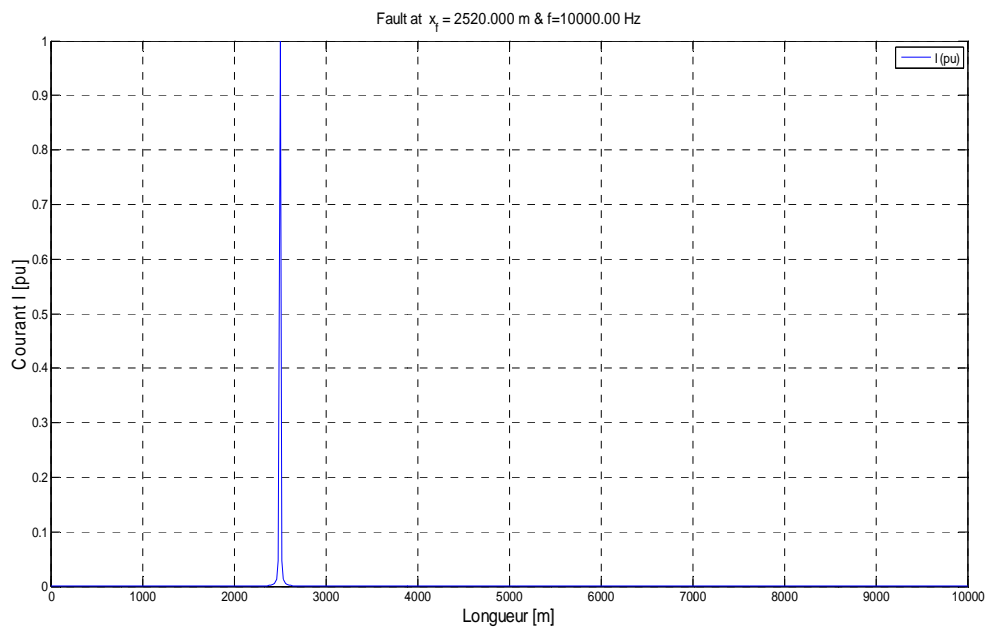


Figure IV.3 : Courbe représentative de l'emplacement du défaut en fonction de la fréquence et du courant (pu).

Dans cette courbe, on remarque l'emplacement du défaut à la valeur du pic à $x_f = 2.5\text{km}$.

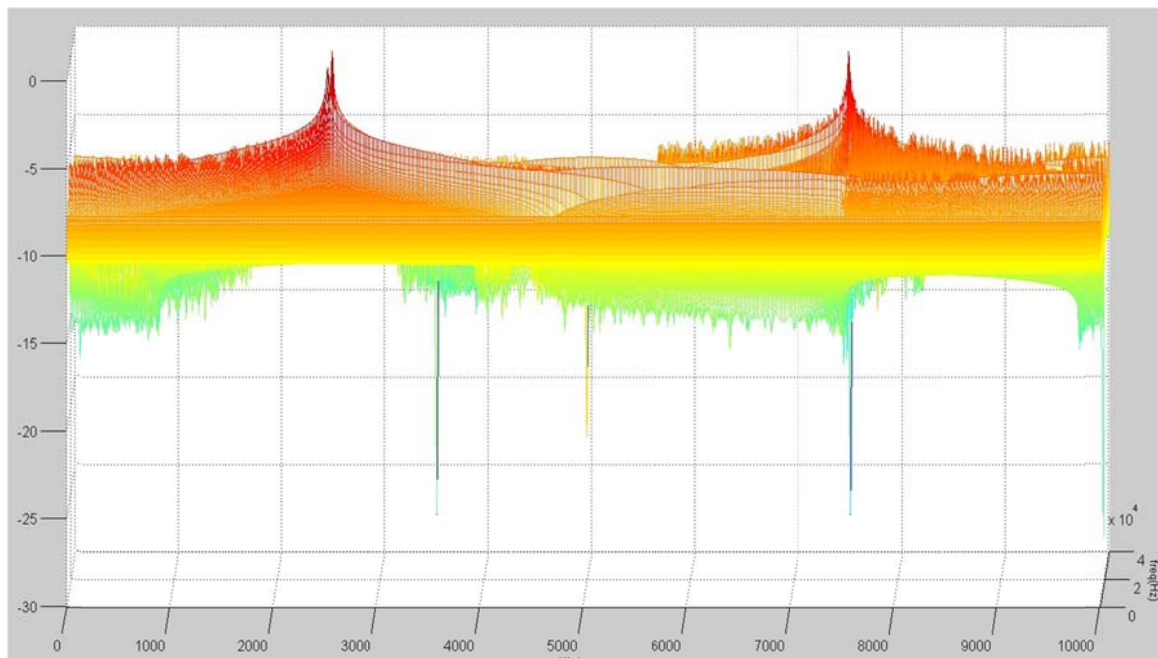


Figure IV.4 - Courbe représentative de l'emplacement du défaut en fonction de la fréquence et du courant (vue de face).

Pour la vue d'en face, on remarque plusieurs pics ; cependant la valeur du défaut correspond au plus grand des pics.

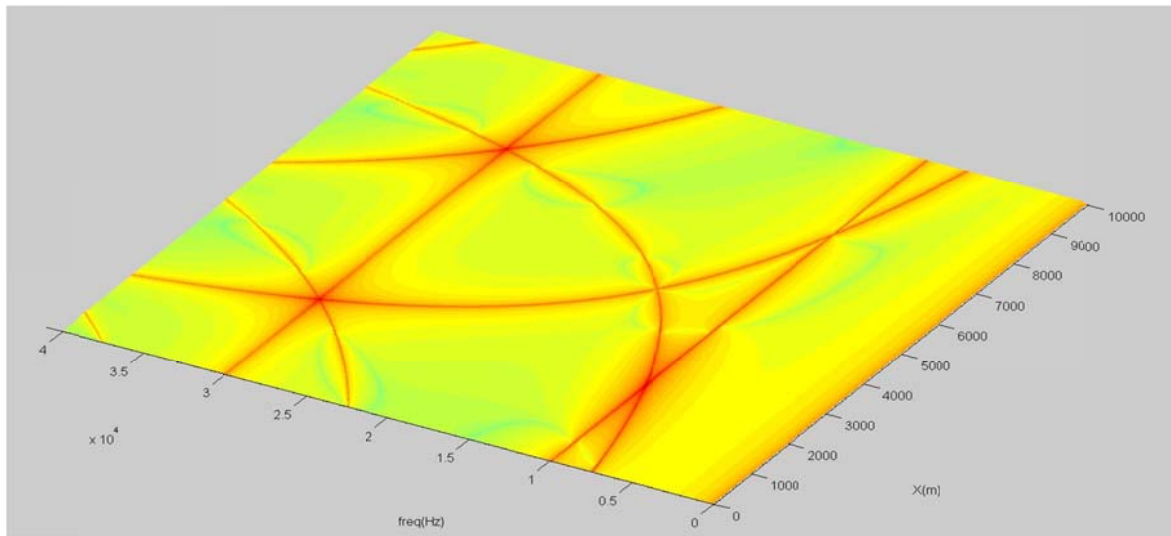


Figure IV.5 - Courbe représentative de l'emplacement du défaut en fonction de la fréquence vue de haut.

Pour la vue de dessus, les pics correspondent aux intersections des courbes. Donc il est un peu plus difficile de déduire le pic de défaut, cependant on remarque une particularité pour le pic du défaut ; les deux courbes se séparent lentement.

2.a. Pour $x_f = 7.5$ km

Nous remarquons les mêmes observations.

Fault at $x_f = 7520.000$ m & $f = 10000.00$ Hz

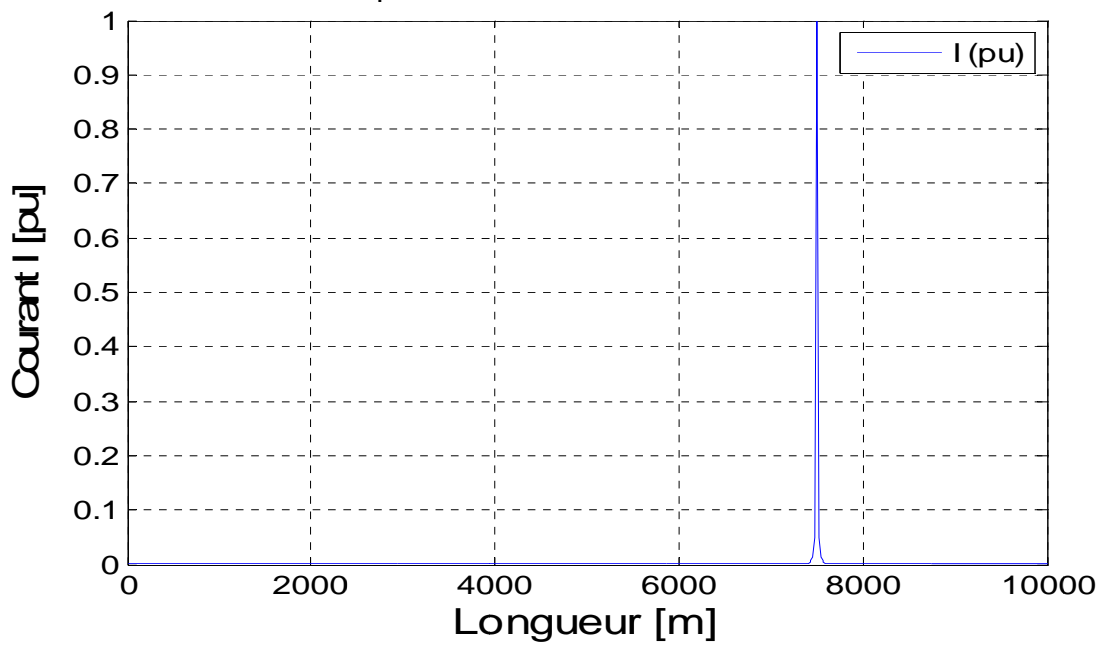


Figure IV.6 - Courbe représentative du défaut en fonction de la fréquence.

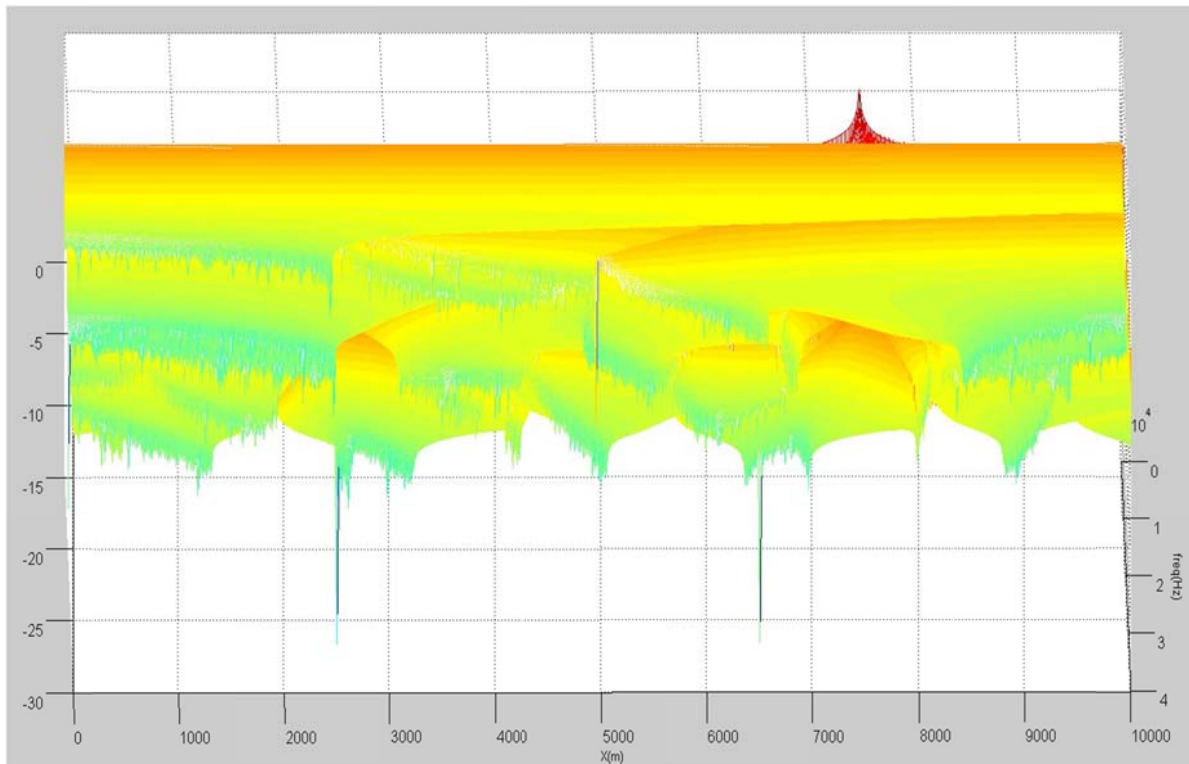


Figure IV.7 - Courbe représentative du défaut en fonction de la fréquence vue de face.

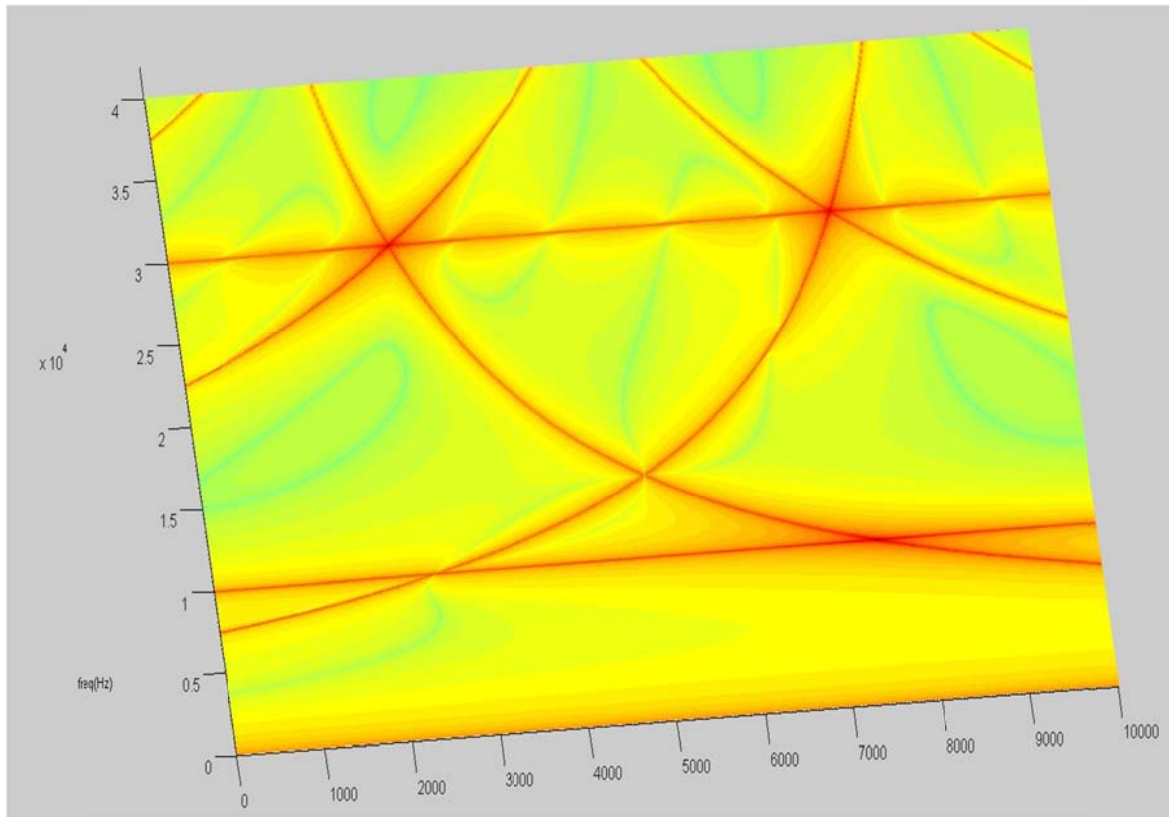


Figure IV.8 - Courbe représentative du défaut en fonction de la fréquence vue de haut.

1.b. Pour $xf = 2.5km$

La deuxième simulation permet d'observer le spectre des deux ondes de tension aux extrémités de la ligne.

U_l : tension à l'extrémité droite de la ligne à $x = l$.

U_0 : tension à l'extrémité gauche de la ligne à $x = 0$.

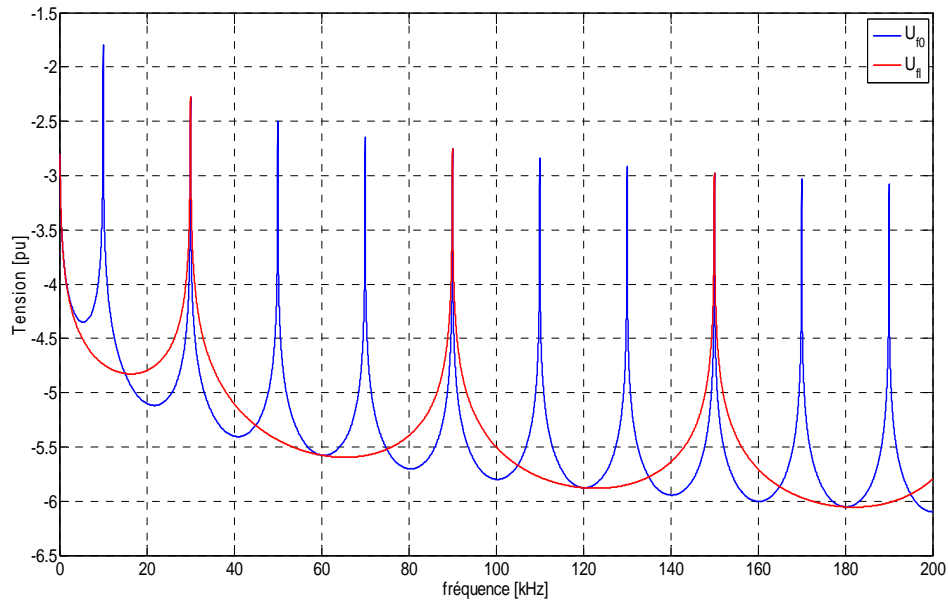


Figure IV.9 - Courbe représentative de la tension en fonction de la fréquence pour $xf = 2.5km$.

En simulant le programme pour un défaut situé à $2.5km$ on observe le spectre des tensions aux extrémités de la ligne à 0 et à l . On en tire la conclusion que la fréquence caractéristique de la tension U_l est plus élevée que celle de U_0 . Cela montre que les ondes de tension se propagent plus vite entre le point de défaut et l'extrémité droite (l) de la ligne que dans l'autre sens.

2.b. Pour $xf = 7.5km$

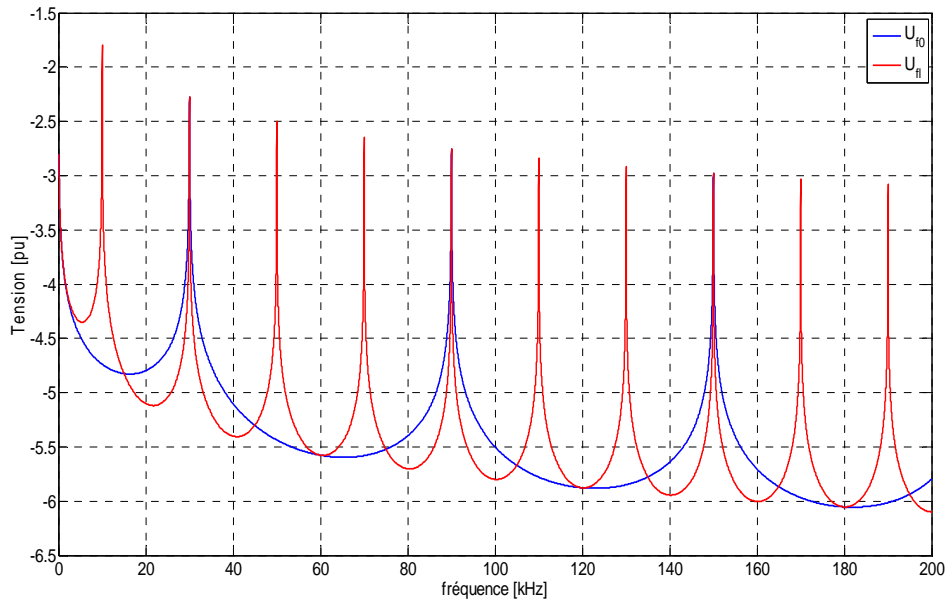


Figure IV.10 - Courbe représentative de la tension en fonction de la fréquence pour $xf = 7.5km$.

3.b. Pour $xf = 8km$

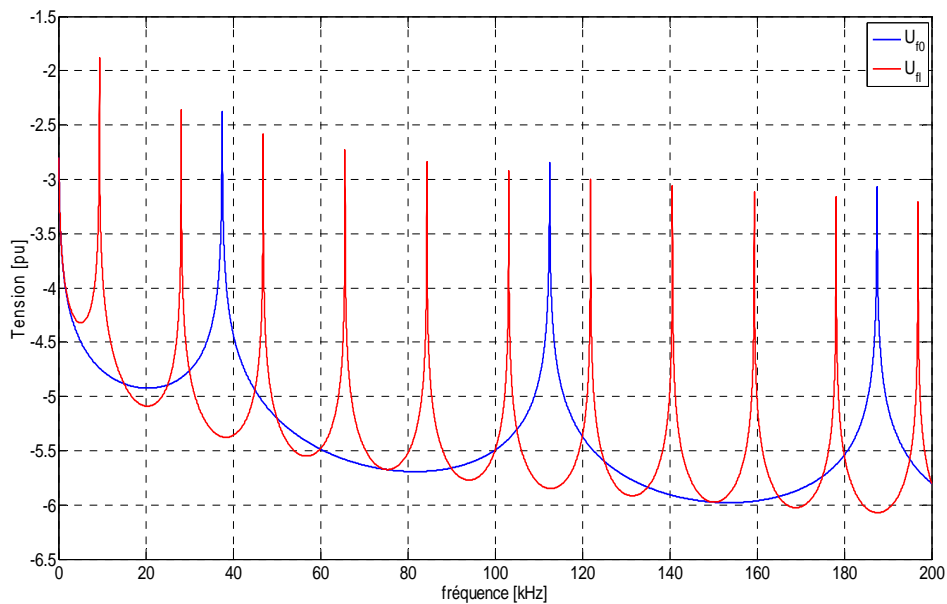


Figure IV.11 - Courbe représentative de la tension en fonction de la fréquence pour $xf = 8km$.

Conclusion

Nous avons présenté une nouvelle méthode de localisation de défauts dans les réseaux de puissance basée sur l'utilisation de retournement temporel électromagnétique (RTEM). En considérant la configuration pour une simple ligne de transmission, l'applicabilité de la méthode RTEM à la propagation d'onde électromagnétique dans les lignes de transmission causée par des défauts a été théoriquement démontrée en utilisant les expressions analytiques dans le domaine fréquentiel. Des simulations ont permis de connaître le comportement de la ligne en connaissant les valeurs des tensions après défaut.

Du fait que la connaissance des tensions générées par le défaut est très importante pour une bonne exploitation du réseau et cette méthode permet donc de déterminer ces ondes de tension. Aussi, puisque la précision de cette méthode a été démontrée et que c'est une méthode dont la mise en œuvre ne nécessite pas d'appareils de mesure lourds et encombrants. Il suffit juste d'intégrer un programme dans un système embarqué. C'est qui constitue un grand avantage. Alors au vu de tous ces aspects nous pouvons conclure que la technique du RTEM est une technique avantageuse et optimale dans le cadre du diagnostic filaire.

Une recherche supplémentaire est en cours, pour étendre la méthode proposée aux lignes de transmission multifilaires, aux réseaux arborescents et aux réseaux mixtes composés de lignes aériennes et de câbles souterrains.