الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Yahia Farés De Médéa
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique



MÉMOIRE DE PROJET FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Électrique

SPÉCIALITÉ : RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

Thème :

Détection et localisation des défauts dans les réseaux électriques

Proposé et dirigé par :

Dr. **D**INE **M**ohamed

Préparé et présenté par :

BOULIK **F**atma **Z**ouhra
CHOUIA **K**haoula

Anné Universitaire 2016-2017

REMERCIEMENT

Nous remercions, en premier lieu, notre Dieu le plus Puissant qui a bien
Voulu nous donner la force et le courage Pour effectuer
Le présent travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudes à nos parents pour leurs
Encouragements, leur soutien et pour les sacrifices
Qu'ils ont en duré.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur ''Mr.M.DINE'' pour ses sérieux, ses compétences et ses orientations.

Nos sincères remerciements aux messieurs les membres du jury pour
L'honneur qu'ils nous font en participant
Au jugement de ce travail.

Nous remercions vont aussi à tous les enseignants du département de Génie Electrique qui a contribué à notre formation.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et
Collèges pour tout le soutien moral et matériel…

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

En premier lieu à ***Ma Mère*** *et* ***Mn Père*** *qui m'a encouragé beaucoup pendant*
toute la durée de mes études.
Je lui souhaite une longue vie.
A mes sœurs ***Tesnime*** *et* ***Rahef Nour El Imen****, je lui souhaite la réussite dans leur vie.*
A mes frères ***Oussama*** *et* ***Sif El Dine.***
A mes amourette ***Khaoula, Ibtissem,Amina*** *et à mes collègues et à tous qui m'ont connu.*

Fatma Zouhra.

Je dédie ce modeste travail :
En premier lieu à ***Mes Parents*** *qui m'ont soutenu tout au long études.*
Je leur souhaite une longue vie et toute la joie.
A mes tantes spécialement ***Karima*** *et à ma très chère soeur* ***Wafa****, je lui souhaite la réussite dans ces études.*
A mes frères ***Khalil, Nacer Eddine****, et* ***Hatem****, à mes cousins, et mes oncles surtout* ***Mohamed****.*
A mes collègues et surtout à mes fidèles amie avec qui j'ai partagé le bonheur surtout ***Fatima****.*
Et à tous qui m'ont connu.

Khaoula.

Tables des Matières

Liste des Figures……..**viii**

Liste des Tableaux……...**xiii**

Liste des Abréviations……**xiv**

Résumé ……..... **xviii**

Introduction Générale……..1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE RESEAUX ELECTRIQUE.

I.1)- Introduction :……..…..3

I.2)- Structure de Réseaux Electrique :…….....3

I.2.1)- Réseaux de transport et d'interconnexion :……...3

I.2.2)- Réseaux de répartition :……..…3

I.2.3)- Réseaux de distribution :…….…….…….....4

I.2.3.1)- Réseaux de distribution à moyenne tension :……..…….……4

I.2.3.2)- Réseaux de distribution à basse tension :…….……..…..…….4

I.3)- Nouveau Domaines de Tension :…….…….…….....5

I.4)- Les défauts dans les réseaux : …….…….6

I.4.1)- Les différentes types de défaut du Réseaux Electrique : ……...……..…6

I.4.1.1)- Les Courts-circuits :……6

I.4.1.2.1)- Types de court-circuit:……...…….…….7

I.4.1.2.2)- Caractéristiques des défauts monophasés:…….……..7

I.4.1.2.3)- Les effets des défauts:……8

I.4.1.2.3.1)- Le bon fonctionnement des réseaux :…….……..8

I.4.1.2.3.2)- La tenue diélectrique des matériels :……8

I.4.1.2.3.3)- La qualité de fourniture d'énergie :……..9

I.4.1.2.3.4)- Les circuits de télécommunication :…….....9

I.4.1.2.3.5)- La sécurité des personnes :…….……..9

I.4.1.2.3.6)- Détection et élimination des défauts 9

I.4.1.2)- Les Surtension :……..……...……...10

I.4.1.3)- Les surcharges :……...……10

I.4.1.4)- Les oscillations :……...…….……10

I.4.1.5)- Les déséquilibres :……..……..11
I.5)- Protection de Réseaux Electrique :……11
I.5.1)- Système de Protection :…..……...11
I.5.1.1)- Définition :……..……...11
I.5.1.2)- Le contexte historique:……..……11
I.5.1.3)- Contraintes supplémentaires pour la Protection :…….…..12
I.5.2)- Qualité principale d'un Système de Protection :…….……12
I.5.2.1)- Rapidité :…….……...…..12
I.5.2.2)- Sélectivité :……..……12
I.5.2.2.1)- Sélectivité ampèremétrique :……...…..12
I.5.2.2.2)- Sélectivité chronométrique :……..……13
I.5.2.2.3) – Sélectivité logique :……..14
I.5.2.3)- Sensibilité :……16
I.5.2.4)- Fiabilité :……16
I.7)- Conclusion :……..……..17

CHAPITRE II : TECHNIQUES D'ANALYSE DES DEFAUTS ELECTRIQUES.

II.1)- Introduction :……..……..18
II.2)- Techniques utilisées dans l'analyse des défauts:……..……19
II.2.1)- Filtrage:…….……20
II.2.2)- Echantillonnage:…….……...20
II.2.3)- Méthodes utilisées dans la détection:……...…… ..20
II.2.4)- Classification des défauts:……...……21
II.2.4.1)- Composantes symétriques:……...…….……21
II.2.4.2)- Transformation des composantes symétriques (TCS) :..……..…….…… 21
II.2.4.3)- Description de la méthode de comparaison des phases des courants:……...…23
II.2.5)- Localisation de défaut:……..……...…24
II.2.5.1)- Description des algorithmes de localisation:……..24
II.2.5.1.1)- Les algorithmes basés sur la fréquence fondamentale:……...…..24
II.2.5.1.2)- Localisation de défaut en utilisant une seule mesure par la méthode de « Takagi»…….....26
II.2.5.1.3)- Algorithmes de localisation basés sur les données de deux extrémités……28
II.2.5.1.4)- Les algorithmes basés sur les équations différentielles:…….....29
II.2.5.1.5)- Les algorithmes basés sur la méthode des ondes mobiles:…….....32

II.6)- Conclusion:……32

CHAPITRE III : NOTIONS GENERALES SUR LA TRANSFORMEE EN ONDELETTES.

III.1)- Introduction :……..……. ...33
III.2)- La Transformée de Fourier (TF):…..……...34
III.2.1)- Transformée de Fourier Fenêtré glissante (STFT) :…….……34
III.3)- La transformée en ondelettes (WT):……36
III.3.1)- Définition:..…….……36
III.3.2)- Ondelettes Mère:..……..…...……..37
III.3.3)- L'échelle :……...……..38
III.3.4)- La transformée en ondelettes continue (CWT):……38
III.3.5)- La discrétisation de la transformée en ondelettes continue:……39
III.3.6)- La transformée en ondelettes discrète (DWT) :……...39
III.3.7)- Les propriétés des ondelettes:.……..……..40
III.3.8)- Les familles de la transformée en ondelettes : ……..……...……40
III.3.8.1)- Ondelette de Haar : ……..……41
III.3.8.2)- Ondelette de Littlewood Paley : ……..……...……42
III.3.8.3)- Ondelette Splines :.....42
III.3.8.4)- Ondelette Bi orthogonale :……..……...……43
III.3.8.5)- Ondelette de Morlet :……..……..…..43
III.3.8.6)- Chapeau Mexicain :……..……43
III.3.8.7)- Ondelette de Daubechie :……..……..…44
III.3.9)- Avantage de la transformée en ondelettes :……..44
III.4)- Conclusion :…….……...……45

CHAPITRE IV : APPLICATION DES METHODES DE LOCALISATION DES DEFAUTS DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES

IV.1)- Introduction :……...46
IV.2)- Description:…….……46
IV.2.1)- Circuit de simulation:…….....46

IV.2.2)- Les signaux des tensions et des courants obtenus:……...47
IV.3)- Application des méthodes de localisation des défauts:……...52
IV.3.1)- La première méthode «Les ondes mobiles »:……...52
IV.3.1.1)- Simulation :……..……..53
IV.3.2)- La deuxième méthode «ondelette » :……..……59
IV.3.2.1)- Description de la boite à outils ondelettes:……...……...59
IV.3.2.2)-Équation utilisée pour déterminer la distance de défaut :……..61
IV.3.2.3)- Simulation : ……..…..…….…….…..62
IV.4) Conclusion :…….……68
Conclusion Générale :……..…..69
Bibliographie.

Liste des Figures

Figure I.1 : Architecture générale d'un réseau d'énergies électrique ...…….……5
Figure I.2 : différents formes des Courts-circuits ……..7
Figure I.3 : Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique ……...13
Figure I.4 : Principe de la sélectivité chronométrique ……..14
Figure I.5 : Principe de la sélectivité logique ……....15
Figure I.6 : Fiabilité d'une protection.……. ……..….16
Figure I.7 : Association de protection ……...17

Figure II.1 : Schéma des techniques utilisées dans l'analyse des défauts ……..……19
Figure II.2 : Ligne en défaut à une distance m de la source S ……..26
Figure II.3 : Schéma équivalent d'une ligne avec un défaut triphasé …….……26
Figure II.4 : Schéma équivalent d'une ligne triphasée en défaut……..29

Figure III.1 : La Transformée de Fourier ……34
Figure III.2 : La Transformée de Fourier fenêtrée ……..…..35
Figure III.3 : La Différence entre une onde sinusoïdale et une ondelette …….…...36
Figure III.4 : La Transformée en ondelettes ……..……..36
Figure III.5 : Le Pavage de l'espace-temps-fréquence pour la STFT et la WT.……...37
Figure III.6 : Localisation des ondelettes discrètes dyadique dans un plan temps/échelle …...…...40
Figure III.7 : Quelques familles d'ondelettes ……..41
Figure III.8 : La Fonction Boite I(t)……..……...42
Figure III.9 : Ondelette Chapeau Mexicain et module de sa transformée de Fourier ……...43
Figure III.10 : Ondelette de Daubechies avec N moments nuls (N=2,4,6,8)……...44

Figure IV.1 : Réseau de simulation avec défaut sur la ligne ……...……47
Figure IV.2 : Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut monophasé franc à la terre (a t)……..48
Figure IV.3 : Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut monophasé franc à la terre (a-t)…..... 48

Figure IV.4 : Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc à la terre (a-b-t)……49

Figure IV.5 : Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc à la terre (a-b-t)…….49

Figure IV.6 : Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc sans terre (a-b-t). ….50

Figure IV.7 : Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc sans terre (a-b-t).……50

Figure IV.8 : Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut triphasé franc sans terre (a-b-c ……51

Figure IV.9 : Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut triphasé franc sans terre (a-b-c) ….. ……51

Figure IV.10 : Propagation de l'onde dans la ligne électrique en cas de défaut ……52

Figure IV.11 : La tension de la phase en défaut « phase a »……54

Figure IV.12 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f ……55

Figure IV.13 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé avec terre (a-b-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f……56

Figure IV.14 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f…… 57

Figure IV.15 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut triphasé (a-b-c), en fonction de l'endroit réelle de défaut a L (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut Rf……58

Figure IV.16 : L'interface graphique de la boite à outils ondelettes. ……60

Figure IV.17 : analyse ondelettes (1-D)**.**……60

Figure IV.18 : analyse de défaut par ondeletteDaubechies4. ……62

Figure IV.19 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut a L (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut Rf ……63

Figure IV.20 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut a L (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut Rf……65

Figure IV.21 Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut a L (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut Rf ……66

Figure IV.22 : Erreurs de localisation e (%) pour un défaut triphasé (a-b-c), en fonction de l'endroit réelle de défaut a L (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut Rf terre ……67

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Tableau des domaines de tension……..6

Tableau II.1 : Equation de calcul de la distance du défaut ……..……25

Tableau IV.1 : Valeurs de la distance de défaut monophasé mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle…...……..53

Tableau IV.2 : Valeurs de la distance de défaut biphasé avec terre mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle… ……...…….56

Tableau IV.3 : Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle ……57

Tableau IV.4 : Valeurs de la distance de défaut triphasé mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle ……..58

Tableau IV.5: Valeurs de la distance de défaut monophasé mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle …...…….63

Tableau IV.6 : Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle ……..……..……...64

Tableau IV.7 : Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle ……..……..65

Tableau IV.8 : Valeurs de la distance de défaut triphasé mesuré (km)
et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle ……66

Introduction Générale

L'énergie électrique occupe une place très importante dans toutes les branches de l'économie moderne et de la vie courante. La consommation de l'énergie électrique augmente considérablement. Il est admis d'une manière générale, que depuis le début du dix-neuvième siècle l'énergie électrique consommée dans le monde double en moyenne tous les dix ans. Le rôle des systèmes d'énergie électrique est de fournir aux utilisateurs le produit électricité au moindre coût dans des conditions de qualité et de sécurité satisfaisantes.

Cependant la gestion des réseaux électriques est devenue très complexe par suite de la croissance de leurs tailles, des interconnexions, du faible nombre de données disponibles et des perturbations variées qui peuvent s'y produire. Les réseaux électriques sont soumit à plusieurs types de défauts polyphasés ou monophasés. La détection et la localisation de défauts sont dès lors une composante de plus en plus importante pour cette gestion. Lors de l'occurrence de ces défauts, les exploitants doivent avoir connaissance de l'existence du défaut, l'isoler et le réparer le plus rapidement possible pour réalimenter les clients. Ces actions constituent la détection et localisation de défauts dans les réseaux électriques.

Les algorithmes de localisation de défauts ont des applications dans trois domaines principaux des systèmes d'alimentation : dans les sous-stations, sur les câbles souterrains, et sur des lignes de transport et de distribution. Les algorithmes dans les sous-stations sont principalement basés sur des techniques de traitement d'alarme. A l'occurrence d'un défaut, plusieurs relais envoient des signaux d'alarme. Ces signaux sont habituellement traités pour faire l'inférence au sujet de l'équipement défectueux. Les algorithmes employés pour détecter les anomalies sur les câbles sont habituellement basés sur l'essai et les mesures de défaut pour localiser le composant affecté. Le repérage de défaut sur les lignes de transport et de distribution a un différent éventuel. L'endroit du défaut est habituellement estimé à partir des mesures des tensions et courants à l'extrémité de la ligne. En appliquant les modèles mathématiques et les algorithmes appropriés à ces mesures, l'endroit peut être estimé avec une certaine exactitude.

Nous intéressons, dans notre travail, à localiser les défauts à l'aide de la transformé en ondelette et les ondes mobiles. Pour cela, cette étude est structurée en quatre chapitres:

Dans le premier chapitre, nous présentons une généralité sur les défauts dans les réseaux électriques.

Le deuxième chapitre, sera consacré à la présentation des différentes techniques d'analyse des défauts électriques qui existe dans la littérature.

Le troisième chapitre traite les notions générales sur la transformée en ondelettes.

Dans le dernier chapitre nous présentons deux méthodes de localisation des défauts, la premier est basé sur la méthode des ondes mobiles et la deuxième est basé sur la méthode de la transformée en ondelettes.

Et enfin une conclusion générale permettant de mettre le point sur ce que nous avons accompli dans cette mémoire.

I .1)- Introduction :

Le réseau électrique soumis à un environnement quelque fois sévère, est le siège d'incidents qui provoquent des perturbations de l'alimentation due en général aux asymétries d'impédance des lignes du réseau, aux effets de courts circuits d'origines divers affectant le réseau, au déséquilibre de la source, aux fortes charges monophasées ou une mauvaise répartition des charges sur le réseau électrique. Lorsqu'un tel défaut se produit, il y a naissance d'une non-symétrie de tensions importante qui peut mettre en cause la sécurité des personnes et la détérioration des installations existantes dans les réseaux électriques, si elle n'est pas rapidement éliminée.

Par ailleurs, la connaissance exacte des défauts permet d'évaluer les risques propres à son installation et de déterminer la valeur maximale des tensions susceptibles d'être induites sur les circuits de télécommunication voisins des lignes de transport.

I.2)- Structure de Réseaux Electrique :

I.2.1)- Réseaux de transport et d'interconnexion:

Les réseaux de transport à très haute tension (THT) transportent l'énergie des gros centres de production vers les régions consommatrices (400 et 225 kV). Ces réseaux sont souvent interconnectés, réalisant la mise en commun de l'ensemble des moyens de production à disposition de tous les consommateurs.

I.2.2)- Réseaux de répartition :

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués des lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation **[1][2].**

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension,

- La tension est 90 kV ou 63 kV,

- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre :
  - Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
  - Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
- Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

I.2.3)- Réseaux de distribution :

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique **[3][4]**.

I.2.3.1)- Réseaux de distribution à moyenne tension :

- HTA (30 et 10 kV le plus répandu),
- Neutre à la terre par une résistance,
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

I.2.3.2)- Réseaux de distribution à basse tension :

- BTA (230 / 400 V),
- Neutre directement à la terre,
- Réseaux de type radial, maillés et bouclés.

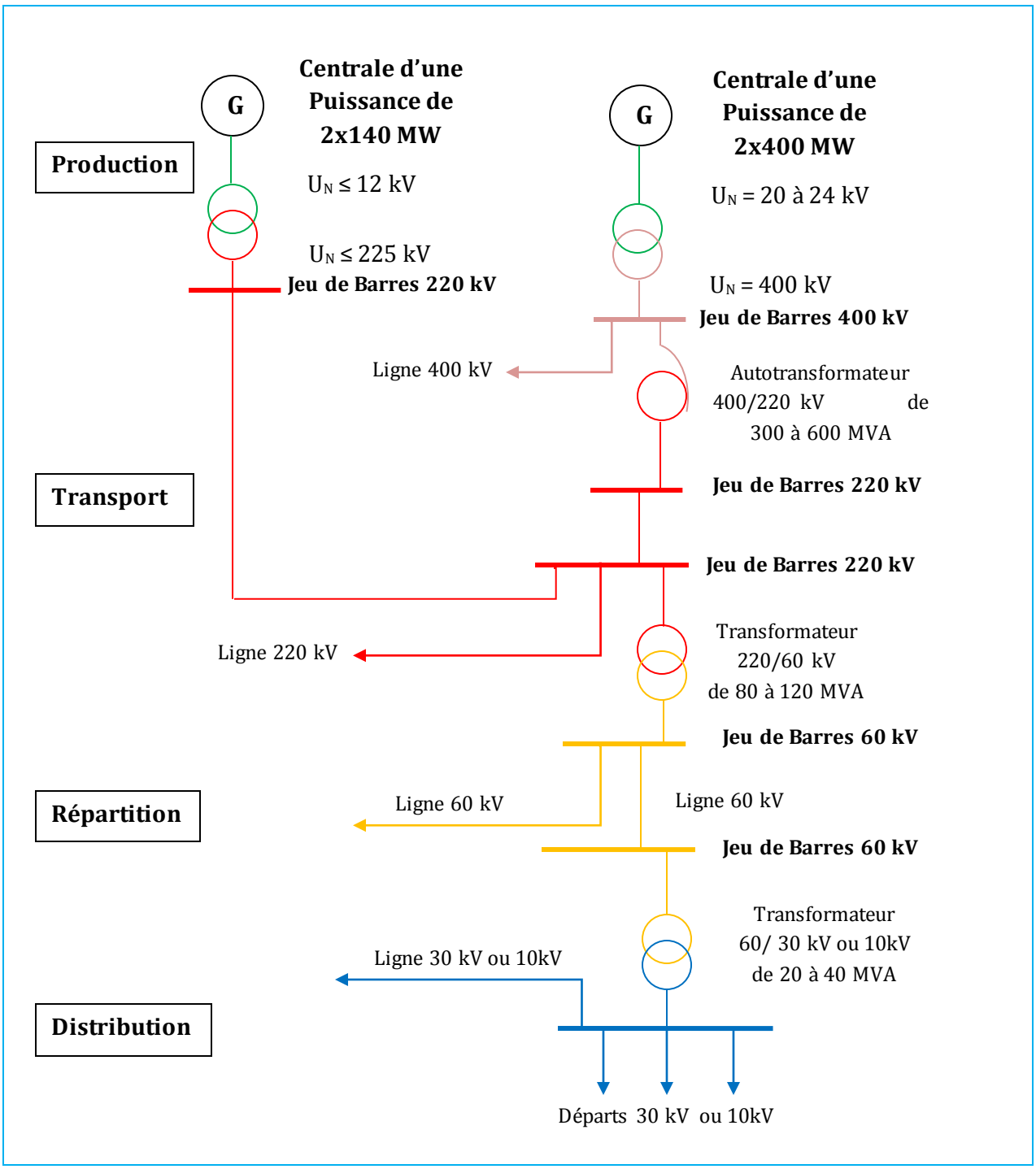


Figure (I.1) : Architecture générale d'un réseau d'énergies électrique.

I.2.4)- Nouveau Domaines de Tension :

Le choix du niveau de tension et de la fréquence dépend de résultat techno-économique et de considérations historiques. Donc chaque pays a ses différents niveaux de tensions et aussi ses fréquences **[5].**

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension en courant alternatif et continu comme suit :

Tableau (I.1) : Tableau des domaines de tension [6].

Domaine de Tension		**Valeur de la Tension Nominale (Un en Volts)**	
		Courant Alternatif	**Courant Continu**
Très Basse Tension (TBT)		Un ≤ 50	Un ≤ 120
Basse Tension (BT)	**BTA**	50 < Un ≤ 500	120 < Un ≤ 750
	BTB	500 < Un ≤ 1000	750 < Un ≤ 1500
Haute Tension (HT)	**HTA**	1000 < Un ≤ 50000	1500 < Un ≤ 75000
	HTB	Un > 50000	Un > 75000

I.3)-Les défauts dans les réseaux :

Le risque d'apparition d'un incident sur le réseau n'est pas nul car il est lié à de nombreux paramètres aléatoires. Il s'agit du court-circuit type de défaillance électrique le plus fréquent ainsi d'autres conditions anormales du réseau qui se produisent tel que la coupure d'une phase, la surcharge, l'instabilité, la surtension etc.

Les défauts peuvent se produire entre conducteurs, entre conducteurs et la terre, ou être dus à la détérioration du milieu isolant, qu'ils soient détruits par une contrainte exagérée ou une action physique ou qu'ils soient traversés accidentellement par des objets métalliques ou conducteurs. Dans tous ces cas, le défaut se produit en un point bien défini du réseau et peut donc être éliminé par le fonctionnement de la protection (disjoncteurs, fusibles …). De tels défauts d'isolement affectent la stabilité normale des réseaux. De plus, la dissipation d'énergie étant localisée, il peut en résulter des dommages importants à l'emplacement du défaut. Ces deux actions sont directement liées à l'amplitude du courant de défauts et à sa durée.

I.3.1)-Les différents types de défaut dans les réseaux électriques:

I.3.1.1)-Les court-circuit :

Le risque d'apparition d'un incident (court-circuit) sur le réseau n'est pas nul, parce qu'il est lié à de nombreux paramètres aléatoires.

Ils sont principalement caractérisés par:

- **Leurs durées** : auto-extincteur, fugitif ou permanent.
- **Leurs origines**: mécaniques (rupture de conducteurs, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger conducteur tel que outils ou animaux), surtensions

électriques d'origine interne ou atmosphérique, ou à la suite d'une dégradation de l'isolement, consécutive à la chaleur, l'humidité ou une ambiance corrosive.

- **Leurs localisations** : interne ou externe à une machine ou à un tableau électrique. **[7]**

I.3.1.1.1)- Types de court-circuit :

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Monophasé :** entre une phase et la terre ou une masse.
- **Biphasé :** entre deux phases raccordées ensemble, peut être un court-circuit biphasé mis à la terre ou biphasé isolé.
- **Triphasés** : entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre.

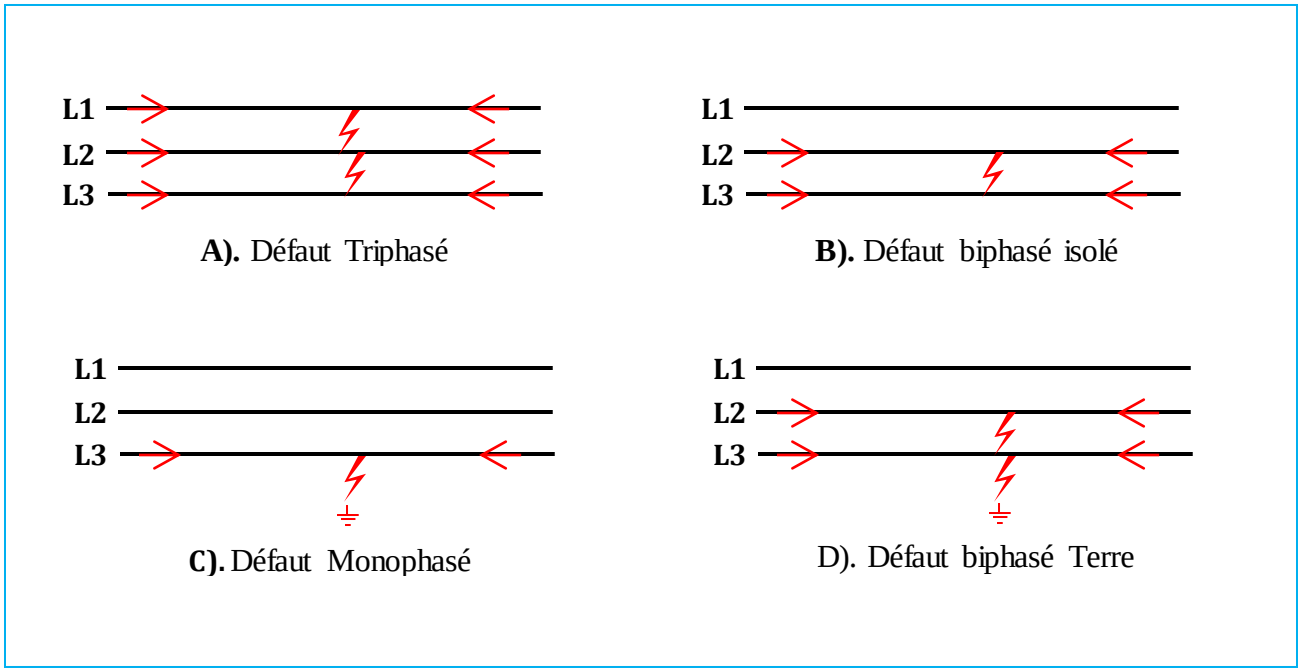


Figure (I.2): différents formes des Courts-circuits.

I.3.1.1.2)-Caractéristiques des défauts monophasés :

• **Défaut auto–extincteur** : Un défaut auto-extincteur monophasé est un défaut qui s'élimine seul, sans coupure de l'alimentation ou fermeture du disjoncteur shunt .Ces défauts existent sur les réseaux à neutre impudent (environ 10% des défauts). Mais ils existent surtout sur les réseaux à neutre compensé dans des proportions importantes (jusqu'à 80%).

• **Défaut réamorçant** : Un défaut réamorçant est un défaut monophasé auto–extincteur, qui réapparaît périodiquement (dans environ 90% de cas, le défaut monophasé auto– extincteur est constitué d'un seul amorçage). Le temps entre deux réamorçages peut varier de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes. Si le temps entre deux réamorçages successifs est inférieur à 200 ms, on

considère cette succession de défauts comme le même défaut**. [8]**

I.3.1.1.3)-Les effets des défauts :

Les effets des défauts sont surtout à redouter sur les réseaux à haute et très haute tension (HT, THT). Les défauts ont des effets sur :

- Le bon fonctionnement des réseaux.
- La tenue diélectrique des matériels.
- La qualité de fourniture d'énergie.
- Les circuits de télécommunication.
- La sécurité des personnes.

I.3.1.1.3.1)-Le bon fonctionnement des réseaux :

Lorsqu'ils sont polyphasés et proche des centrales, ils entraînent une diminution du couple résistant des machines et donc une rupture de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur. Si les défauts ne sont pas éliminés rapidement ils peuvent conduire à la perte de stabilité des groupes générateurs et à des endommagements du matériel dans le réseau électrique.

I.3.1.1.3.2)-La tenue diélectrique des matériels :

Dans le cas d'un défaut triphasé, les défauts provoquent des surintensités violentes qui peuvent dépasser 20 à 30 fois le courant de service normal, ces surintensités amènent à deux types de contraintes :

- Des contraintes thermiques dues au dégagement de chaleur par effet joule dans les conducteurs.
- Des contraintes mécaniques dues aux efforts électrodynamiques qui entraînent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs. Ces effets sont souvent à l'origine des défauts entre phase qui sont en générale beaucoup plus sévère que les défauts entre phase et terre, parce que le courant de défaut à la terre est limité par l'impédance de mise à la terre des points neutre des réseaux.

I.3.1.1.3.3)-La qualité de fourniture d'énergie :

Les défauts se traduisent pour les utilisateurs par des chutes de tension dont l'amplitude et la durée sont fonction de déférents facteurs telle que la nature du défaut, la structure du réseau affecté, le mode d'exploitation du réseau, le mode de mise à la terre du neutre et la performance de la protection. Les perturbations peuvent aller du creux de tension jusqu'à l'interruption complète de la tension.

I.3.1.1.3.4)-Les circuits de télécommunication :

La présence d'un court-circuit dissymétrique entre une ou deux phases d'une ligne d'énergie et la terre entraîne la circulation d'un courant homopolaire qui s'écoule à la terre par les points neutre du réseau. La tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant apparaît sur les lignes de télécommunications qui ont un trajet parallèle à la ligne d'énergie. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunications.

I.3.1.1.3.5)- La sécurité des personnes :

La mise sous tension accidentelle des masses entraîne l'élévation de potentiel des masses, cette élévation est liée à l'écoulement des courants de défauts à la terre. Les conducteurs tombés au sol présent des risques pour les personnes. Le mode de mise à la terre des points neutre joue de ce fait un rôle essentiel dans la protection des personnes contre les chocs électriques.

I.3.1.1.4.)- Détection et élimination des défauts :

Les protections contrôlent en permanence l'état électrique du réseau en surveillant un certain nombre de grandeurs électriques caractéristiques (courant, tension, fréquence) ou des combinaisons de ces grandeurs (puissance, impédance, etc.) ; elles peuvent également surveiller la pression d'un fluide ou une température. Les grandeurs électriques sont fluctuantes du fait notamment des variations de charge ou de la topologie des réseaux, néanmoins elles évoluent dans un domaine normalement fixé par les règles générales d'exploitation des réseaux. Par exemple les tensions peuvent varier dans un domaine exceptionnel (0,9 à 1,1 Un) et les courants ne dépassent jamais 1,1 à 1,3In selon les installations **[9]**. Le fait que les grandeurs sortent brusquement de ces domaines est caractéristique de la présence d'une anomalie et utilisé comme critère de détection. On retiendra ici qu'en régime de fonctionnement normal les réseaux triphasés sont sensiblement équilibrés, les courants et les tensions ne comportent que des composantes directes. L'apparition de composantes inverses est caractéristique d'un fonctionnement déséquilibré dû soit à un court-circuit dissymétrique, soit au raccordement d'une charge déséquilibrée. De plus l'apparition de composantes homopolaires est caractéristique de la présence d'un déséquilibre avec écoulement de courant à la terre via les points neutres du réseau.

Les court-circuit sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible. C'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est une des performances prioritaires **[10]**. On note que le temps d'élimination des défauts comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).

- Le temps d'ouverture des disjoncteurs ; avec les disjoncteurs modernes ce dernier est compris entre 1 et 3 périodes.
- Pour remplir leur rôle, les protections doivent :
- Détecter la présence d'un défaut.
- Identifier l'ouvrage attaint.
- Commander les organes de coupure, dont l'ouverture conduira à l'isolement de cet ouvrage (et seulement celui-là) par rapport au reste du réseau.

I.3.1.2)- Les Surtension :

On distingue différents types de surtension telle que :

- Les surtensions de manœuvres.
- Les surtensions de foudre.
- Les surtensions lentes.

Conséquences : Claquage et Vieillissement de l'isolation.

I.3.1.3)- Les surcharges :

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- Les courts-circuits.
- Les reports de charge.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes sur le réseau et accélère le vieillissement des équipements de réseau.

I.3.1.4)- Les oscillations :

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques.

I.3.1.5)- Les déséquilibres :

Les déséquilibres sont généralement dus à la mauvaise répartition des charges sur les trois phases. Ils apparaissent surtout dans les réseaux de distribution, ils donnent naissance à la composante inverse du courant, cette composante provoque :

- Des chutes de tension supplémentaires.

- Des pertes de puissance.
- Des échauffements.

I.4)- Protection de Réseaux Electrique :

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable: court-circuit, défaut d'isolement, surtension,…etc. Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique.

I.4.1)- Système de Protection :

I.4.1.1)- Définition :

La Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définie la protection comme l'ensemble des dispositions destinées à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs disjoncteurs et, si nécessaire d'élaborer d'autres ordres de signalisations.

I.4.1.2)- Le contexte historique :

L'histoire de la technique de protection date depuis plus d'un siècle. Dès 1902, le premier relais à maximum de courante création de Charles Brown (Brown Boveri Cie), était breveté.

Pendant des décennies, on a utilisé des relais électromécanique jusqu'à ce que des relais statique apparient au cours des années 60. Par rapport aux relais électromécanique, l'utilisation croissante de circuits intègres a fourni un fonctionnalisme puis élevés et aussi une fiabilité accrue.

Grâce à l'auto surveillance permanente de l'ensemble de système de protection, l'utilisation de microprocesseur améliore la disponibilité. Un système de protection assisté par des microprocesseurs fournit en outre une plus grande souplesse, ainsi que des nouvelles fonctions complémentaires, avec une extension standard réduit de matériels, de sorte que la fiabilité augmente de manière correspondante.

- Protection Electromécanique : 1900 → 1960/1970 ;
- Protection Statique : 1960/1970→1990/1995 ;
- Protection Numérique : Depuis 1990/1995.

I.4.1.3)- Contraintes supplémentaires pour la Protection :

Les protections électriques ne doivent pas apporter de limitation au fonctionnement normal des réseaux électriques, en particulier :

a) Elles ne doivent pas limiter la souplesse d'utilisation du réseau protégé en interdisant certains schémas d'exploitation (réseaux bouclés, maillés, radiaux).

b) Elles doivent rester stables en présence de phénomènes autre que les court-circuits :

- Lors de manœuvres d'exploitation, pendant les régimes transitoires consécutifs à la mise sous tension ou hors tension à vide des lignes ou des transformateurs,
- Lors de variations admissibles de la tension et de la fréquence,
- En présence de surcharges et de déséquilibres entrant dans la marge de fonctionnement des réseaux électriques,
- En présence d'oscillations résultant du régime transitoire des alternateurs,
- Sous l'influence d'une anomalie des circuits de mesure.

I.4.2)- Qualité principale d'un Système de Protection [11][12][13][14] :

I.4.2.1)- Rapidité :

Les court-circuit sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement et des performances prioritaires.

Le temps d'élimination du court-circuit comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes.

I.4.2.2)- Sélectivité :

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner celles où elle ne doit pas fonctionner.

Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants:

- Sélectivité ampèremétrique par les courants,
- Sélectivité chronométrique par le temps,
- Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.
-

I.4.2.2.1)- Sélectivité ampèremétrique :

Elle est basée sur le fait que, dans un réseau, le courant qui circule entre une source de puissance et un point de défaut diminue au fur et à mesure que le point de défaut s'éloigne de la source.

Une protection ampèremétrique (**Figure I.3**) est disposée au départ de chaque tronçon : son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de défaut minimal provoqué par un court-circuit sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un court-circuit situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

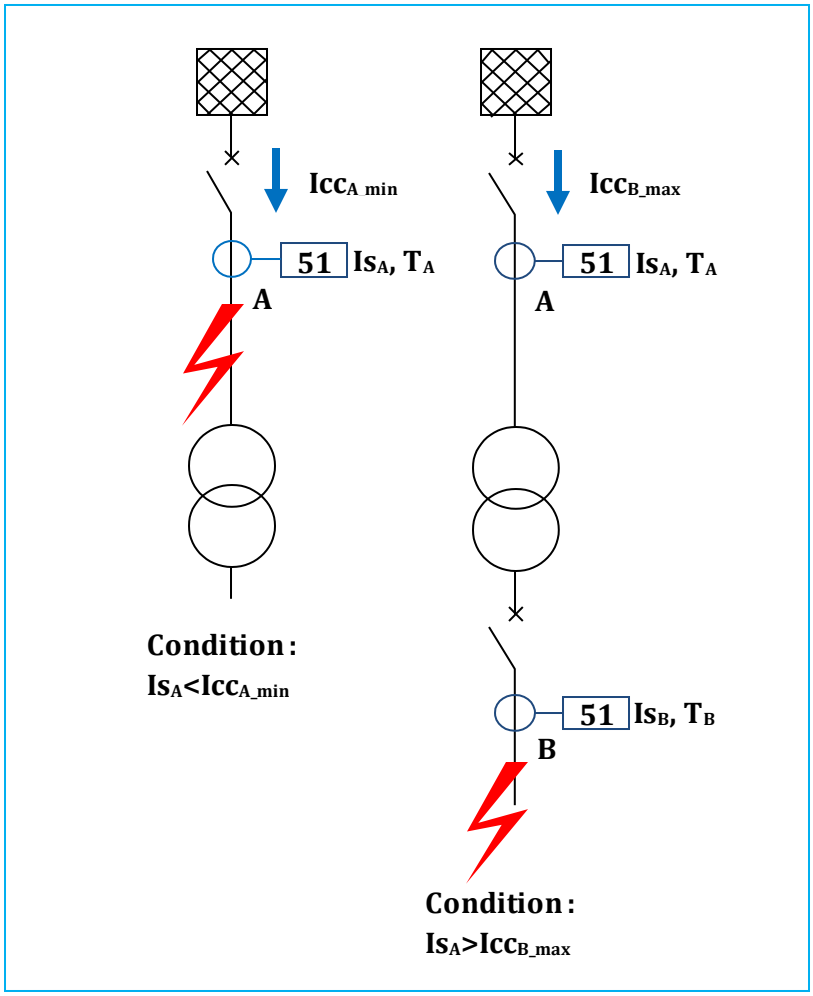


Figure (I.3) : Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique.

I.4.2.2.2)- Sélectivité chronométrique :

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue.

Ainsi, sur le schéma (**Figure I.4**), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, revient à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement T entre deux protections successives est l'intervalle

de sélectivité.

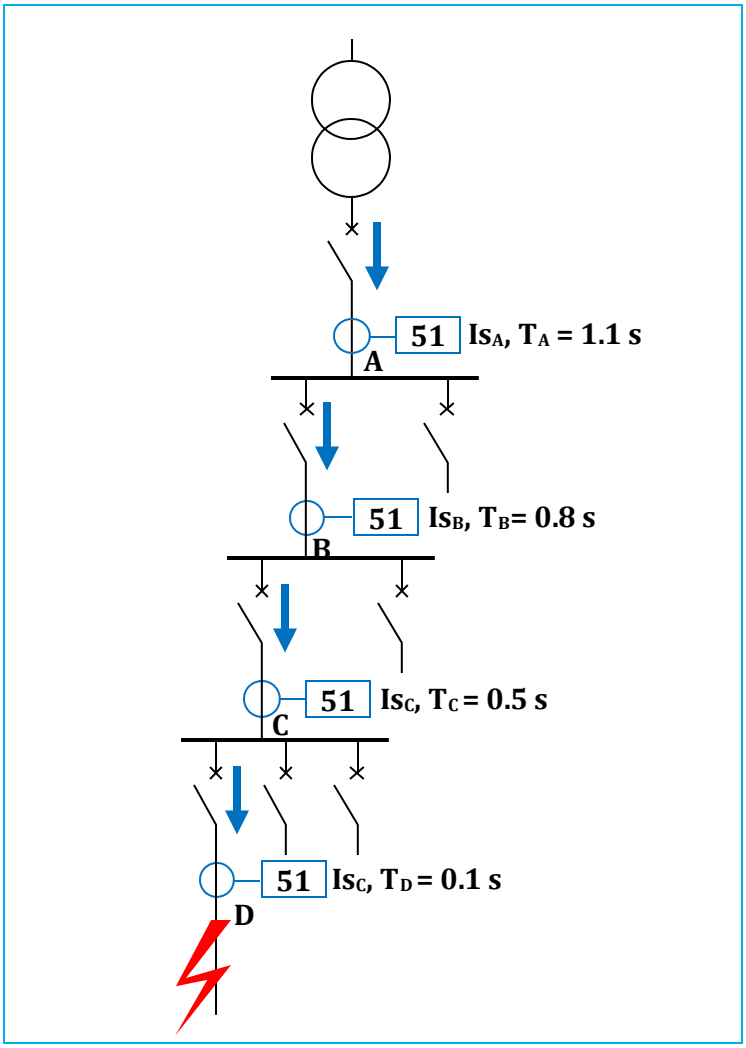


Figure (I.4) : Principe de la sélectivité chronométrique.

I.4.2.2.3) – Sélectivité logique :

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique.

Ce principe est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination de défaut (**Figure I.5**).

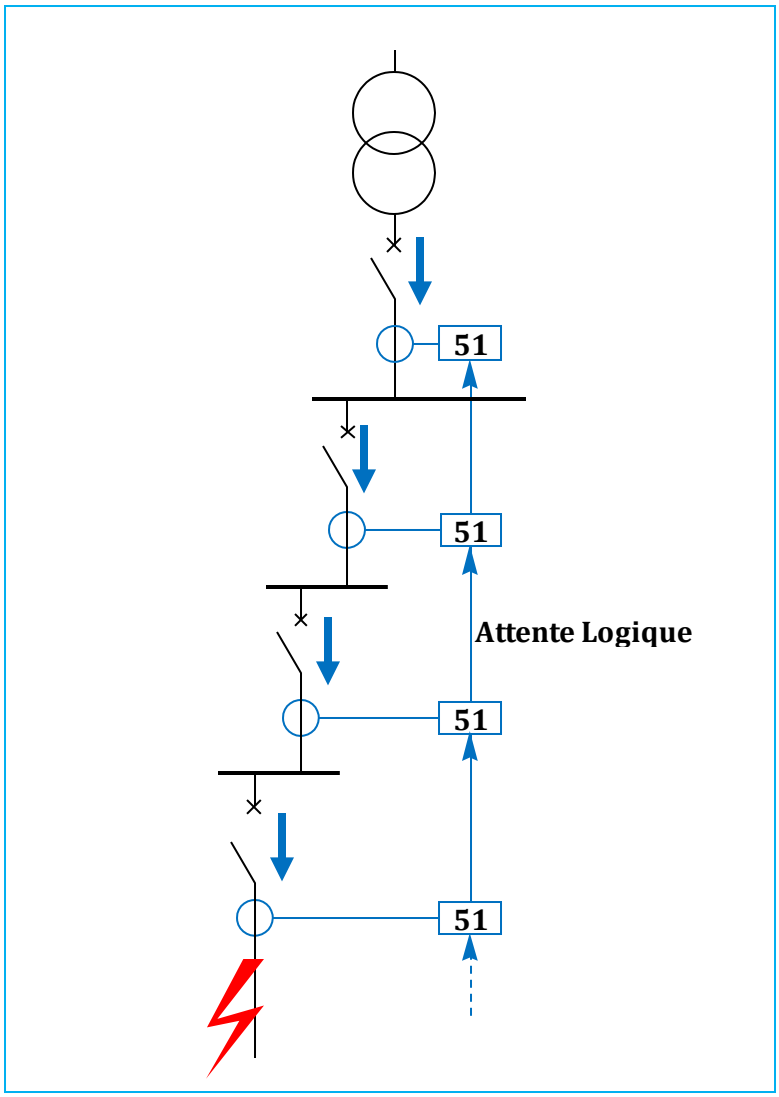


Figure (I.5) : Principe de la sélectivité logique.

Ce principe est utilisé lorsque le nombre de relais en cascade est trop grand pour une simple sélectivité par le temps. Dans ce cas on utilise des relais max. de I avec blocage logique. L'échange d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité.

Ainsi, dans un réseau en antenne, les protections situées en amont du point de défaut sont sollicitées, celles en aval ne le sont pas ; cela permet de localiser sans ambiguïté le point de défaut et le disjoncteur à commander.

Chaque relais sollicité par un défaut envoie :

- un ordre d'attente logique à l'étage amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre au relais)
- un ordre de déclenchement au disjoncteur associé sauf s'il a lui-même reçu un ordre d'attente logique de l'étage aval. Un déclenchement temporisé est prévu en secours.

I.4.2.3)- Sensibilité :

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

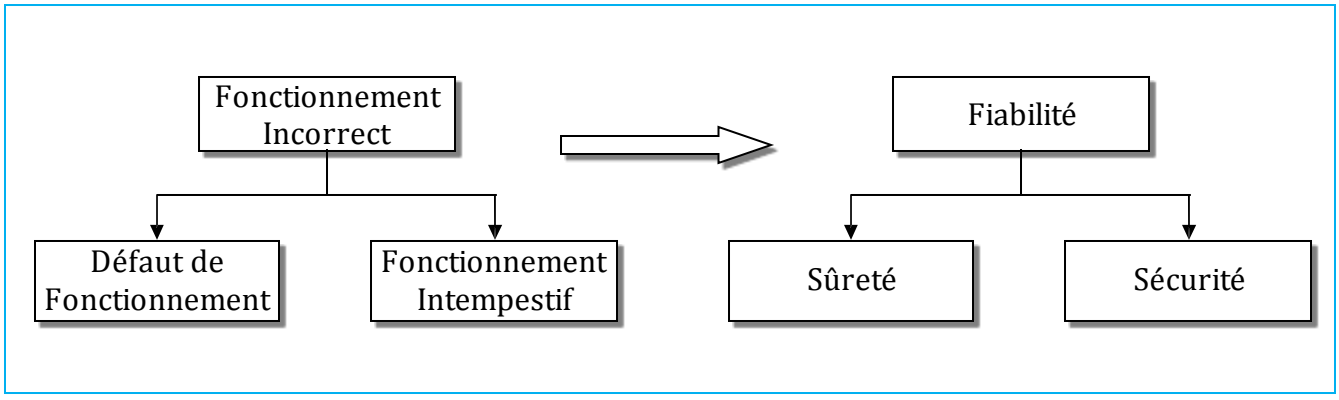
- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu,
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

I.4.2.4)- Fiabilité :

Les définitions et les termes proposés ici, sont dans la pratique, largement utilisés au plan international.

- Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu.
- A l'inverse, pour un fonctionnement incorrect, elle comporte deux aspects :
  - Le défaut de fonctionnement ou non-fonctionnement lorsqu'une protection, qui aurait dû fonctionner, n'a pas fonctionné.
  - Le fonctionnement intempestif, qui est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas du fonctionner.
- La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect (éviter les déclenchements intempestifs), est la combinaison de :
  - **La sûreté :** qui est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement.
  - **La sécurité :** qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.



Figure(I.6) : Fiabilité d'une protection.

On peut améliorer la fiabilité en associant plusieurs protections, mais, comme on peut le voir sur la (**Figure I.5)**, sûreté et sécurité sont deux exigences contradictoires (**Figure I.7**).

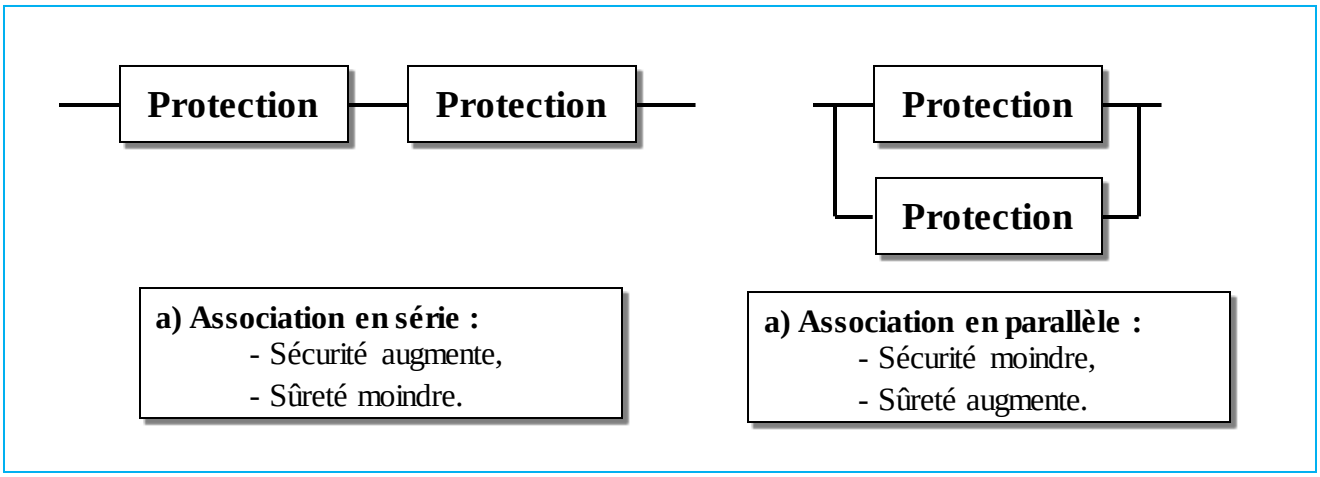


Figure (I.7) : Association de protection.

I.7)- Conclusion :

Ce chapitre donne une description comparative des structures typiques de réseaux électrique, ainsi les effets des anomalies et les perturbations sur les réseaux électriques tels que les courts-circuits, les surtensions, les surcharges, ….etc. et leurs systèmes de protection.

II.1)-Introduction :

Le système d'énergie électrique est composé de moyens de production tels que les centrales électriques. L'énergie est acheminée aux abonnés à travers les réseaux de transports et de distributions. Les réseaux électriques représentent des investissements considérables consentis par les compagnies d'électricité pour alimenter leurs clients aux meilleures conditions de coût et de qualité de service. Pour cela, le réseau électrique doit répondre à trois exigences essentielles : stabilité, économie et surtout la continuité du service.

Les réseaux sont donc affectés par des perturbations qui peuvent mettre en cause la pérennité du matériel et la qualité du service rendu et dont il faut chercher à minimiser les conséquences. Tout défaut doit donc être identifié immédiatement et l'ouvrage affecté doit être isolé du réseau le plus rapidement possible, c'est l'objet de la protection des réseaux.

II.2)-Techniques utilisées dans l'analyse des défauts [15] :

Les méthodes d'analyse des défauts sont généralement déductive qui peut être utilisée exclusivement comme une analyse qualitative ou, si on le souhaite, étendue à une analyse quantitative. L'analyse des défauts nécessite une étude détaillée des sous-systèmes pour déterminer le type de défaut, les causes et les effets qui en résultent pour le sous-système et son fonctionnement.

L'analyse des défauts qui apparaissent dans les lignes de transport d'énergie électrique comporte des étapes essentielles représentées par **la Figure (II.1).**

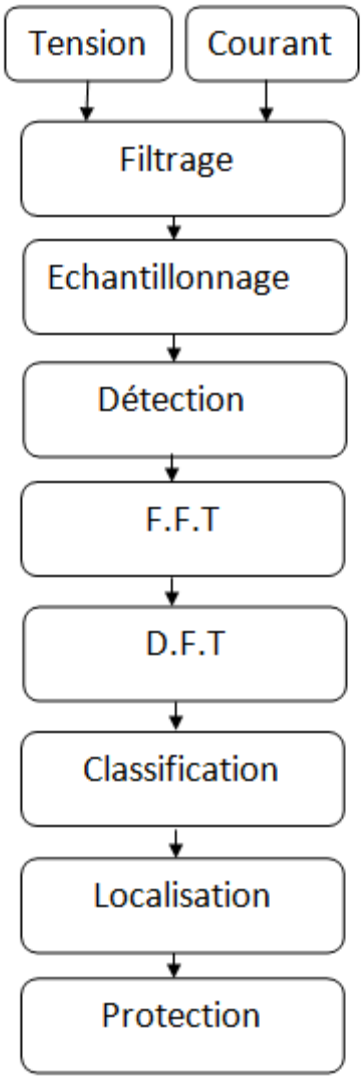


Figure (II.1) : Schéma des techniques utilisées dans l'analyse des défauts.

II.2.1)-Filtrage:

Un filtre numérique est un élément qui effectue un filtrage à l'aide d'une succession d'opérations mathématiques sur un signal discret .On s'intéressera tout particulièrement au filtrage numérique, qui sera réalisé par un microcontrôleur (en utilisant des logicielles).

On choisira une technique de filtrage numérique élémentaire, qui consiste à répéter n fois la mesure, et d'en calculer la moyenne arithmétique (ce sera le travail du microcontrôleur, à partir des résultats du convertisseur analogique - numérique). Cela revient à déterminer la composante continue du signal, le filtre numérique est donc du type passe-bas. [16]

II.2.2)-Echantillonnage :

Le signal physique complet n'est pas étudié en pratique. En fait, seule la représentation numérique du signal est utilisée pour réaliser les calculs voulus. La numérisation du signal est

une transformation discrète du signal physique considéré comme continu dans le sens mathématique du terme.

II.2.3)-Méthodes utilisées dans la détection :

Parmi les méthodes proposées dans la littérature et utilisées dans la détection des défauts, nous citerons les méthodes suivantes :

Méthode 1 : La méthode basée sur la comparaison entre la valeur de l'échantillon du signal courant au temps t et celui au temps t+T (T : période 20 ms). Lorsque la différence entre eux atteint un seuil prédéterminé, on conclut directement qu'il y a un défaut sur la phase.

Méthode 2 : La méthode basée sur la comparaison entre deux échantillons successifs d'un même signal (courant ou tension). Lorsque la différence entre eux atteint un seuil prédéterminé, on conclut directement qu'il y a un défaut sur la phase qui correspond au signal traité.**[17]**

Méthode 3: la méthode basée sur l'impédance sur le système à extrémité unique et le système à deux extrémités. Cette méthode est basée sur le calcul de l'impédance sur ses composants fondamentaux créés par les défauts.

Méthode 4 : la méthode d'approches des transformations d'ondelettes.

II.2.4)-Classification des défauts :

La classification des défauts dans les lignes de transport est une tâche très importante pour déterminer là où les phases en défaut et par suite déterminer l'endroit du défaut afin de réparé le plus rapidement possible ces défaut et rendre le service d'alimentation aux clients.

De nombreuses méthodes de classification sont développées jusqu'à présent, ceux qui sont basées sur le calcul des impédances, dépendent de l'impédance directe, inverse et homopolaire. Et d'autres méthodes basées sur l'utilisation de la composante fondamentale des signaux des tensions et des courants.

Parmi ces méthodes on propose deux méthodes de classification :

- 1ére méthode basée sur l'utilisation des composantes symétriques.
- 2éme méthode basée sur l'utilisation des mesures de la composante fondamentale des signaux des courants avant et pendant le défaut.

II.2.4.1)-Composantes symétriques :

Dans de conditions de fonctionnement déséquilibré, l'approche pratique la plus utilisée est celle basée sur l'utilisation de la transformation des composantes symétriques.

Celle-ci transforme les variables du système de phase (a,b,c) vers un système formé des composantes symétriques dénommées direct (positif), inverse (négatif) et homopolaire (zéro). Ces composantes sont notées respectivement par l'indice (d, i, o).

Les réseaux ainsi formés, sont indépendants et ils sont connectés qu'aux points de défauts, (pour le cas d'un défaut non symétrique) .

Il n'y a aucune puissance résultante de la combinaison des tensions directes avec les courants inverses et homopolaires, et par suite la puissance produite par la machine et la puissance synchronisant entre chaque paire de machine synchrone du réseau sont de type direct.

En conséquence le réseau direct est d'un intérêt primordial dans l'étude de la stabilité, alors que les autres réseaux (inverse et homopolaire) ont peu d'influence.

II.2.4.2)-Transformation des composantes symétriques (TCS) :

Le principal intérêt des composantes symétriques résulte de ce qu'elles permettent de représenter un réseau déséquilibré par trois systèmes équilibrés:

1- Système direct (positif) : Il comporte trois phases égales en module et décalées entre elles de 120°, et possède la même séquence de phase que celui du système réel équilibré.

2- Système inverse (négatif) : Il comporte trois phases égales en module et décalées entre elles de 120°, la séquence de phase que possède ce système est inverse par rapport au système réel équilibré.

3- Système homopolaire (zéro) : Ce système comporte trois phases géométriquement parallèles, égales en module.

On définit par I_a, I_b et I_c les courants de phases du système déséquilibré, la détermination de ces courants est donnée par la résolution du système d'équation suivant :

$$\begin{cases} I_a = I_a^o + I_a^d + I_a^i \\ I_b = I_b^o + I_b^d + I_b^i \\ I_c = I_c^o + I_c^d + I_c^i \end{cases} \quad (II.1)$$

On définit l'opérateur a par :

$$a = 1\angle 120° = -0.5 + j0.866 \quad (II.2)$$

$a^2 = 1\angle 240° = -0.5 - j0.866$ (II.3)

$a^3 = 1\angle 360° = -0.5 + j0$ (II.4)

Il est claire que :

$$1 + a + a^2 = 0 \quad \text{(II.5)}$$

Soit:

$I_a^d = I_a^d \angle 0° = I_a^d$ (II.6)

$I_b^d = I_a^d \angle 240° = a^{2I_a^d}$ (II.7)

$I_c^d = I_a^d \angle 120° = aI_a^d$ (II.8)

Et :

$I_a^i = I_a^i \angle 0° = I_a^i$ (II.9)

$I_b^i = I_a^i \angle 120° = aI_a^i$ (II.10)

$I_c^i = I_a^i \angle 240° = a^2 I_a^i$ (II.11)

Soit en écriture matricielle :

$$\begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_a^o \\ I_a^d \\ I_a^i \end{pmatrix} \quad \text{(II.12)}$$

Ou : $I^{abc} = \mathcal{A} I_a^{odi}$ (II.13)

$$\mathcal{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \quad \text{(II.14)}$$

$\mathcal{A}$: Représente le passage entre les variables de phases I^{abc} et les variables symétriques I^{012}.

Le passage entre les variables symétriques et les variables de phases est tel que :

$I_a^{odi} = \mathcal{A}^{-1} I^{abc}$ (II.15)

Avec :

$$\mathcal{A}^{-1} = \frac{1}{3}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \quad \text{(II.16)}$$

Soit : $\mathcal{A}^{-1} = \frac{1}{3}\mathcal{A}^*$ (II.17)

De même :

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a^o \\ V_a^d \\ V_a^i \end{pmatrix} \quad \text{(II. 18)}$$

Ou : $$V^{abc} = \mathcal{A} V_a^{odi} \quad \text{(II. 19)}$$

II.2.4.3)-Description de la méthode de comparaison des phases des courants Symétriques pour la classification :

Cette méthode repose sur la comparaison des phases des vecteurs de courants symétriques

1- Défaut monophasé :

Pour les défauts monophasés on a :

1- Le courant homopolaire Io sera différent de zéro.

2- $\alpha = arg\left(\frac{I_d}{I_o}\right), \beta = arg\left(\frac{I_i}{I_o}\right)$ et pour chaque cas il faut :

-Défauts a-t : α=0° et β = 0°.

-Défauts b-t : α=120° et β = 240°.

-Défauts c-t : α=240° et β =120°.

2- Défaut biphasé sans terre :

Pour ce type de défaut on a :

1- Le courant homopolaire Io sera nul.

2- $\gamma = arg\left(\frac{I_d}{I_i}\right)$ et pour chaque cas il faut:

- Défauts a-b : $\gamma = -60°$.

- Défauts a-c : $\gamma = 60°$.

- Défauts b-c : $\gamma = 180°$.

3- Défaut biphasé avec terre :

Pour ce type de défaut on a :

1- Le courant homopolaire **Io** sera différent de zéro.

2- Pour chaque type de défauts a son critère de classification :

- Défaut a-b-t : $\lambda = arg\left(\frac{I_d - aI_o}{I_i - a^2 I_o}\right) = -60°$.

- Défaut b-c-t : $\delta = arg\left(\frac{I_d - a^2 I_o}{I_i - aI_o}\right) = 180°$.

- Défaut a-c-t : $\mu = arg\left(\frac{I_d - a^2 I_o}{I_i - a I_o}\right) = 60°.$

4- Défaut triphasé :

Pour ce type de défaut les courants homopolaire I_o et l'inverse I_i doivent être nuls.

II.2.5)-Localisation de défaut :

La première utilisation d'un microprocesseur dans la protection électrique (utilisation des relais numériques) était en 1969 par G.D. Rockefeller. A nos jours, plusieurs algorithmes proposés dans ce nouveau domaine servent à localiser les défauts apparents dans les réseaux électriques.

Les méthodes de localisation de défaut dans la littérature peuvent être classifiées en trois catégories principales:

- Les algorithmes basés sur la fréquence fondamentale.
- Les algorithmes basés sur les équations différentielles.
- Les algorithmes basés sur la méthode des ondes mobiles

II.2.5.1)-Description des algorithmes de localisation :

II.2.5.1.1)-Les algorithmes basés sur la fréquence fondamentale :

Les algorithmes basés sur la fréquence fondamentale sont également connus en tant que des méthodes basées sur l'impédance apparente. Elles sont les méthodes les plus communes employées dans des systèmes de protection. L'idée principale de ces méthodes est de calculer l'impédance apparente en examinant une seule extrémité de la ligne.

Ces méthodes peuvent être développées en utilisant les données extraites d'une seule ou des deux extrémités de la ligne. L'avantage des techniques de localisation de défauts qui utilisent les données des deux extrémités de la ligne est de pouvoir détecter et localiser les défauts à la terre sans connaître l'impédance homopolaire de la ligne de transport.

La localisation précise du défaut en utilisant les techniques de l'impédance apparente exige d'abord la bonne extraction des quantités des signaux des phases par filtrage (amplitudes, déphasage, …). Ce procédé de filtrage garantit que les coupures n'affectent pas la mesure des signaux des phases. Le procédé est généralement comme suit :

- Les tensions et les courants des phases sont mesurés.
- Les composants fondamentaux sont extraits.
- Détermination de type de défaut.

• L'application de l'algorithme de l'impédance apparente.

Si on assume que la résistance de défaut est négligeable, les équations présentées dans le tableau (II.1) peuvent être employées pour calculer la distance du défaut :

Tableau (II.1) : Equation de calcul de la distance du défaut.

Type de défaut	L'impédance directe de défaut (d•Z_1)
A-terre	$\mathcal{V}a/(Ia + \mathcal{K} \times 3 \times I\,0)$
A-B / A-B-terre	$\mathcal{V}ab/Iab$
A-B-C	$\mathcal{V}ab/Iab$, $\mathcal{V}bc/Ibc$ ou $\mathcal{V}ac/Iac$

Où :I_0 : courant homopolaire de la ligne.

Ou:
$K = Z0 - Z1 \,/\, 3 * Z1$
$Z1$: L'impédance directe de la ligne.
$Z0$: L'impédance homopolaire de la ligne
d: la distance du défaut
$I0$: courant homopolaire de la ligne

Ces formules simples ont été développées dans la littérature prenant en considération jusqu'ici la résistance du défaut, rapportant des techniques plus complexes et plus précises de localisation de défaut.

La méthode la plus connue pour la localisation du défaut résistant est la méthode de la réactance apparente (simple réactance). Cette méthode fonctionne raisonnablement bien pour des systèmes homogènes quand le défaut n'implique pas des valeurs significatives de la résistance du défaut et du courant de la charge. De grandes erreurs sont présentées à l'évaluation de la distance du défaut à cause du courant qui vient de l'autre extrémité de la ligne et l'impédance de la charge et de la source.

Takagi et autres ont reconnu la nécessité d'améliorer la méthode de réactance en présentant une nouvelle méthode à une seul extrémité qui calcule la réactance d'une ligne en défaut et fournit une certaine correction aux erreurs provoquées par des divers facteurs, tels que la charge et la résistance de défaut. Identifié les limitations des méthodes de la réactance et de Takagi, et a présenté l'algorithme modifié de Takagi. Cette nouvelle méthode améliore la performance de l'algorithme de Takagi quand certaines données du système sont disponibles.

D'autres différentes méthodologies utilisant les données des phases des deux extrémités à la fréquence fondamentale. Ces méthodes ont une ou plusieurs limitations, telles que la

synchronisation des données, la connaissance de la charge de pré-défaut, le besoin d'exécuter des itérations et la communication d'un grand nombre de données entre les extrémités. En outre, un certain nombre des méthodes ne s'appliquent pas aux lignes aériennes avec couplage mutuel.

II.2.5.1.2)-Localisation de défaut en utilisant une seule mesure par la méthode de « Takagi » :

Cette méthode a été discutée dans la littérature par divers chercheurs, notamment par Takagi qui emploie le courant de superposition ΔI_S **[18]**.

La **Figure (II.2)** montre une ligne de transport alimenté par deux sources S et R avec un défaut à une distance « m » (en % de la ligne) de la source S.

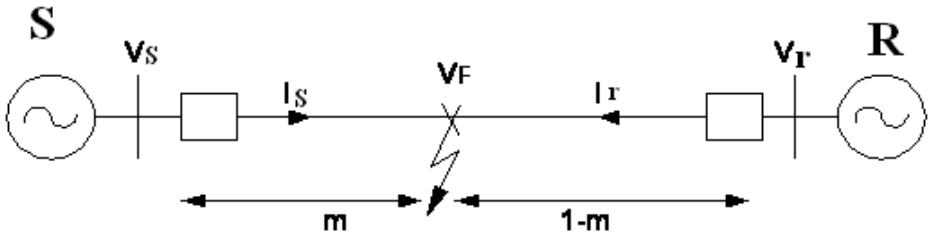


Figure (II.2) : Ligne en défaut à une distance m de la source S.

Le schéma équivalent de la **Figure (II.2)** pour un défaut triphasé est représenté sur la **Figure (II.3).**

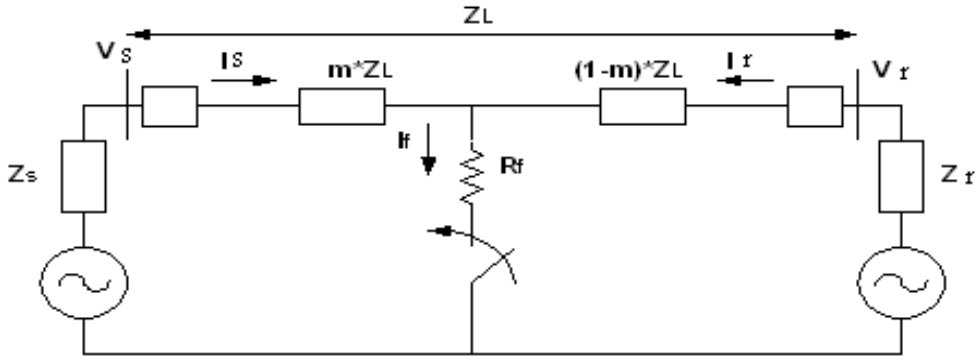


Figure (II.3): Schéma équivalent d'une ligne avec un défaut triphasé.

Avec :

R_f : la résistance de défaut.

V_S : la tension à l'entrée de la ligne.

I_S : le courant à l'entrée de la ligne.

V_r : la tension à la sortie de la ligne.

I_r : le courant à la sortie de la ligne.

I_f : le courant du défaut.

Z_L : l'impédance totale de la ligne entre S et R.

m : distance du défaut.

Zs et **Zr** : impédances respective des sources S et R.

De la **Figure (II.3)** on peut écrire l'équation suivante :

$$V_S = m.Z_L.I_S + R_f.I_f \qquad \text{(II.20)}$$

La valeur de l'impédance ZF_S mesurée à partir de S (impédance de la boucle en défaut vue de S) peut être déterminée en divisant par le courant mesuré I_S.

$$ZF_S = V_S / I_S = m.Z_L + R_f.(I_f / I_S) \qquad \text{(II.21)}$$

Posons :

$$\Delta I_S = I_S - I_L \qquad \text{(II.22)}$$

Où :

I_S : le courant à la source S après le défaut.

I_L : le courant à la source S avant le défaut.

L'équation (II.22) peut s'écrire :

$$V_S = m.Z_{1L}.I_S + R_f.\frac{\Delta I_S}{d_s} \qquad \text{(II.23)}$$

En multipliant les deux cotés de l'équation (II.23) par le conjugué complexe ΔI_S^*, et en employant seulement le partie imaginaire on obtient :

$$\mathrm{Im}(V_S.\Delta I_S^*) = m.\mathrm{Im}(Z_{1L}.I_S.\Delta I_S^*) + R_f.\mathrm{Im}(\frac{1}{d_s}) \qquad \text{(II.24)}$$

Si le système est homogène, l'angle du facteur courant de distribution est presque nul ($\mathrm{Im}(1/d_s)=0$), la distance au défaut est :

$$m = \frac{\mathrm{Im}(V_S.\Delta I_S^*)}{\mathrm{Im}(Z_L.I_S.\Delta I_S^*)} \qquad \text{(II.25)}$$

• **Pour un défaut monophasé à la terre** (phase « a ») le calcul sera comme suit :

$$I_S = I_{Sa} + k_0.I_R \qquad \text{(II.26)}$$

où:

$$I_R = 3.I_0 = I_a+I_b+I_c \qquad \text{(II.27)}$$

$$k_0 = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{Z_{1L}} \quad \text{(II.28)}$$

$$m = \frac{\mathrm{Im}(V_S . \Delta I_S^*)}{\mathrm{Im}(Z_{1L} . I_S . \Delta I_S^*)} \quad \text{(II.29)}$$

• **Pour un défaut biphasé :** $m = \frac{\mathrm{Im}(V_{Sab} . \Delta I_S^*)}{\mathrm{Im}(Z_{1L} . I_{Sab} . \Delta I_S^*)}$ (II.30)

• **Pour un défaut triphasé :** $m = \frac{\mathrm{Im}(V_{Sabc} . \Delta I_S^*)}{\mathrm{Im}(Z_{1L} . I_{Sabc} . \Delta I_S^*)}$ (II.31)

II.2.5.1.3)- Algorithmes de localisation basés sur les données de deux extrémités :

Ces algorithmes peuvent être classés en deux catégories :

• Algorithmes basés sur les données non synchronisées issues de deux extrémités de la ligne.

• Algorithmes basés sur les données synchronisées issues de deux extrémités de la ligne. Nous supposons que la ligne en défaut a le même schéma équivalent de la figure II. 3, précédente. Dans la première catégorie, la tension de défaut a deux valeurs :VF et V'F qui ont la même amplitude avec un déphasage δ tel que :

$VF = V'F\, e^{j\delta}$ (II.32)

Plusieurs algorithmes sont proposés, parmi lesquels nous citons :

• L'algorithme qui utilise les données non synchronisées des deux extrémités de la ligne et leur schéma équivalent inverse. L'application de la loi de Kirchhoff sur les tensions inverses permet de calculer la valeur de x. **[19]**

• L'algorithme qui utilise aussi les données non synchronisées des deux extrémités de la ligne. La valeur de x est donnée par la relation suivante:

$$x = \frac{\mathrm{Re(Vs)}.\sin\delta + Im(\mathrm{Vs}).\cos\delta - Im(\mathrm{VR}) + C_4}{C_1.\sin\delta + C_2.\cos\delta + C_4} \quad \text{(II.33)}$$

C_1, C_2 , C_4 sont des coefficients donnés.

Pour la deuxième catégorie, plusieurs algorithmes proposés sont basés sur l'utilisation des échantillons synchronisés par 'GPS' (Global Positionning system of Satellite), et sur les paramètres distribués de la ligne où est négligé l'effet de la capacité shunt et de la conductance. La ligne est considérée homogène pour simplifier le modèle utilisé.

Soit le schéma suivant qui représente un défaut sur une ligne triphasée :

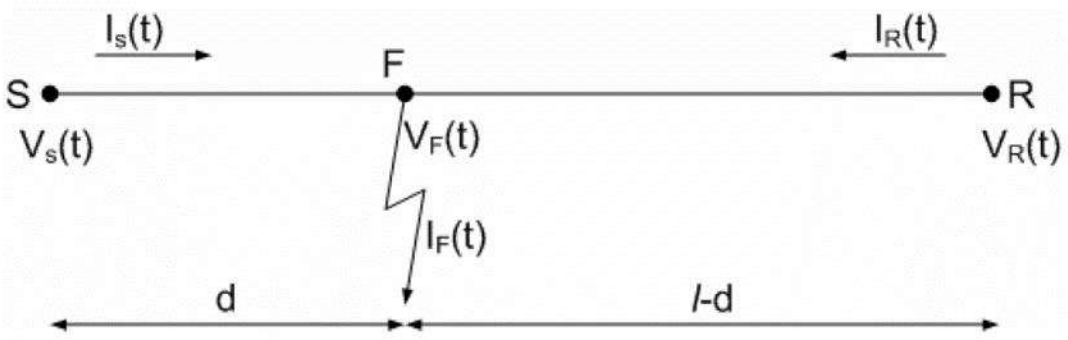


Figure (II.4) : Schéma équivalent d'une ligne triphasée en défaut.

Les algorithmes les plus importants sont :

• L'étude ou bien l'algorithme basé sur la méthode des moindres carrés nous donne l'expression suivante permettant d'estimer la distance x :

$$x = -(A^T A)^{-1} (A^T B) \qquad \text{(II.34)}$$

Tels que :

A et B sont des matrices des tensions et courants L'exposant T dénote la matrice transposée.

II.2.5.1.4)- Les algorithmes basés sur les équations différentielles :

L'avantage principal des méthodes de localisation de défaut utilisant les équations différentielles est qu'elles n'ont pas besoin d'estimer les tensions et les courants des phases. L'idée fondamentale est de résoudre les équations différentielles la ligne de transport et d'estimer par conséquent l'impédance de défaut. Une fois que l'impédance de défaut est calculée, la distance de défaut est facilement déterminée. Elles sont classifiées selon le modèle de la ligne : ligne courte, ou ligne longue.

Pour le modèle de la ligne courte l'équation différentielle de la ligne est donnée comme :

$$v_{x1}(t) - v_{x2}(t) = (x_2 - x_1)\left[ri(t) + \frac{Ldi(t)}{d(t)} \right] \qquad \text{(II.35)}$$

Où : x1 et x2 sont deux endroits différents de la ligne.

Pour le modèle de la ligne longue (modèle en π) on utilise les équations de Télégraphiste :

$$\frac{dv}{dx} + L\frac{di}{dt} = -Ri \qquad \text{(II.36)}$$

$$C\frac{dv}{dt} + L\frac{di}{dx} = 0 \qquad \text{(II.37)}$$

Où : v est la tension de phase, i est le courant de phase, R est la résistance série de la ligne, L est l'inductance série de la ligne et C'est la capacité de la ligne.

Le modèle de la ligne courte est simple mais c'est utile que pour des lignes très courtes. La négligence de la capacité de la ligne cause des erreurs dans le calcul de la distance du défaut. Par conséquence, les méthodes de localisations de défaut utilisant le modèle de ligne en π sont plus précises, cependant, ils sont sensibles à la transposition, l'accouplement mutuel de la ligne, l'angle de défaut, des changements de paramètre dans les différentes gammes de fréquence et dans certains cas à la compensation de la ligne.

II.2.5.1.5)- Les algorithmes basés sur la méthode des ondes mobiles :

La localisation de défauts pour les lignes de transport aérienne et les câbles souterraines utilisant la méthode des ondes mobiles a été annoncée depuis 1931 La renaissance de cette méthode est partiellement due à la demande récente du marché des localisateurs de défauts rapide et précis et la disponibilité de nouvelle technologie dans l'acquisition des données à grande vitesse, la synchronisation de temps utilisant le GPS et l'avancement dans les systèmes de télécommande et de communication. Deux méthodes proposées pour localiser les défauts dans les lignes de transport utilisation la méthode des ondes mobiles :

1. Les algorithmes qui utilisent les données extraites des deux extrémités de la ligne : dans cet arrangement, le temps relatif d'arrivée de l'onde mobile produit par le défaut est mesuré aux deux extrémités de la ligne en défaut. Un canal de communication à grande vitesse doit être disponible pour la mesure précise du temps de propagation de l'onde.

2. Les algorithmes qui utilisent les données extraites d'une seule extrémité : cet arrangement est utilisé pour les lignes hautes tension en courant continu (HVDC). Pour utiliser cette technique pour les lignes de transport en courant alternatif, plus de recherche est nécessaire.

Les algorithmes de localisation de défaut utilisant la méthode des ondes mobiles sont basés sur la mesure de l'énergie reçue et reflétée d'une seule ou des deux extrémités de la ligne ou du lieu de défaut en défaut utilisant des temps synchronisés. Quand un défaut se produit, le changement de tension au point de défaut produit une impulsion électromagnétique à haute fréquence. Cette impulsion produite s'appelle une « onde mobile ». La distance de défaut est déterminée par la

différence du temps entre l'onde incidente venant de défaut et l'onde correspondante reflétée au défaut.

En 1951, Lewis a classifié les méthodes des ondes mobiles en quatre types A, B, C et D selon leur mode de fonctionnement.

Type A : cette catégorie utilise une seule extrémité de la ligne et calcule la distance de défaut en basant sur le temps entre la première détection de défaut et les détections des réflexions produites par le défaut.

Type B : est une méthode qui utilise deux extrémités dans laquelle le localisateur de défaut détecte le défaut à une extrémité et envoie un signal à l'autre extrémité de la ligne de transport. La période de l'arrivée du signal est employée par synchronisation pour déterminer l'endroit de défaut. La méthode de transmission du signal et la possibilité d'un retard entre la détection de défaut et la génération du signal peuvent varier selon le type de catégorie choisi.

Type C : ressemble beaucoup au type A, sauf qu'il emploie une impulsion produite et ses réflexions pour localiser le défaut plutôt qu'à utiliser le défaut et ses réflexions.

Type D : est une méthode à deux extrémités qui emploie les périodes de détection des coupures à l'extrémité inverse de la ligne de transport pour déterminer l'endroit de défaut ; les localisateurs de défaut aux deux extrémités de la ligne de transport doivent être synchronisés pour que ce type travaille correctement. Une nouvelle méthode qui utilise une seule extrémité (le type E) a été proposée en 1993 à la différence des types précédents, elle utilise les coupures produites quand la ligne est réenclenchée par le disjoncteur. Ses rapports d'essai sur le terrain dans diverses conditions montrent une exécution prometteuse, dans laquelle l'erreur maximum d'évaluation ne dépasse pas 2.7 %.

La méthode des ondes mobiles peut fournir des résultats très précis quand elle fonctionne correctement. Cependant, des différents facteurs peuvent affecter leurs exécutions remarquablement.

La propagation peut être affectée par les paramètres du système et la configuration du réseau menant à une atténuation forte des ondes. Une autre difficulté surgit pour les défauts proches au jeu de barres. De plus, les ondes reflétées peuvent être sérieusement affectées par la discontinuité de la ligne telle que les branches de dérivation, des charges et la section du câble.

La complexité de leur simulation, particulièrement si en considère la dépendance des paramètres de la ligne en fonction de la fréquence est également une autre.

En outre, le facteur économique est un inconvénient essentiel en raison du matériel supplémentaire exigé pour ces arrangements aussi bien que les outils de communication et de synchronisation.

II.3)-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cité les différentes techniques utilisées dans l'analyse des défauts électriques qui apparaissent sur les lignes de transports d'énergie électrique ainsi que les techniques utilisées dans la détection, classification et localisation des défauts.

III.1)-Introduction :

L'analyse par ondelettes été introduite au début des années 1980. il s'agit de donner une représentation des signaux permettant la mise en valeur simultanée des informations temporelles et fréquentielles (localisation temps-fréquence).

C'est ainsi que le besoin des ondelettes, famille de fonction déduite d'une même fonction (appelées ondelettes mères) par opération de translation et dilatation, s'est fait ressentir en remarquant que la transformée de Fourier qui a dominée dès le début de 19ième siècle, perd lors de la projection le contrôle de la variable temporelle et reste toujours incapable de décrire localement (en temps ou espace) le comportement fréquentiel des signaux.

L'idée originale sur laquelle sont basées les ondelettes est apparue vers les années 1940 grâce au physicien Denis Gabor, qui a introduit la notion de la transformée de Fourier à fenêtre glissante dans le but de remédier au problème de localisation temps-fréquence en proposant de multiplier le signal par une fonction localisée dans le temps (fenêtre) et ensuite appliquer la transformée de Fourier. L'inconvénient de cette méthode est que la taille de la fenêtre reste inchangée au cours de l'analyse. Or pour étudier un signal qui a en général une allure irrégulière, il est potentiellement intéressant de pouvoir changer la taille de la fenêtre analysante en temps. C'est à partir de là que sont nées les ondelettes qui s'adaptent elles même à la taille et aux caractéristiques recherchées.

III.2)-La Transformée de Fourier (TF) :

La transformée de Fourier est un outil qui sert à mesurer la fréquence d'un signal. Son principe repose sur le fait que toute fonction périodique peut être représentée comme la somme d'une série de sinus et de cosinus dont on fait varier d'une part les amplitudes en les multipliant par des coefficients, et d'autre part les phases en les décalant de manière à ce qu'elles s'additionnent ou se compensent .



Figure (III-1) : La Transformée de Fourier

La définition de la TF est donnée par la formule suivante :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).e^{2j\pi ft}\,dt \qquad (III.1)$$

Cependant, l'analyse de Fourier, de par sa nature, montre assez vite ses limitations : son calcul nécessite la connaissance de toute l'histoire temporelle du signal. De plus, dans une transformée de Fourier, l'information sur le temps est présente (la transformée inverse est donc possible), mais elle est cachée dans les phases, elle est en pratique impossible à extraire **[20]**.

On en est donc réduit à étudier un signal soit en fonction du temps, soit en fonction des fréquences qu'il contient, sans possibilité de conjuguer les deux analyses.

La définition de la TF inverse est donnée par la formule suivante :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f).e^{2j\pi ft}\,df \qquad (III.2)$$

III.2.1)-Transformée de Fourier Fenêtré glissante (STFT) :

Pour pallier le manque d'information sur le temps dans la transformée de Fourier, une nouvelle méthode d'analyse est donc introduite elle utilise une « Fenêtre glissante ».

Cette méthode, pouvant être adaptée aux signaux non-stationnaires, est très proche de l'analyse spectrale : on définit une fenêtre qui sera utilisée comme masque sur le signal, et dans laquelle on considère que le signal est localement stationnaire, puis on décale cette fenêtre le long du signal afin de l'analyser entièrement.

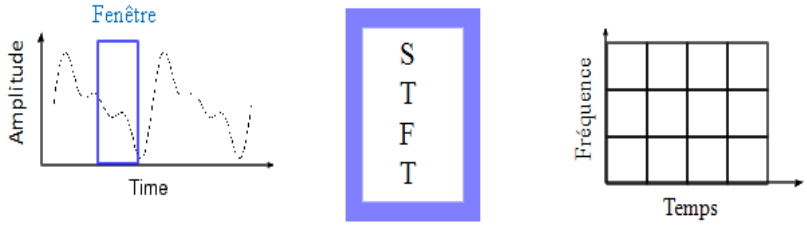


Figure (III-2) : La Transformée de Fourier fenêtrée.

La transformée de Fourier fenêtrée remplace la sinusoïde de la transformée de Fourier par le produit d'une sinusoïde et d'une fenêtre localisée en temps.

La définition de la STFT est donnée par la formule suivante :

$$STFT_{(s,f)} = \int_t [x(t).g*(t-s)].e^{-j2\pi f t}\,dt \qquad \text{(III.3)}$$

Où :

- x(t) étant le signal lui-même
- g(t) est la fonction fenêtre et g* son complexe conjugué.
- f représente la fréquence.
- s représente l'échelle.

Comme l'indique l'équation, la STFT du signal n'est autre que la TF du signal multiplié par la fonction fenêtre. Pour chaque valeur de f et de s, on calcule un nouveau coefficient de la STFT. On constate que la fenêtre g est indépendante de l'échelle, ce qui signifie que l'enveloppe de la fenêtre glissante sera constante : on aura donc une résolution fixe sur toute la durée du signal. Ainsi, l'étude d'un signal avec la STFT permet d'obtenir à la fois une information sur le temps et sur la fréquence, mais la résolution d'analyse est fixée par le choix de la taille de l'enveloppe :

- Si la fenêtre est trop petite, les basses fréquences n'y seront pas contenues.
- Si la fenêtre est trop grande, l'information sur les hautes fréquences est noyée dans l'information concernant la totalité de l'intervalle contenu dans la fenêtre.

Donc la taille fixe de la fenêtre est un gros inconvénient. L'outil idéal serait une fenêtre qui s'adapte aux variations de fréquence dans le signal à analyser. Cet outil existe, il s'agit de la récente analyse en ondelettes **[21]**.

III.3)- La transformée en ondelettes (WT) :

III.3.1)-Définition :

Une ondelette est une forme d'onde qui à une valeur moyenne zéro et une durée limitée.

En regardant des images des ondelettes et des ondes sinusoïdales, on voit intuitivement que des signaux avec les changements pointus pourraient mieux être analysés avec une ondelette irrégulière qu'avec une sinusoïde douce.

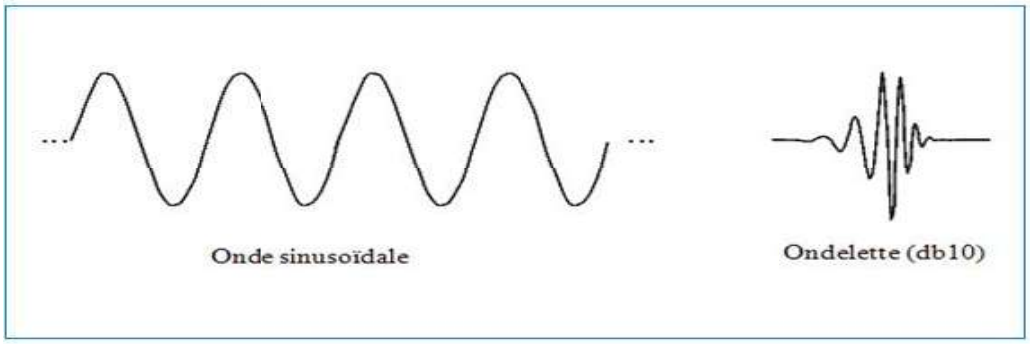


Figure (III-3) : La Différence entre une onde sinusoïdale et une ondelette.

La transformée en ondelettes est un outil mathématique qui décompose un signal en fréquences en conservant une localisation spatiale. Le signal de départ est projeté sur un ensemble de fonctions de base qui varient en fréquence et en espace. Ces fonctions de base s'adaptent aux fréquences du signal à analyser. Cette transformation permet donc d'avoir une localisation en temps et en fréquence du signal analysé.



Figure (III-4) : La Transformée en ondelettes.

La figure suivante donne le pavage de l'espace-temps-fréquence pour la transformée de Fourier à fenêtre (STFT) et pour l'analyse en ondelettes (WT). Pour l'analyse de Fourier, la fenêtre est de taille constante, pour l'analyse en ondelettes, la fenêtre est de surface constante mais sa taille varie en fonction de la fréquence à analyser **[22]**.

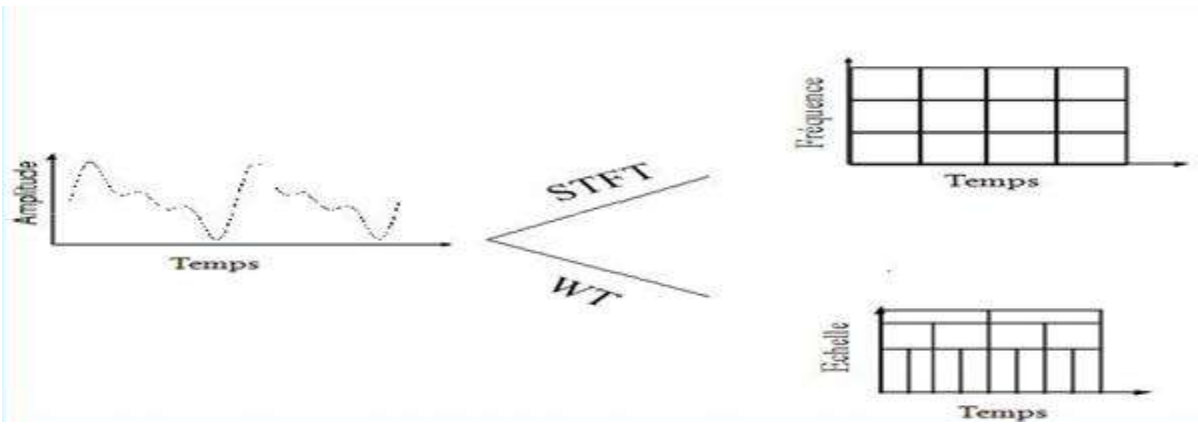


Figure (III-5) : Le Pavage de l'espace-temps-fréquence pour la STFT et la WT.

On remarque que la largeur de la fenêtre pour l'analyse en ondelette (WT) est modifiée à mesure qu'on calcule la transformée pour chacune des composantes spectrales individuellement.

Ce dernier point représente la caractéristique la plus significative de la transformée en ondelettes.

La transformée en ondelettes a la capacité de changer la taille de la fenêtre à différentes résolutions de temps-fréquence comme représenté si dessus.

Les fonctions de base d'ondelettes peuvent être étirées ou comprimées dans la fenêtre d'analyse.

Ceci aide isoler des discontinuités de signal parce que des courtes fonctions de base sont employées pour obtenir l'information détaillée de fréquence tandis que des longues fonctions de base sont employées pour rechercher l'information approximative de fréquence du signal. Ceci permet d'analyser le signal à différentes échelles.

L'analyse en ondelettes adopte une fonction de prototype d'ondelettes connue sous le nom de **" Ondelettes mère"** donné dans l'équation$(III-4)$, Cette Ondelette mère génère un ensemble de fonctions de base connues sous le nom **" Ondelettes enfantes "** par des translations et dilatations récursives.

III.3.2)-Ondelettes Mère :

La définition de l'ondelette mère est donnée par la formule suivante :

$$\Psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \qquad \text{(III. 4)}$$

Où :

- τFacteur de translation.
- s Facteur de dilatation (Echelle).
- $\Psi(\tau, s)$ Ondelette mere.
- $\Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ Ondelette enfants.
- $\frac{1}{\sqrt{s}}$ Facteur de normalisation de l'énergie afin que le signale transformé ait la même énergie à toute les échelles.

Le sens du terme translation est celui qu'il avait dans la STFT, il est lié à la localisation de la fenêtre, à mesure que cette fenêtre est décalée sur l'étendue du signal. Ce terme correspond évidemment à une information de temps dans le domaine de la transformée. Nous n'avons pas cependant de paramètre de fréquence, comme nous l'avions avec la STFT, il est remplacé par un paramètre d'échelle défini comme 1/fréquence. Le terme fréquence reste réservé à la STFT (ou à la TF).

III.3.3)-L'échelle :

Le paramètre échelle, utilisé en analyse par ondelettes, est très similaire à la notion d'échelle pour les cartes. Comme dans le cas des cartes, les grandes échelles correspondent à des vues globales (du signal) non détaillées. Les faibles valeurs d'échelle correspondent à des vues détaillées.

En termes de fréquence, de façon similaire, les basses fréquences (grandes échelles) fournissent une information globale sur le signal (habituellement sur tout l'étendu du signal) alors que les hautes fréquences (faibles échelles) donnent des informations détaillées sur un motif caché dans le signal (généralement de faible duré) **[23]**.

III.3.4)-La transformée en ondelettes continue (CWT) :

La transformée en ondelettes continue utilise des translations et des dilatations de la fonction ondelette mère durant tout l'intervalle du temps de manière continue.

La définition de CWT est donnée par la formule ci-dessous :

$$CWT(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \qquad \text{(III.5)}$$

Cette transformation est en théorie infiniment redondante puisque l'ondelette est translatée de manière continue, cependant il existe des méthodes pour diminuer cette redondance l'une de ces méthodes consiste en l'emploi de la transformée en ondelettes discrète.

III.3.5)-La discrétisation de la transformée en ondelettes continue :

Il est à peu près évident que ni la TF, ni la STFT, ni la CWT ne peuvent être manuellement calculées en utilisant les équations analytiques, le calcul intégral, etc. C'est aux ordinateurs qu'on confie la plupart des calculs aujourd'hui, c'est donc aux ordinateurs de calculer ces transformées. Il devient donc nécessaire de discrétiser les transformées. La manière la plus intuitive d'opérer, comme dans le cas de la TF ou de la STFT, est d'échantillonner le plan temps/fréquence (échelle). Encore intuitivement, échantillonner le plan avec une période d'échantillonnage constante, paraît un choix naturel. Dans le cas de la CWT, on peut utiliser la variation de l'échelle pour réduire la fréquence d'échantillonnage.

III.3.6)-La transformée en ondelettes discrète (DWT) :

La transformée en ondelettes discrète (DWT) est produite pour surmonter le problème de redondance de l CWT, Cette redondance mobilise une grande quantité de ressource de calcul.

La transformée discrète en ondelettes (DWT), au contraire, fournit suffisamment d'information, tant pour l'analyse que pour la reconstruction du signal original. Ceci en un temps de calcul notablement réduit.

La DWT est considérablement plus simple à implémenter que la CWT. Dans ce qui suit, nous introduisons les concepts de base de la DWT, ses propriétés et les algorithmes utilisés pour la calculer.

La transformée en ondelettes discrète translate et dilate l'ondelette selon des valeurs discrètes.

Ce coefficient s et τ seront discrétisés de la manière suivante :

$$S = S_O^j \; et \; \tau = k\,\tau_o S_O^j \; avec \; S_O > 1 \; et \; \tau_o > 0 \; fixés \; et \; appartenannt \; a \; Z.$$

Les ondelettes sont alors définies de la manière suivante :

$$\Psi(\tau_0, S_0) = \frac{1}{\sqrt{S_0^j}} \Psi\left(\frac{t - k\, S_0^j \tau_0}{S_0^j}\right) \qquad \text{(III. 6)}$$

La DWT est donnée par la formule ci-dessous :

$$DWT(\tau_0, S_0) = \frac{1}{\sqrt{S_0^j}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\, \Psi\left(\frac{t - k\, S_0^j \tau_0}{S_0^j}\right) \qquad \text{(III. 7)}$$

Tel que :

- S_0^j Facteur d'échelle.
- τ_0 Facteur de translation.
- $k\ et\ j\ Des\ entiers.$

Si on choisit $S_0 = 2\ et\ \tau_0 = 1, en\ se\ place\ dans\ le\ cas\ dyatique.$

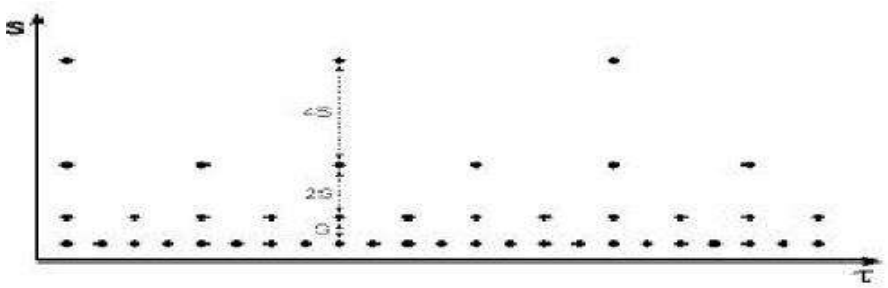


Figure (III-6) : Localisation des ondelettes discrètes dyadique dans un plan temps/échelle.

III.3.7)-Les propriétés des ondelettes :

Toute fonction Ψ oscillante, de moyenne nulle et d'énergie finie :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t)dt = 0 \qquad et \qquad |\Psi(0)|^2 = 0 \tag{III. 8}$$

Est une ondelette possible, avec l'intention qu'un signal puisse être analysé et reconstruit sans perte d'information.

La condition nécessaire pour que Ψ puisse être utilisée comme une ondelette analysante est qu'elle vérifie une condition d'admissibilité :

$$\int_0^{+\infty} (|TF(\Psi(S))|^2/|S|)dt < \infty \tag{III. 9}$$

(Ou une condition similaire). Une propriété suffisante pour avoir une ondelette admissible est qu'elle soit Intégrale. On peut démontrer que cette seule propriété implique que l'ondelette est oscillante, de moyenne nulle et d'énergie finie.

III.3.8)-Les familles de la transformée en ondelettes :

Il existe une infinité de fonctions d'ondelettes parce que toute fonction oscillante localisée est une ondelette mère possible. Toutefois, elles ne possèdent pas toutes des propriétés Intéressantes. Aussi, de nombreux spécialistes des ondelettes ont construit des familles d'ondelettes possédant certaines propriétés remarquables Parmi les familles d'ondelettes, les ondelettes de Haar sont les plus simples, mais elles ne sont pas bien localisées.

Ingrid Daubechies a construit des ondelettes à support compact qui permettent d'utiliser des filtres de taille finie **[24]**.

Une autre famille d'ondelettes est la famille des ondelettes splines dont la réponse fréquentielle est bien localisée.

Les différentes familles d'ondelettes sont utilisées selon leurs propriétés en fonction du problème à résoudre.

La figure suivante présente quelques familles d'ondelettes :

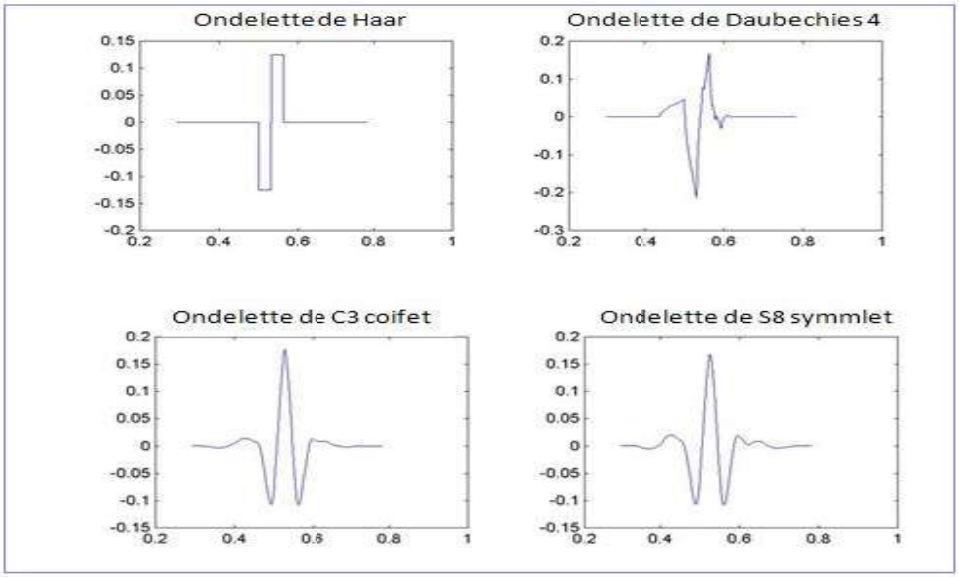


Figure (III-7) : Quelques familles d'ondelettes.

III.3.8.1)-Ondelette de Haar :

La fonction échelle $\varphi(t)$ et la fonction d'ondelette $\Psi(t)$sont données par :

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \le t \le 1 \\ 0 & sinon \end{cases} \quad \text{(III.10)}$$

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \le t \le 1/2 \\ -1 & 1/2 \le t \le 1 \\ 0 & sinon \end{cases} \quad \text{(III.11)}$$

La fonction de transfert des filtres associés s'écrit :

$$H(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} z^{-1} \quad \text{(III.12)}$$

$$G(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} z^{-1} \quad \text{(III.13)}$$

L'inconvénient de cette analyse est sa très mauvaise résolution fréquentielle sont intérêt est grande simplicité des filtres associés.

III.3.8.2)-Ondelette de Littlewood Paley :

La fonction échelle est de types Sinc, on peut considérer que c'est le duale de la fonction Haar. Les fonctions d'échelle et d'Ondelette s'écrivent donc :

$$\varphi(t) = \frac{\sin \pi t}{\pi t} \tag{III.14}$$

$$\Psi(t) = \frac{\cos \pi t - \sin 2\pi t}{\pi\left(t - \frac{1}{2}\right)} \tag{III.15}$$

On donne les filtres numériques associés :

$$h[n] = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sin n\pi/2}{n\pi/2} \tag{III.16}$$

$$\mathrm{g}[n] = \frac{(-1)^{-1}}{\sqrt{2}} \frac{\sin \frac{1-n}{n\pi}\pi}{\frac{1-n}{2}\pi} \tag{III.17}$$

On remarque que les filtres h[n]et g[n]sont de longueur infinie(RII), et contrairement au précédente cette Ondelette manque de localisation temporelle.

III.3.8.3)-Ondelette Splines :

Les B Spline sont construites par auto convolution de la fonction boite noté I(t) :

$$I(t) = \begin{cases} 1 & -1/2 \le t \le 1/2 \\ 0 & sinon \end{cases} \tag{III.18}$$

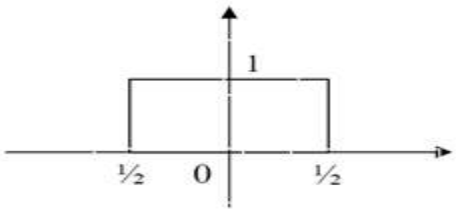


Figure (III-8) : La Fonction Boite I(t).

La famille des fonctions B Spline ne constitue pas une bas orthonormé, mais on peut appliquer une méthode d'opérationnalisation, par une combinaison linéaire des fonctions B Spline d'Ordre n, et obtenir ainsi une orthogonal, les filtres numériques associés auront une réponse en phase linéaire, mais ils type RII, couteux a metteur en œuvre .la B Spline d'Ordre n sera :

Si n est impaire : $\beta^{(n)}(t) = I(t) * i(t) * \dots \dots * I(t)$ (III.19)

Si n est pair : $\beta(n)(t) = I\left(t-\frac{1}{2}\right) * I\left(t-\frac{1}{2}\right) * \ldots\ldots * I(t-\frac{1}{2})$ (III.20)

On posant n=0 on retrouve la bas de Haar qui est la seule de la série qui soi orthonormée.

III.3.8.4)-Ondelette Bi orthogonale :

Dans certaines application ,on préfère utiliser des Ondelettes bi orthogonales qui permettent d'allier les propriétés de linéarité en phase avec la compacité des supports des filtres utilisés L'analyse et la reconstruction sur les bases bi orthogonales n'utilisent pas les mêmes famille de fonction , deux jeux de bases duales nécessaires.

III.3.8.5)-Ondelette de Morlet :

L'Ondelette de Morlet a un grand intérêt et l'étude des signaux sismiques, comme nous allons le voir plus tard, puisque sa forme ''ressemble ''beaucoup a celle de l'Odelette sismique (l'impulsion). Cette Ondelette est inspirée du signal élémentaire de Gabor elle est obtenue par modulation d'une gaussienne.

$$\Psi(t) = (\pi.t_0)^{-1/4} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 + 2j\pi f_0 t\right] \quad \text{(III.21)}$$

III.3.8.6)-Chapeau Mexicain :

Le chapeau mexicain **Figure (III-9),** Ondelette réelle qui doit son nom à sa forme, est construite à partir de la dérivée seconde de la gaussienne :

$$\Psi(t)_{CM}(t) = (1-t^2).\exp(-\frac{1}{2}t^2) \quad \text{(III.22)}$$

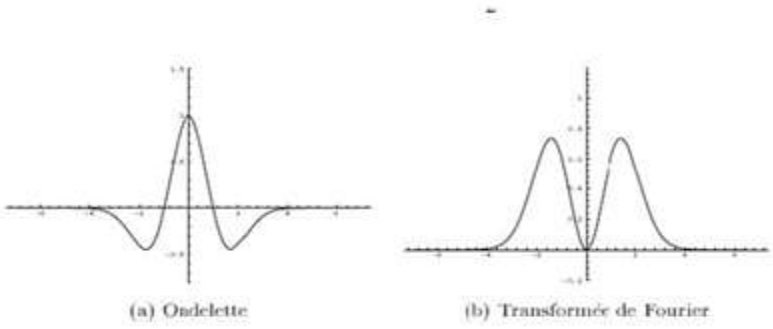


Figure (III-9) : Ondelette Chapeau Mexicain et module de sa transformée de Fourier.

Cette Ondelette appartient à l'espace de Schwartz S, elle est symétrique, ce qui permet de ne pas introduire des décalages (déphasages) dans la transformée en Ondelettes contrairement à des

Ondelettes non symétriques (comme le sont les Ondelettes orthogonales à support compact de Daubechies), elle est particulièrement adaptée à la détraction des discontinuités.

III.3.8.7)-Ondelette de Daubechie :

Les Ondelettes d'Ingrid Daubechies sont intéressantes puisque elles sont orthogonales et bien localisées en temps (ou espacent) de plus elles donnent la possibilité de choisir le degré de régularité voulue en imposant un certain nombre de moments nuls **Figure (III-10),** leur régularité augmente avec N, cependant elles ne sont pas symétriques ce qui peut causer de problèmes dans certaines situations **[25]**.

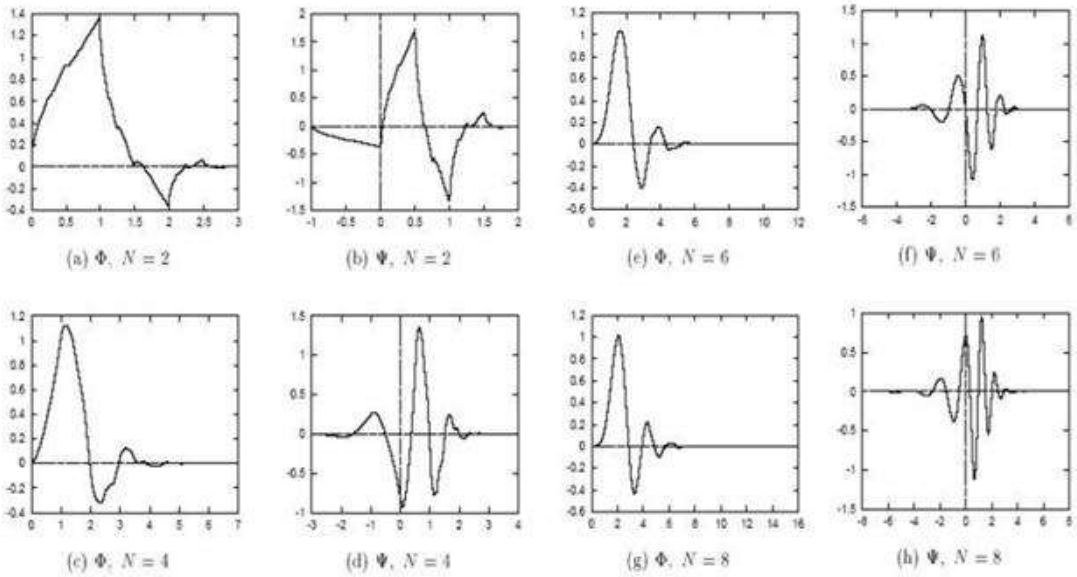


Figure (III-10) : Ondelette de Daubechies avec N moments nuls (N=2,4,6,8).

III.3.9)-Avantage de la transformée en ondelettes [26] :

Le fait que la transformée utilise des fonctions bien localisées dans le réseau electrique donne beaucoup d'avantages :

- la transformée en ondelettes permet de représenter complètement et efficacement un signal en peu de coefficients.
- Une brusque variation d'un signal produit un grand coefficient d'ondelette alors que pour un signal continu on obtient peu de coefficients.
- la transformée en ondelette est bien adaptés car l'ondelette peut détecter ces variations.

III.4)-Conclusion :

La transformée en ondelettes présente de nombreux avantages dans le domaine du traitement du signal et de l'image. L'analyse par ondelettes ne se limite plus à l'image telle qu'elle nous apparaît, mais permet l'étude des objets présents dans l'image à différentes échelles, elle permet de réduire la redondance pour améliorer la compression d'une image, elle peut également extraire les informations importantes (texture, contours, etc.) contenues dans une image et aussi de réduire le bruit contenu dans l'image. C'est un outil puissant de transformation du signal qui permet de «préparer» le signal afin de faciliter le traitement envisagé.

IV.1)- Introduction :

La localisation de défaut est devenue de plus en plus importante pour connaitre l'endroit de défaut et le réparer afin de réduit le temps de l'entretien et de la restauration du réseau électrique a fin de réalisé ce but des différents algorithmes de localisation ont été développées jusqu'a présent pour obtenir une meilleur évaluation de l'endroit de défaut selon les données d'une seule ou des deux extrémités de la ligne.

Dans ce chapitre on va étudier deux méthodes, la première méthode c'est l'ondelette et les deuxièmes c'est les ondes mobiles basent sur l'utilisation des données d'une seule extrémité de la ligne pour la localisation des défauts, et une simulation par le logiciel « Matlab-simulink » pour évaluer ces performances.

IV.2)- Description du réseau d'étude:

IV.2.1)- Circuit de simulation :

Le réseau à étudier est indiqué sur **la Figure (IV-1),** ce réseau est composé d'une ligne de transport, une source de tension triphasé, un transformateur et une charge. La ligne est supposée de longueur de 300 km avec un niveau de tension de 350 kV.

La simulation est réalisée par le logiciel Matlab-Simulink avec power Système [40], pour régénérer les signaux tensions et courants au niveau des jeux de barres (lieux des relais). L'application des méthodes de la localisation de défaut est réalisée par le même logiciel.

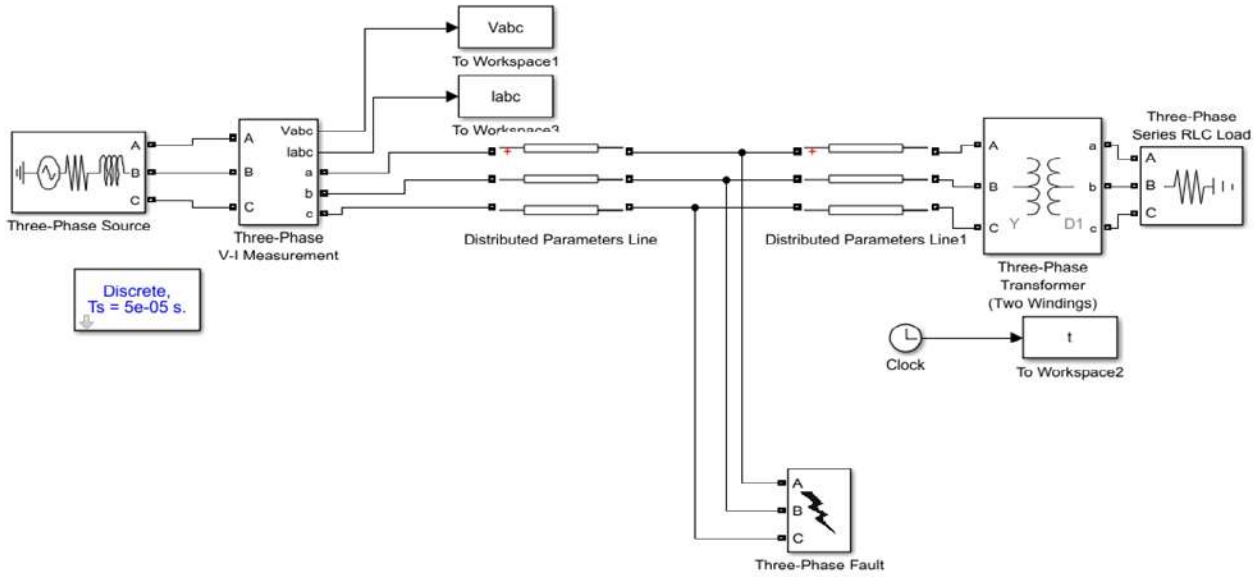


Figure (IV.1) : Réseau de simulation avec défaut sur la ligne.

Les paramètres du réseau sont décrits comme suite :

Sources :

Niveau de tension du réseau : 350 kV

Impédance : $Z_S = (0.238+j6.19)\ \Omega$

Ligne :

Longueur de la ligne : L = 300 km

Résistance : $R_1 = 0.01273\ \Omega/km$; $R_0 = 0.3864\ \Omega/km$;

L'inductance : $L_1 = 0.9337e\ 3\ H/km$; $L_0 = 4.1264e\ 3\ H/km$;

Capacité : $C_1 = 12.74e\ 9\ F/km$; $C_0 = 7.751e\ 9\ F/km$

Transformateur : 350/275 kV, 300 MVA, 50 Hz

$R_1 = R_2 = 0.002$ pu

$L_1 = L_2 = 0.08$ pu

La charge : 250 MW

le pas de simulation :1e-007s.

IV.2.2)-Les signaux des tensions et des courants obtenus :

a-Défaut monophasé :

Les **figures (IV.2)** et (**IV.3**) représentent respectivement les signaux des tensions et courants des trois phases pour un défaut monophasé avec terre pour une résistance de défaut (R_f =0.001 Ω), à une distance x = 50 km à partir du jeu de barres.

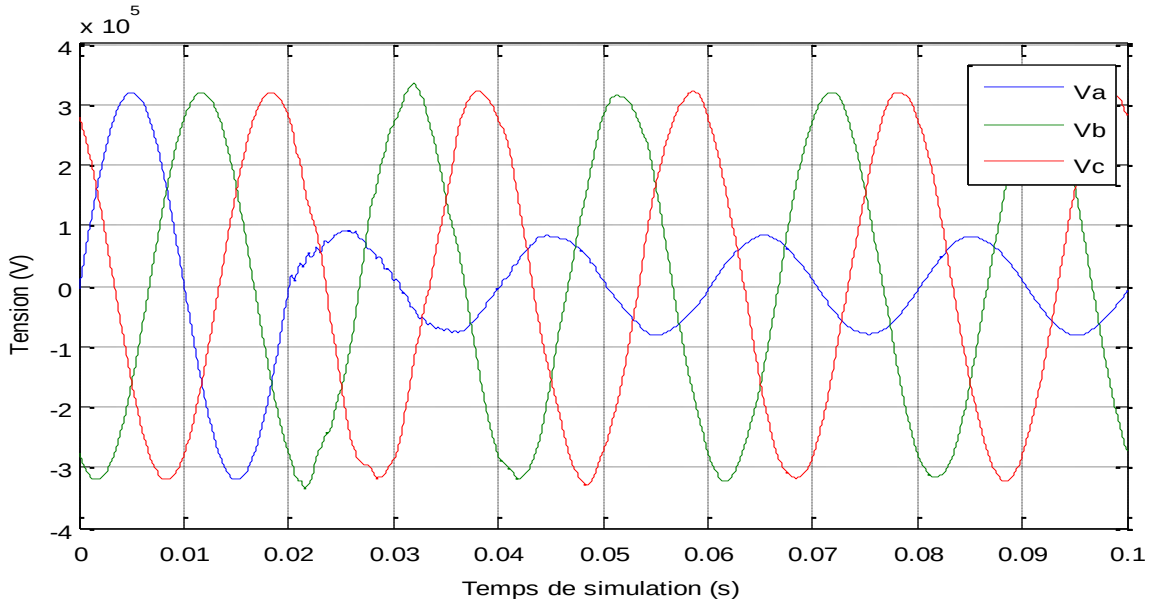


Figure (IV.2): Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut monophasé franc à la terre (a-t).

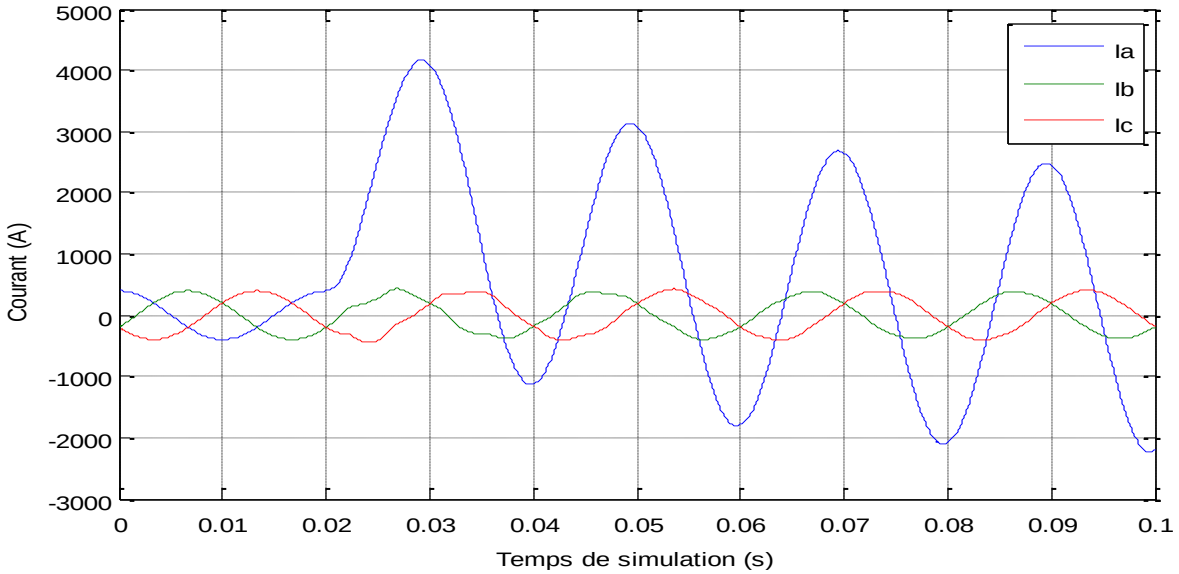


Figure (IV.3): Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut monophasé franc à la terre (a-t).

En cas de défaut monophasé franc à la terre (phase a-terre), on observe une chute de tension et une surintensité importante dans la valeur de la tension et le courant de la phase en défaut , et pour les autre phases des perturbations sont observer.

b-Défaut biphasé à la terre :

Les **figures (IV.4)** et (**IV.5**) représentent respectivement les signaux des tensions et courants des trois phases pour un défaut biphasé avec terre pour une résistance de défaut (R_f =0.001 Ω), à une distance x = 50 km à partir du jeu de barres.

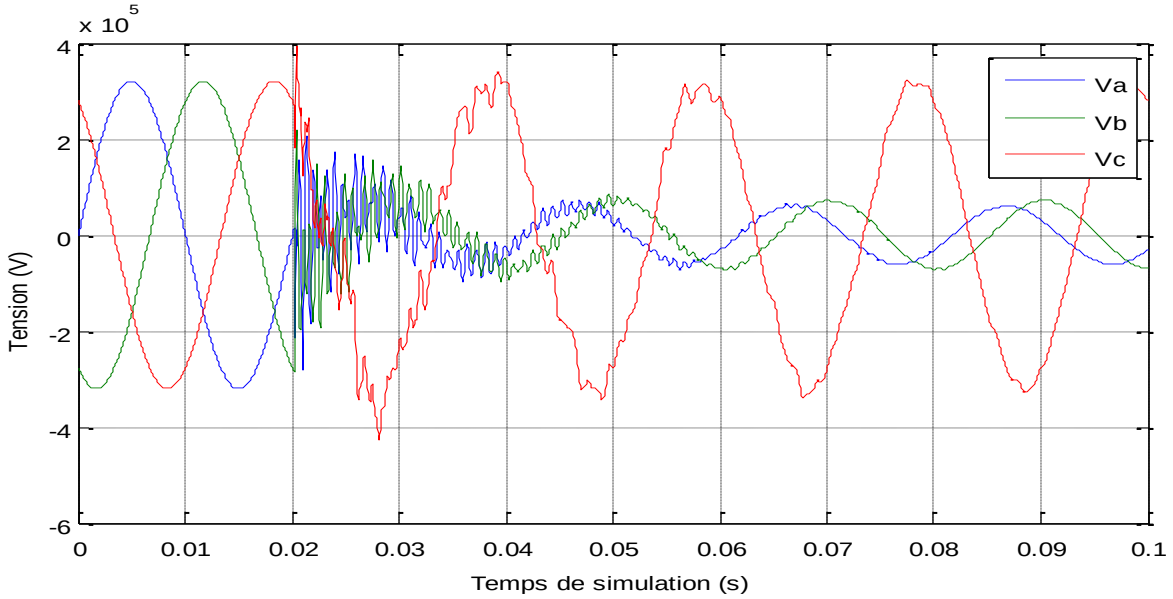


Figure (IV.4): Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc à la terre (a-b-t).

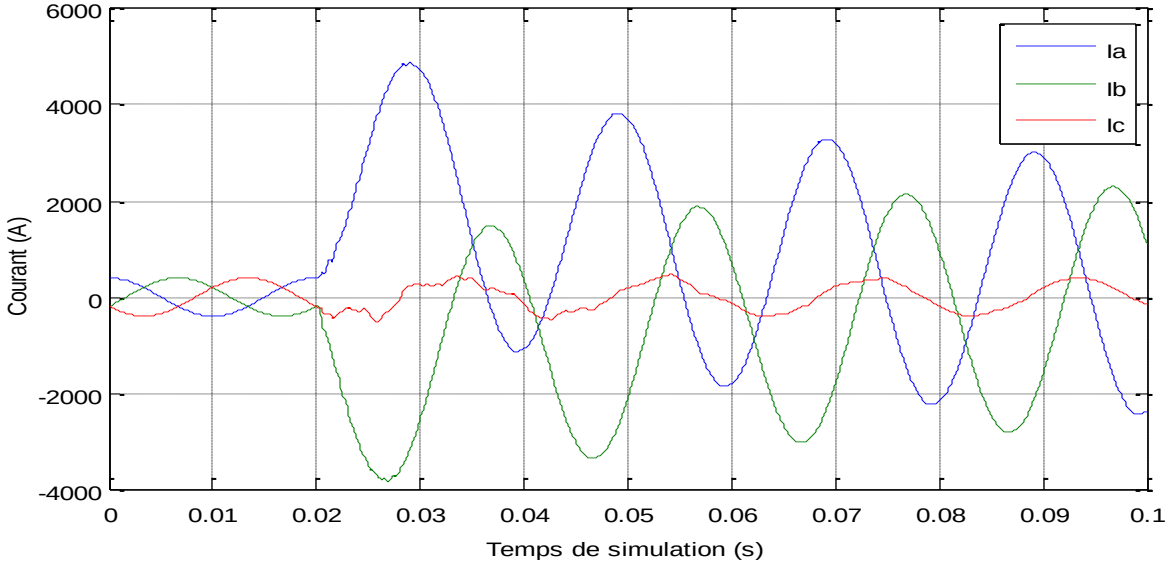


Figure (IV.5): Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc à la terre (a-b-t).

En cas de défaut biphasé à la terre (phase (a-b)-terre), on remarque une grande perturbation dans la tension des deux phases en défaut, tandis que des surtensions sont enregistrées dans la phase c en ce moment.

c-Défaut biphasé sans terre :

Les **figures (IV.6)** et (**IV.7**) représentent respectivement les signaux des tensions et courants des trois phases pour un défaut biphasé sans terre pour une résistance de défaut (R_f =0.001 Ω), à une distance x = 50 km à partir du jeu de barres.

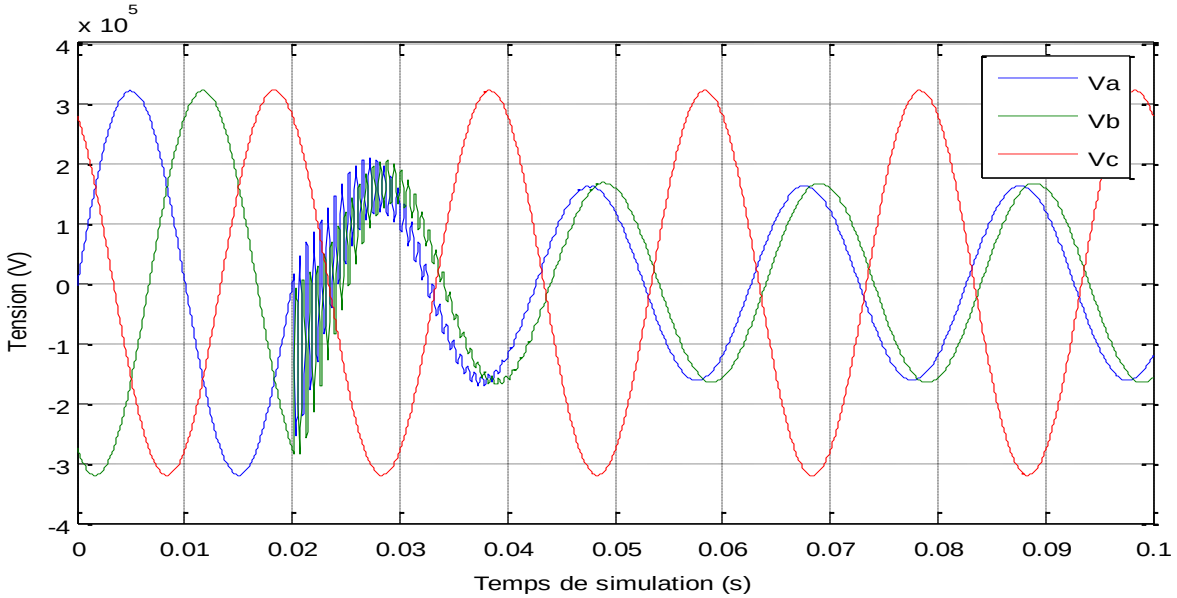


Figure (IV.6): Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc sans terre (a-b-t).

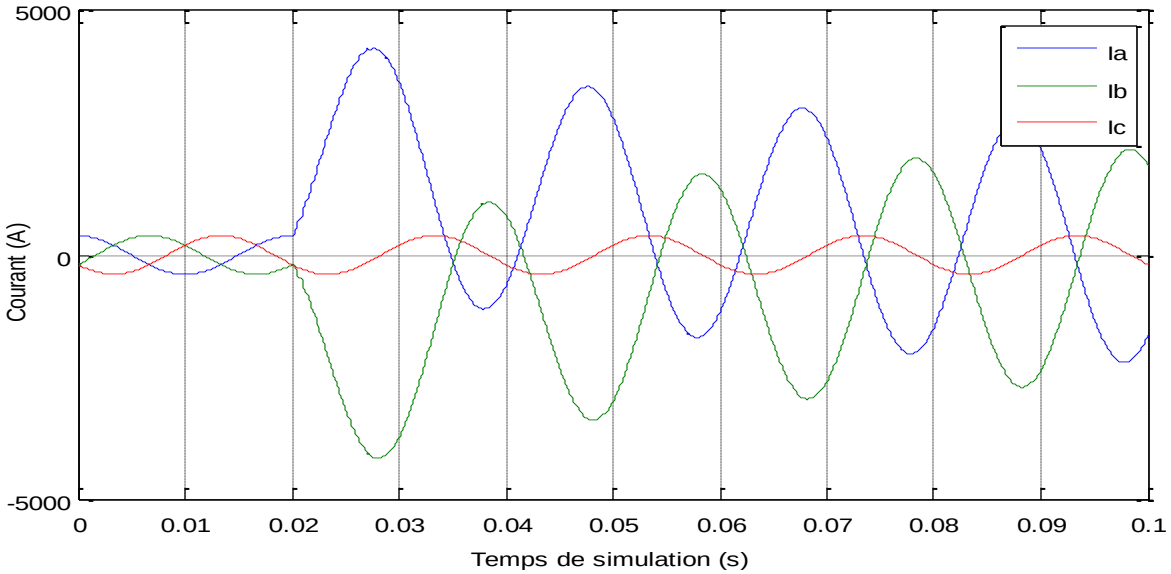


Figure (IV.7): Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut biphasé franc sans terre (a-b-t).

En cas de défaut biphasé franc sans terre, on remarque que la chute de tension et les perturbations dans les deux phases en défaut est moins intense par rapport au défaut biphasé à la terre.

d-Défaut triphasé :

Les **figures (IV.8)** et (**IV.9**) représentent respectivement les signaux des tensions et courants des trois phases pour un défaut biphasé sans terre pour une résistance de défaut (R_f =0.001 Ω), à une distance x = 50 km à partir du jeu de barres.

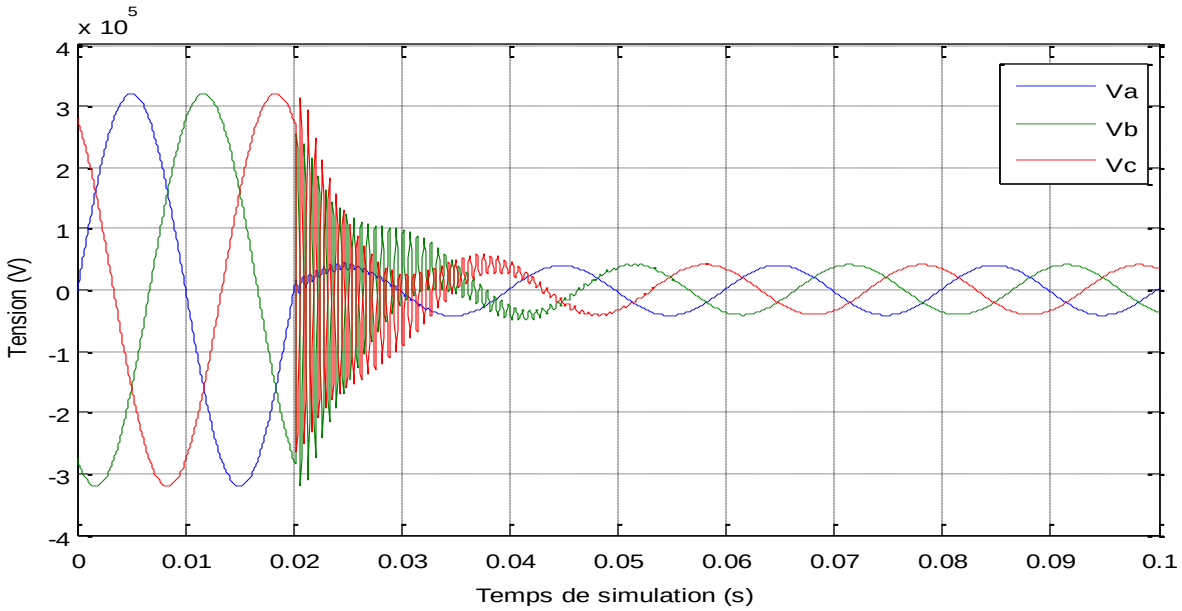


Figure (IV.8): Tensions des trois phases de la ligne en cas de défaut triphasé franc sans terre (a-b-c).

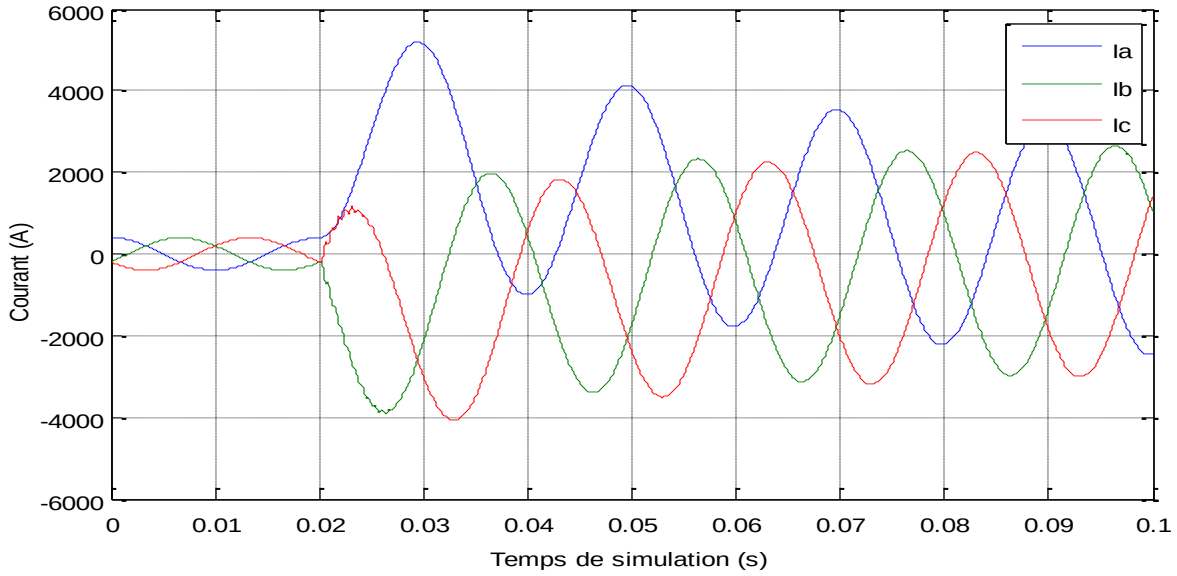


Figure (IV.9): Courants des trois phases de la ligne en cas de défaut triphasé franc sans terre (a-b-c).

Dans ce type de défaut des chute de tension est des perturbations sont enregistrées pour les trois phases.

IV.3)- Application des méthodes de localisation des défauts :

IV.3.1)-La première méthode «Les ondes mobiles » :

Cette méthode ne nécessite pas la résolution des équations aux dérivées partielles. Dans cette approche, la résistance r et la conductance g sont négligées puisqu'on considère la propagation d'ondes le long d'une ligne sans pertes. Une telle simplification est appropriée pour les longues lignes à haute tension.

En utilisant les ondes incidentes e_f et les ondes réfléchies e_r des ondes électromagnétiques, les expressions de la tension et de courant sont donnes par :

$$V(x, t)= e_f (x - vt) + e_r (x + vt) \quad \text{(IV.1)}$$

$$i(x, t)= \frac{1}{Zc} e_f (x - vt) + \frac{1}{Zc} e_r (x + vt) \quad \text{(IV.2)}$$

Où : $Z_c=\sqrt{L / C}$: est l'impédance caractéristique de la ligne,

$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ vitesse de propagation de l'onde [km / s]

Pour la localisation du défaut, seules les composantes transitoires des ondes sont utilisées. Les ondes mobiles apparaissent dans la ligne de transport après chaque changement brusque des tensions et courants. Lors de la survenance d'un défaut, la tension au point de défaut chute et produit deux ondes se propageant en arrière (vers la source) et en avant (vers le récepteur) à l'endroit du défaut avec la même vitesse.

Ces ondes en se propageant ne changent pas leurs formes jusqu'à ce qu'elles atteignent une discontinuité dans la ligne (les discontinuités sont dans les deux extrémités source et récepteur et à l'endroit du défaut).

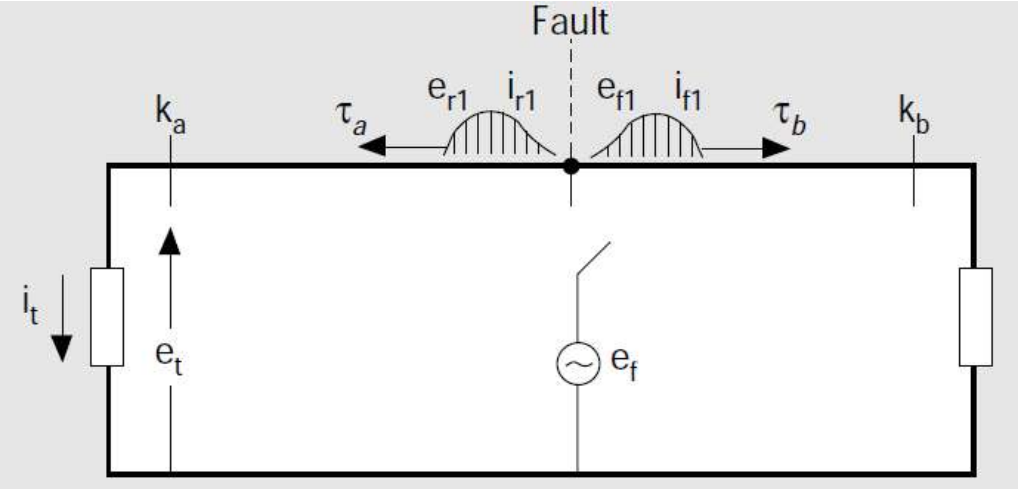


Figure (IV.10): Propagation de l'onde dans la ligne électrique en cas de défaut.

La distance de défaut peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$D = v \times \Delta t \quad \text{(IV.3)}$$

Ou:

D : distance de défaut [km]

V : vitesse de propagation de l'onde [km / s]

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{(IV.4)}$$

t_1: temps réel de défaut.

t_2: temps de l'apparition de défaut dans signal de la source.

L'erreur e (%) maximum qui est exprimée en pourcentage par la relation suivante :

$$E = \frac{|L_e - L_a|}{L} * 100 \quad (\%) \quad \text{(IV.5)}$$

L_e : La distance calculée du défaut.

L_a : La distance réelle du défaut.

L : La longueur totale de la ligne.

IV.3.1.1)-Simulation :

Tous les types de défaut possibles (monophasé, biphasé, triphasé avec et sans terre) et à chaque endroit (10%, 20%, 30%, 40%,…..90%) de la longueur totale L de la ligne avec différentes valeurs de la résistance de défaut $\mathbf{R_f}$ ont été testés en utilisant le logiciel Matlab pour découvrir l'erreur E maximum.

a- Exemple d'application:

Pour mieux comprendre comment on peut calculer la distance de défaut en utilisant la méthode des ondes mobile, il suffit de suivre les étapes de calcule présenté dans l'exemple suivant :

Nous prenons le cas d'un défaut monophasé (phase a-terre) qui survient dans la ligne électrique à une distance de 50 km et entre l'intervalle de temps [0.008, 0.009] avec un temps de simulation 0.01s. Après simulation nous obtenons l'allure de la tension de la phase en défaut (**Figure (IV.11))** qui sera utilisé pour le calcul de la distance de défaut.

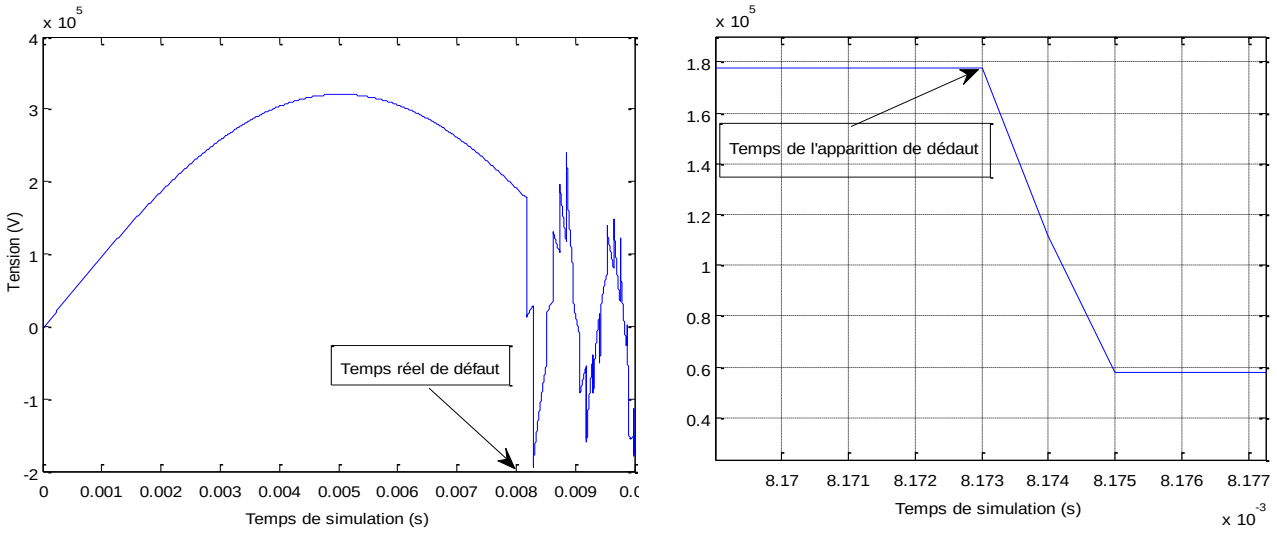


Figure (IV.11): La tension de la phase en défaut « phase a ».

D'après la figure IV.11, on remarque que le défaut est créé à 0.008s mais l'apparition de défaut dans le signal est à 0.0081725s, ce retard est due au temps de propagation de l'onde de l'endroit de défaut jusqu'à la source (l'endroit où se trouve le relais). Pour le calcul de la distance de défaut il suffit d'appliqué l'équation (IV.3).

La valeur de la vitesse est déterminée en utilisant l'équation ci-dessous :

$$v = \frac{1}{\sqrt{0.9337 \times 10^{-3} \times 12.74 \times 10^{-9}}}$$

$$v = 2.899 \times 10^{5} km/sec$$

Calcul du temps de propagation de l'onde :

$$\Delta t = 0.008173 - 0.008 = 0.000173 \text{ (s)}$$

Calcul de la distance de défaut :

$$\mathcal{D} = 2.899 \times 10^{5} \times 0.000173 = 50.15 \, \mathcal{K}m$$

$$e(\%) = \frac{|50 - 50.15|}{300} \times 100 = 0.05$$

b-Défaut monophasé (a-t) :

Le tableau (IV.1) représente les valeurs de la distance L_e mesurée (calculée) pour un défaut monophasé et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle L_a pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f..

Tableau (IV.1): Valeurs de la distance de défaut monophasé mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04
30	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05
50	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05
70	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05
100	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05
150	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06
200	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06
240	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06
290	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06

La **figure(IV.12)** représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t) en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

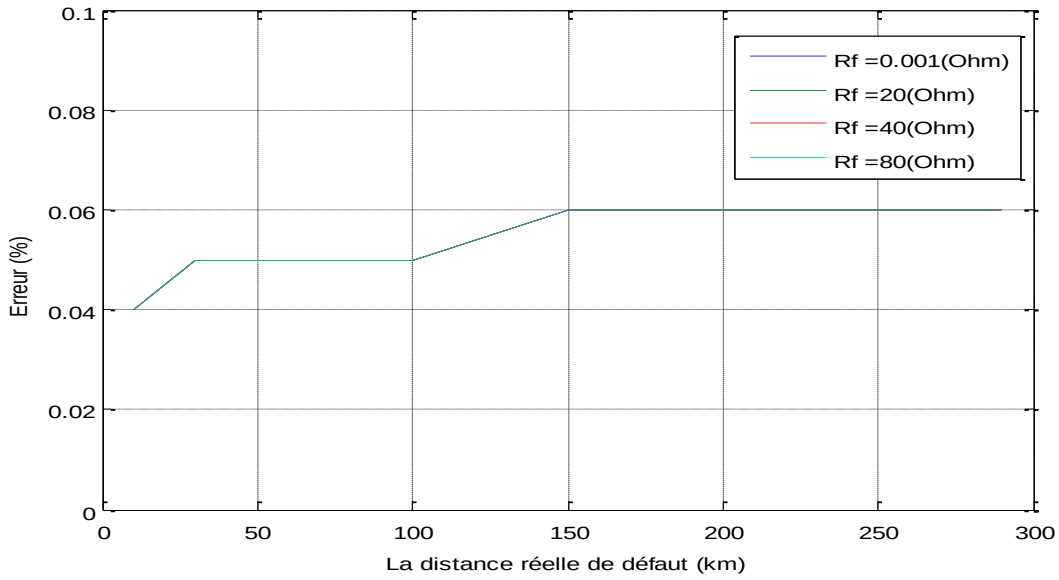


Figure (IV.12): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f.

c-Défaut biphasé à la terre (a-b-t) :

Le **tableau (IV.2)** représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut biphasé avec terre et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f.

Tableau (IV.2): Valeurs de la distance de défaut biphasé avec terre mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04
30	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05
50	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05
70	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05
100	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05
150	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06
200	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06
240	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06
290	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06

La **figure(IV.13**) représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé avec terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

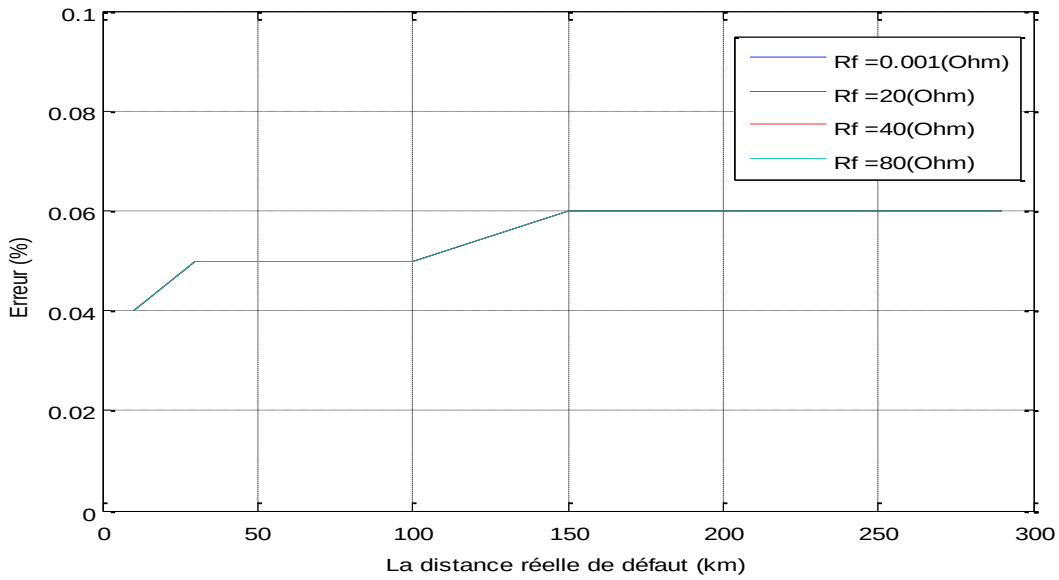


Figure (IV.13): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé avec terre (a-b-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f

d- Défaut biphasé sans terre (a-b):

Le tableau (IV.3) représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut biphasé sans terre et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f

Tableau (IV.3): Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04
30	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05
50	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05
70	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05
100	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05
150	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06
200	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06
240	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06
290	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06

La **figure(IV.14)** représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

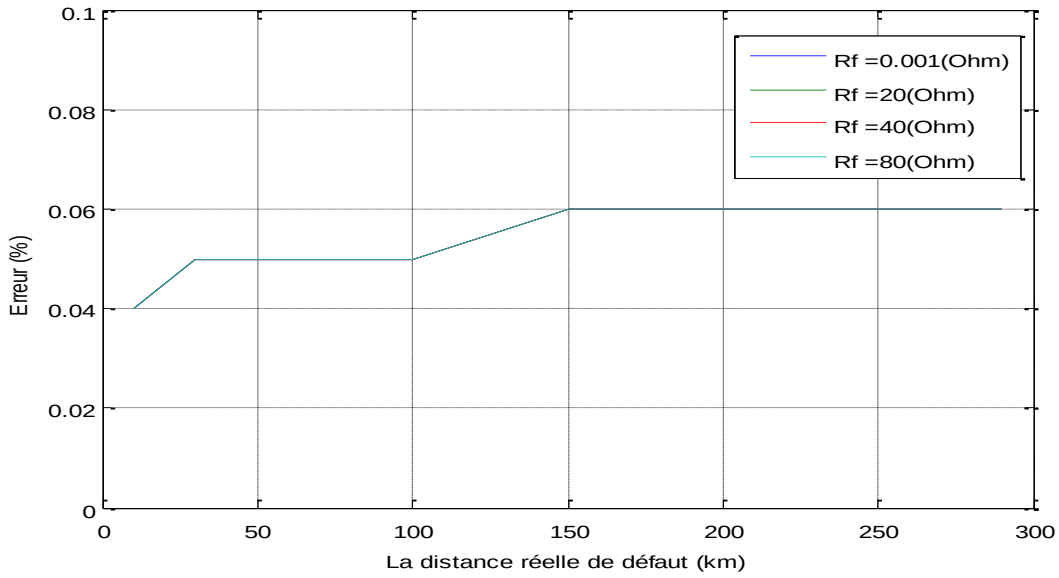


Figure (IV.14): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f

f-Défaut triphasé (a-b-c) :

Le tableau (IV.4) représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut triphasé et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f

Tableau (IV.4): Valeurs de la distance de défaut triphasé mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04	10.14	0.04
30	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05	30.15	0.05
50	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05	50.15	0.05
70	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05	70.15	0.05
100	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05	100.16	0.05
150	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06	150.17	0.06
200	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06	200.17	0.06
240	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06	240.18	0.06
290	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06	290.19	0.06

La **figure(IV.14)** représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

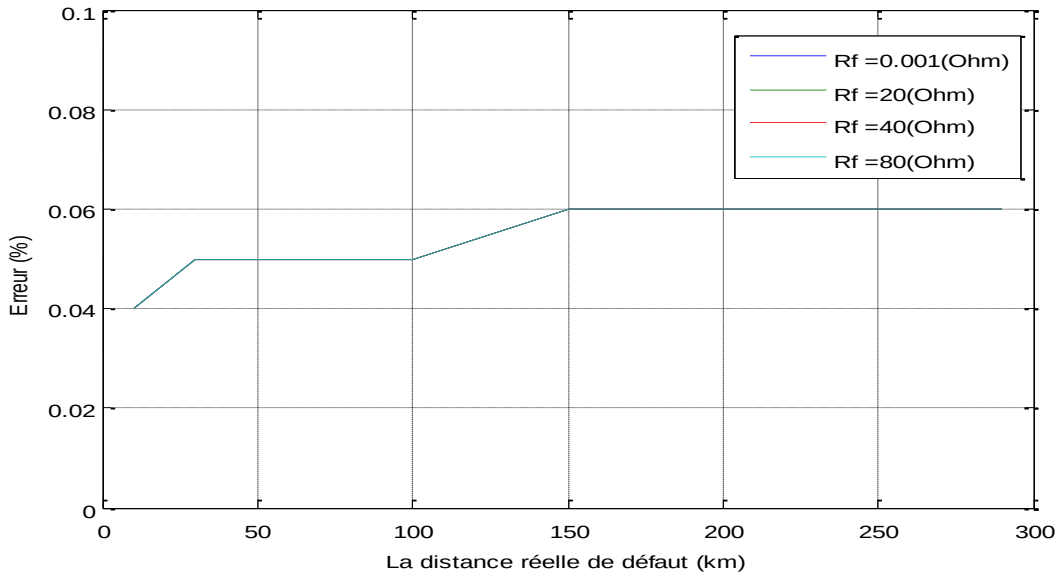


Figure (IV.15): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut triphasé (a-b-c), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f

g- **Synthèse des résultats :**

Par simple analyse des résultats obtenue on a remarqué que les résultats du calcul de la distance de défaut sont similaire pour tous les types de défaut et la valeur de l'erreur est très faible est ne dépasse pas (0.06 %). De plus la méthode des ondes mobiles est insensible à la résistance de défaut et elle ne nécessite pas une classification de défaut car pour la localisation de de défaut on utilisant la méthode des ondes mobiles on peut utiliser la tension de n'importe quelle phase même les phases saines

IV.3.2)-La deuxième méthode «ondelette » :

IV.3.2.1)-Description de la boite à outils ondelettes :

La boîte à outils ondelettes est une collection de fonction construite sous l'environnement MATLAB. Il fournit des outils d'analyse du signal et des images. Et des outils pour l'application statistique, à l'aide d'ondelettes et de paquets d'ondelettes dans le cadre de MATLAB.

La boîte à outils fournit deux catégories d'outils :

- fonction de commande en ligne
- Outil graphique

La fonction de commande en ligne est un outil qui se décompose en plusieurs familles de fonctions qui peut être appelé directement à partir de la fenêtre de commande MATLAB. La plupart de ces fonctions sont des M-Files. Ces fonctions sont utilisées pour effectuer l'analyse en ondelettes y compris la décomposition et la détermination des coefficients d'ondelettes.

Outil graphique est une collection d'interface graphique qui permet l'accès à des fonctionnalités étendues. Pour avoir accès à cet outil il suffit de taper le mot 'wavemenu' dans la fenêtre de commande MATLAB. La deuxième catégorie est choisie pour ce projet.

IV.3.2.1.1)-Prise en main de la boite à outils ondelettes :

a- La commande « wavemenu » :

La commande « **wavemenu** » ouvre l'interface graphique de prise en main de la boîte à outils. Cette interface sert à utiliser de façon visuelle les différentes fonctions proposées sur des signaux (1-D) ou des images (2-D) sans connaître les commandes Matlab nécessaires à la création d'un programme.

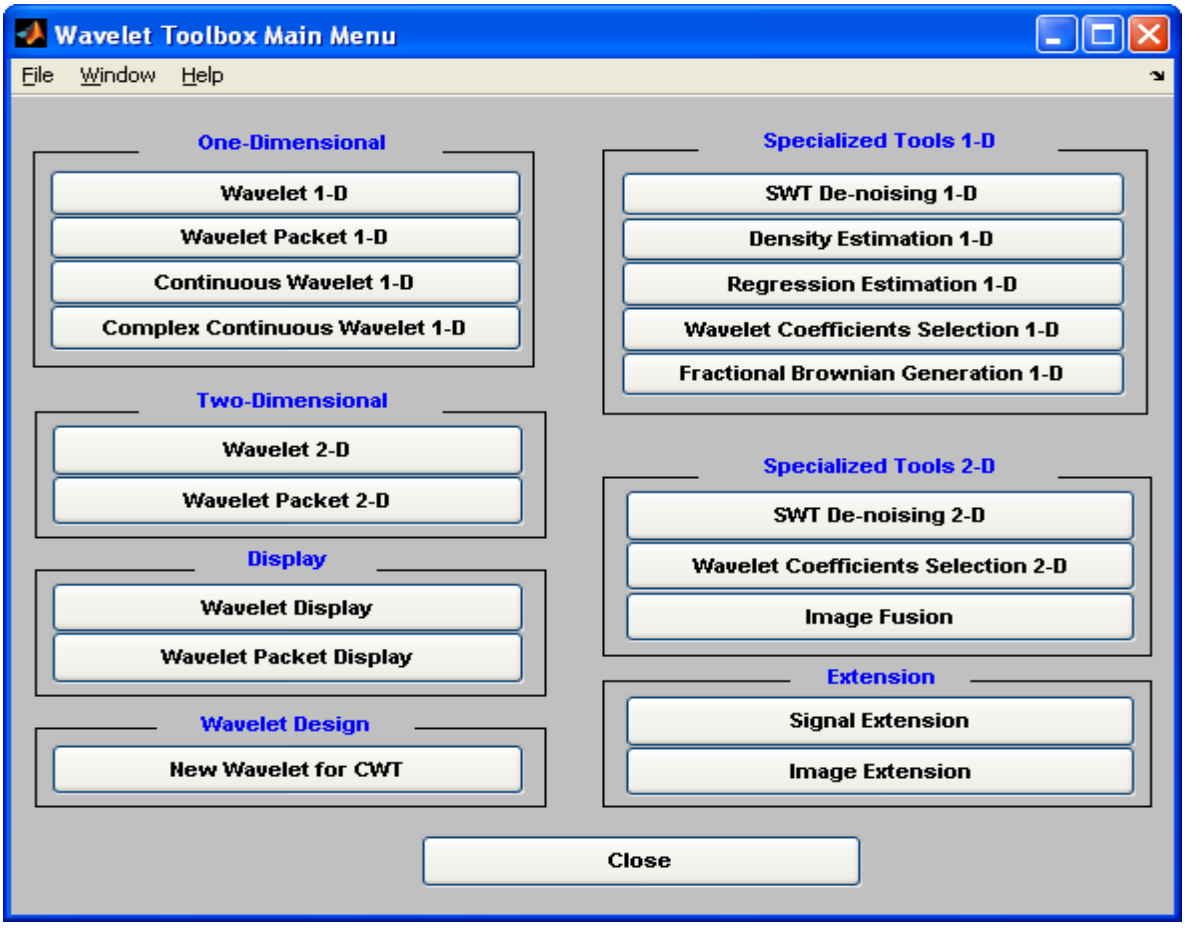


Figure (IV.16):L'interface graphique de la boite à outils ondelettes.

b- Ondelettes (1-D) :

Les fonctions 1-D concernent l'analyse multi résolution de signaux avec les ondelettes prédéfinies de la boîte à outils, l'analyse en paquet d'ondelettes, les ondelettes continues réelles et complexes.

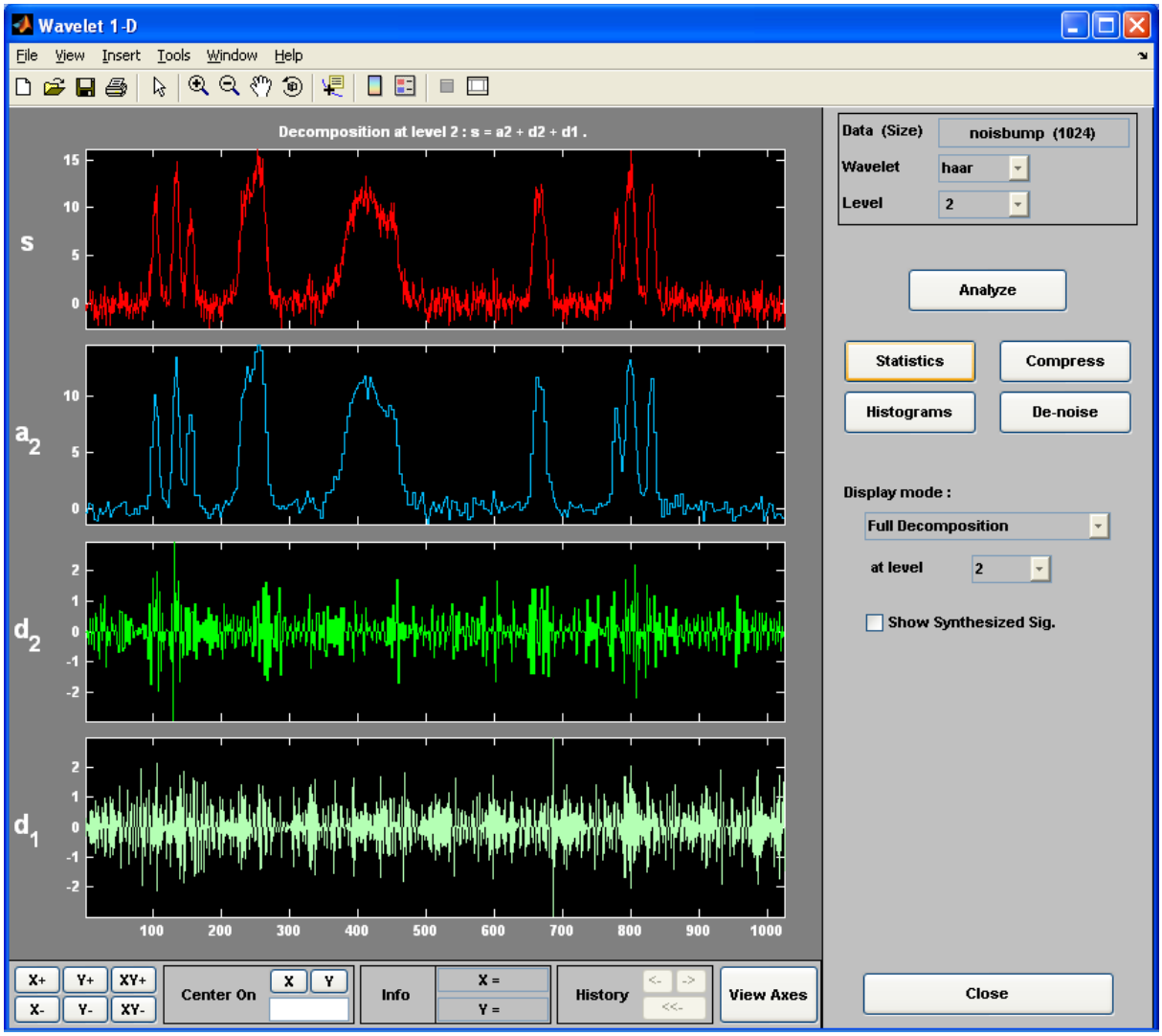


Figure (IV.17): analyse ondelettes (1-D).

IV.3.2.2)-Équation utilisée pour déterminer la distance de défaut :

La distance de défaut peut être calculée en utilisant la méthode des ondelettes à l'aide de l'équation suivante :

$$D = v \times \Delta X \times (\text{pas de simulation}) \qquad \text{(IV.6)}$$

Ou:

D : distance de défaut [km]

V : vitesse de propagation de l'onde [km / s]

$$\Delta X = X_2 - X_1 \qquad \text{(IV.7)}$$

X_1: l'abscisse du temps réelle de défaut.

X_2: l'abscisse de la première pointe.

IV.3.2.3)- Simulation :

Dans cette partie le circuit de simulation décrite auparavant **Figure (IV.1)** est utilisé pour générer les différents types de défauts qui existent dans les lignes électriques (défaut monophasé, biphasé et triphasé). En suite ces signaux de défaut sont importés dans l'interface graphique de la boite à outils ondelettes pour être analyser.

a- Exemple d'application:

Pour mieux comprendre comment on peut calculer la distance de défaut en utilisant la méthode de l'ondelette, il suffit d'appliquer cette méthode à l'exemple présenté précédemment (section IV.3.1.1) en suivant les étapes suivantes :

La tension de défaut qui été simulé à l'aide SIMULINK est ensuite décomposé en utilisant la transformée en ondelettes à la **Figure (IV.18).** Daubechies4 (db4) est utilisé comme ondelette mère basée sur l'étude de plusieurs chercheurs qui ont déclaré que, pour la détection ,la classification et la localisation des défauts db4 est l'ondelette mère la plus utilisé. Pour le niveau le quatre est choisi pour cette analyse, car il permettra d'éliminer le signal harmonique.

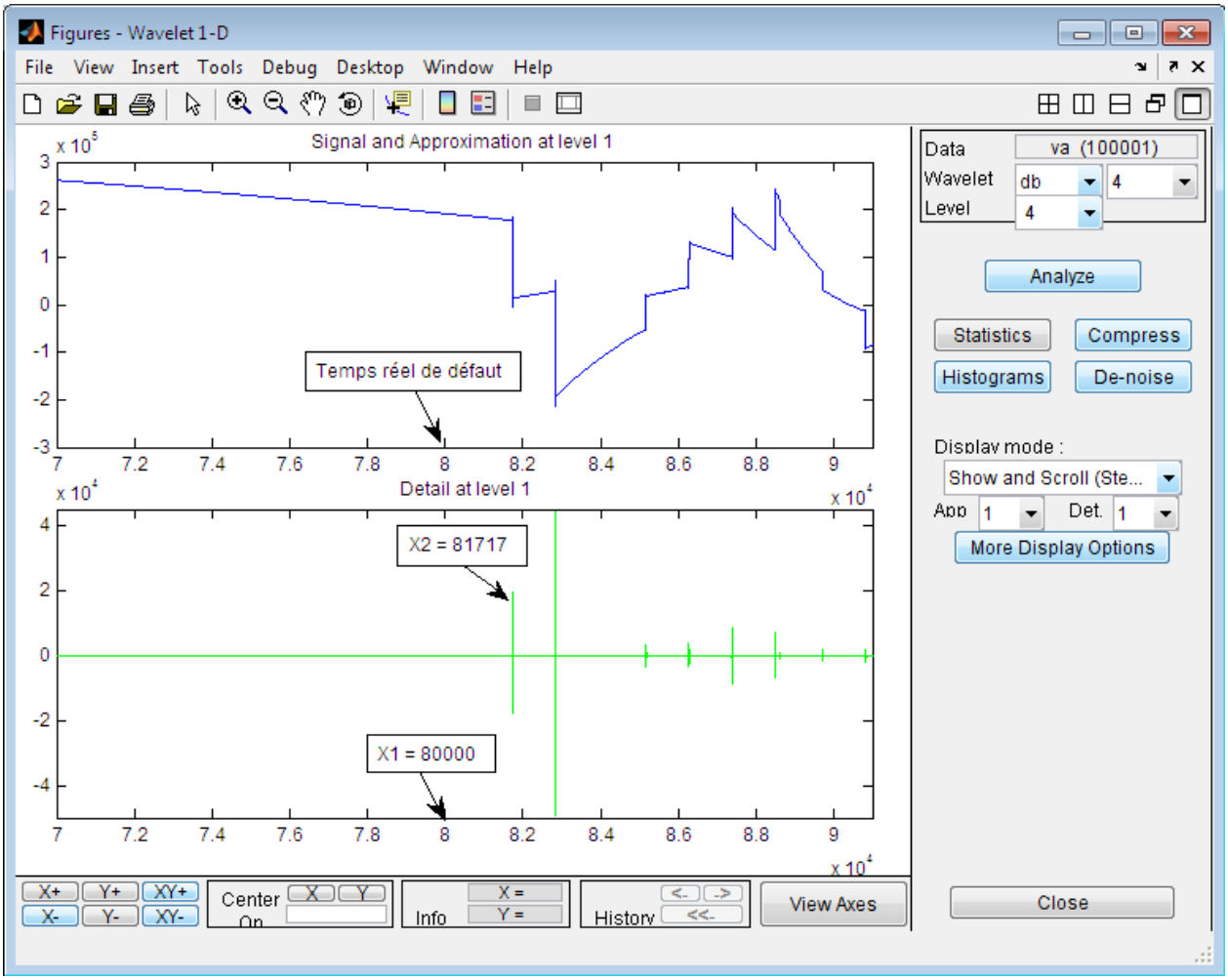


Figure (IV.18):analyse de défaut par ondeletteDaubechies4.

Pour le calcul de la distance de défaut il suffit d'appliqué l'équation (IV.6) :

$$\mathcal{D} = 2.899 \times 10^5 \times (81717 - 80000) \times 10^{-7} = 49.77\ \mathcal{K}m$$

$$e(\%) = \frac{|50 - 49.77|}{300} \times 100 = 0.07$$

b-Défaut monophasé (a-t) :

Le tableau (IV.5) représente les valeurs de la distance L_e mesurée (calculée) pour un défaut monophasé et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle L_a pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f..

Tableau (IV.5): Valeurs de la distance de défaut monophasé mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11
30	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02
50	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07
70	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16
100	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15
150	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12
200	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05
240	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19
290	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13

La **figure(IV.19)** représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t) en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

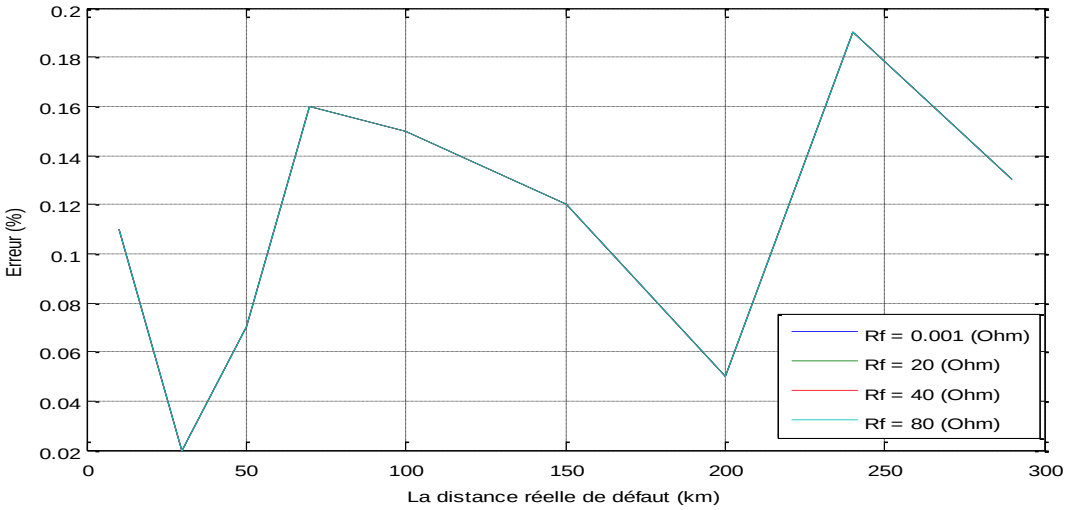


Figure (IV.19): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut monophasé (a-t), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f.

d- Défaut biphasé sans terre (a-b-t) :

Le tableau (IV.6) représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut biphasé sans terre et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f.

Tableau (IV.6): Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11
30	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02
50	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07
70	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16
100	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15
150	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12
200	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05
240	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19
290	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13

La **figure(IV.20)** représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé avec terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

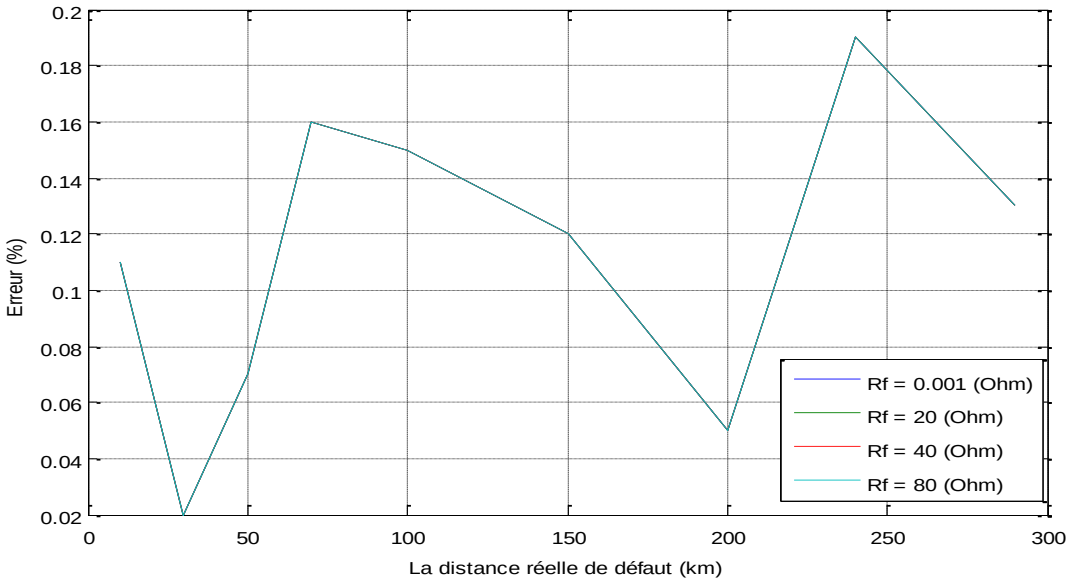


Figure (IV.20): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f.

d- Défaut biphasé sans terre (a-b):

Le tableau (IV.7) représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut biphasé sans terre et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f.

Le tableau (IV.7): Valeurs de la distance de défaut biphasé sans terre mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11
30	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02
50	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07
70	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16
100	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15
150	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12
200	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05
240	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19
290	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13

La figure(IV.21) représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

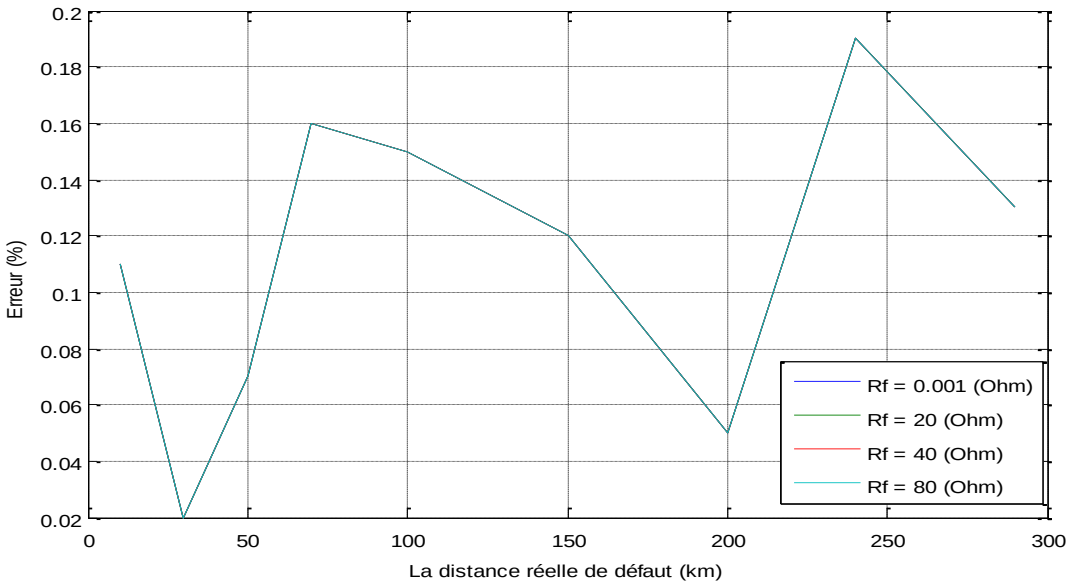


Figure (IV.21): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre (a-b), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f

f-Défaut triphasé (a-b-c) :

Le tableau (IV.8) représente les valeurs de la distance mesurée (calculée) pour un défaut triphasé et l'erreur E(%) en fonction de la distance du défaut réelle pour différentes valeurs de la résistance du défaut R_f.

Le tableau (IV.8): Valeurs de la distance de défaut triphasé mesuré (km) et l'erreur E(%) en fonction de la distance de défaut réelle.

	$R_f = 0\ \Omega$		$R_f = 20\ \Omega$		$R_f = 40\ \Omega$		$R_f = 80\ \Omega$	
L_a(km)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)	L_e(km)	E(%)
10	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11	10.34	0.11
30	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02	30.06	0.02
50	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07	49.77	0.07
70	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16	70.50	0.16
100	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15	99.55	0.15
150	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12	150.37	0.12
200	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05	200.15	0.05
240	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19	240.58	0.19
290	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13	290.39	0.13

La figure(IV.22) représente les erreurs de localisation e (%) pour un défaut biphasé sans terre en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différentes valeurs de la résistance de défaut R_f.

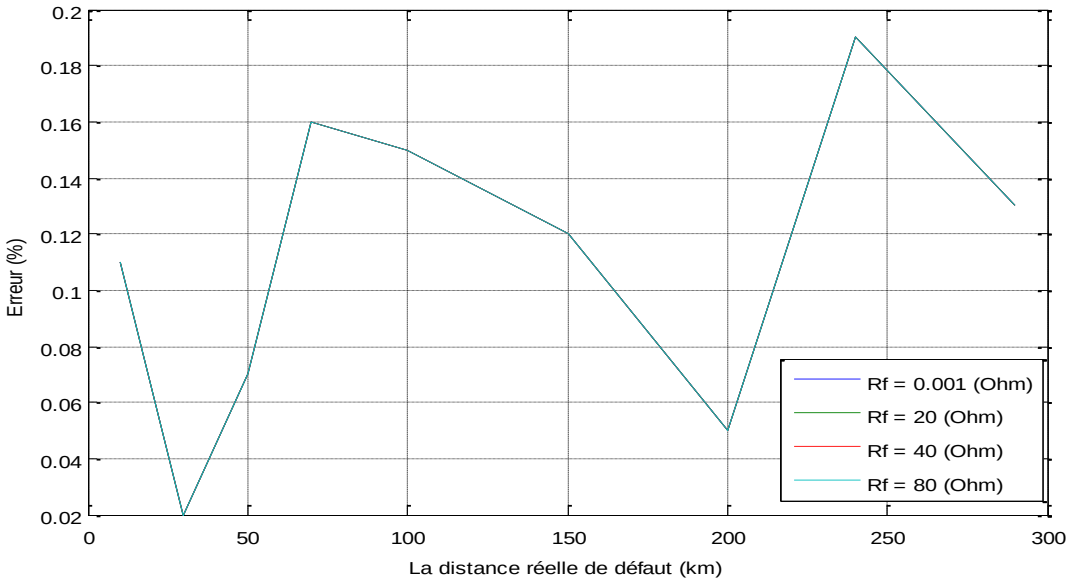


Figure (IV.22): Erreurs de localisation e (%) pour un défaut triphasé (a-b-c), en fonction de l'endroit réelle de défaut L_a (km) pour différents valeurs de la résistance de défaut R_f

g- **Synthèse des résultats :**

Les mêmes remarque son constaté pour la méthode des ondelettes que la méthode précédente sauf pour l'erreur dans la localisation de défaut qui est plus élevé que la méthode des ondes mobile mais il reste très faible est ne dépasse pas (0.16 %).

IV.3)-Conclusion :

Ce chapitre comprend deux parties, la première partie à était consacré à la présentation d'une approche de localisation de défaut basée sur la méthode des ondes mobile en utilisant les données d'une seule extrémité de la ligne. Cette méthode présente des nombreux avantages parce qu'on n'a pas besoin du choix du type de défaut et elle est insensible à la résistance de défaut. Les résultats d'essai confirment la validité et l'efficacité de l'approche proposée.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté la méthode des ondelettes. Cette dernière est très simple à appliquer. De plus, elle est insensible à la résistance de défaut. Les tests appliqués révèlent des très bons résultats même si nous avons enregistré quelques erreurs.

Conclusion Générale

Les lignes de transport d'énergie électrique constituent une partie essentielle d'un réseau électrique qui doit assurer la continuité de l'alimentation en électricité aux consommateurs. Ce qui n'est pas toujours le cas, car ces lignes de transport sont souvent exposés à des incidents ou défauts qui peuvent interrompre ce service et engendrer des pertes financières importantes pour les industriels et des désagréments pour les simples consommateurs. La majorité des défauts sont dus à des courts-circuits causés souvent par la foudre, la pluie ou les surtensions créer par l'ouverture et la fermeture des disjoncteurs. Ces courts-circuits pouvant être permanents, il est ainsi nécessaire de les détecter et localiser avec précision pour réparer et restaurer l'alimentation dès que possible. À cette fin, deux méthodes ont été développés dans cette étude pour obtenir une meilleure évaluation de la distance de défaut selon les données extraites d'une seule extrémité de la ligne. Ce travail a été développé suivant deux étapes séquentielles.

Dans la première partie une présentation des généralités sur les défauts électriques, ces origines, leurs types, ces effets et ces conséquences avec un bref aperçu sur les principes méthodes utilisé dans l'analyse des défauts dans les réseaux électrique, suivi d'une étude théorique sur les déférents types de la transformé d'ondelettes qui existent et leur principe de fonctionnement.

Dans la Deuxième partie deux méthodes qui utilisent les données d'une seule extrémité de la ligne ont été proposés. La première méthode est basée sur l'utilisation de la méthode des ondes mobile .Cette dernière présente des nombreux avantages parce qu'on n'a pas besoin du choix du type de défaut et elle est insensible à la résistance de défaut. Les résultats d'essai confirment la validité et l'efficacité de cette méthode. La deuxième méthode est basée sur la transformé d'ondelettes. Cette méthode est très simple appliquer. De plus, elle est insensible à la résistance de défaut. Les tests appliqués révèlent des très bons résultats même si nous avons enregistré quelques erreurs.

Liste des Abréviations

HT, HTA ou HTB *: Haute Tension.*

BT, BTA ou BTB *: Basse Tension.*

TBT *: Très Basse Tension.*

I_N *: Courant Nominal.*

U_N *: Tension Composée Nominale.*

kV *: Kilo Volt.*

JB *: Jeu de Barre.*

TR. *: Transformateur.*

C.E.I *: Commission Electrotechnique Internationale.*

I_A *: Courant Phase A.*

I_B *: Courant Phase B.*

I_C *: Courant Phase C.*

I_{CC} *: Courant de Court-Circuit.*

I_{CC_min} *: Courant de Court-Circuit Maximum.*

I_{CC_max} *: Courant de Court-Circuit Minimum.*

I_S *: Seuil de Fonctionnement.*

T *: Retard de Fonctionnement (Temporisation).*

V_A *: Tension Simple Phase A.*

V_B *: Tension Simple Phase B.*

V_C *: Tension Simple Phase C.*

U_{CC} *: Tension de Court-Circuit.*

Z_{Source} *: Impédance de la Source.*

Z_{Ligne} *: Impédance de la ligne.*

Z_{Charge} *: Impédance de Charge.*

Z_{CC} *: Impédance de Court-Circuit.*

$R_{Défaut}$ *: Résistance de Défaut.*

f_{max} *: La fréquence maximum.*

f *: La fréquence.*

TF *: transformée de Fourier.*

STFT *: Transformée de Fourier Fenêtré glissante.*

WT *: Transformée en ondelettes.*

CWT *: Transformée en ondelettes continue.*

DWT *: Transformée en ondelettes discrète.*

Références Bibliographiques

[1] Cong Duc PHAM**, « Détection et localisation de défauts dans les réseaux de distribution HTA en présence de génération d'énergie dispersée»**, Doctorat 19 septembre 2005.

[2] Karim GUENIFI et Raouf DIREM**,** « **Détection, Classification et localisation des défauts dans les réseaux par les techniques intelligents** », projet fin d'étude 2006, ENP Alger.

[3] A.S.AlFulaid, M.A.El-Sayed**,** «**A Recursive Least-Saquares Digital Distance Relaying Algorithm**», IEEE, Electrical and Computer Engineering Department, Kuwait University, 1998.

[4] Yassine DAAOU, «**Classification et localisation des défauts dans les lignes de transport à THT en temps réel** », Magister 2011 Usto Oran (http://dspace.univ-usto.dz/bitstream/123456789/73/1/magister.pdf).

[5] A. HAMMOUD, **« Etude des convertisseurs haute tension pour la protection et la coordination de réseau de distribution », Thèse** pour le grade de Docteur en Génie Electrique, INSA de Lyon, 2010.

[6] SONELGAZ Prévention et Sécurité, **« Prévention du Risque Electrique »**, Carnet de Prescriptions au Personnel du Groupe SONELGAZ, Edition 2001.

[7] Schneider Electric,**« Protections des Réseaux Electriques »**, Guide de la Protection, 2008.

[8] **Document internet**, https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00164643/document

[9] Ibrahim FARHAT**, « Fault Detection, Classification and Location in Transmission Line Systems Using Neural Networks»,** Ph.D. Dissertation mars 2003, Concordia University Montreal, Quebec, Canada.

[10] M. LAMI, **« Protection et Surveillance des Réseaux de Transport d'Énergie Électrique »**, Volume 2, Electricité de France (EDF), février 2003.

[11] C. PRÉVÉ, **« Protection des Réseaux Electriques »**, Edition HERMES, Paris 1998.

[12] C. RUSSELL MASON, **« The Art and Science of Protective Relaying »**, 1956 - New York.

[13] C.CLAUDE & D. PIERRE, **« Protection des Réseaux de Transport et de Répartition »**, Direction de la Production et du Transport d'Electricité (EDF), octobre 2005.

[14] Karim GUENIFI et Raouf DIREM**,** « **Détection, Classification et localisation des défauts dans les réseaux par les techniques intelligents** », projet fin d'étude 2006, ENP Alger.

[15] Mohamed BENDADA, «**Implantation d'algorithme de filtrage FPGA (réseau de portes programmables numérique sur FPGA (réseau de portes programmables)**», Université Ferhat Abbas de Sétif Algérie - Master électronique 2010.

[16] A.S.AlFulaid, M.A.El-Sayed**, « A Recursive Least-Saquares Digital Distance Relaying Algorithm** » IEEE, Electrical and Computer Engineering Department, Kuwait University, 1998.

[17] M.Kezunovic, B.Perunicic, «**Automated transmission line fault analysis using synchronized sampling at two ends**» IEEE, Texas A&M University, pp.407-413, 1995.

[18] M.AICHAOUN, N.BOUZERGUI, « **Localisation des défauts sur les lignes aériennes dans la protection numérique** », mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, U.S.T.H.B, Octobre 2003.

[19] J.G.Webster**, « Fault location Wiely Encyclopédie of Electrical and Electronics Engineering**», copyright by John Wiley and Sons, Inc pp.276-285, 1999.

[20] J.F.Haurer**, «C.J.Demeure, L.L.Scharf, Initial résultats in prony analysis of power system response**», IEEE transactions on power systems, Vol.5, No.1, February 1990.

[21] M.ADJRAD, «**Application du filtrage de Kalman étendu à l'identification d'un chirp**», mémoire de magister, ENP, 1999.

[22] M.Saied, A.S.AL-Fuhaid, «**A computer relaying algorithme for direct détermination of the fault distance**», Computer and Elect Engng, Vol. 14, No.3/4, pp.93-104, 1988 .

[23] G.B.Ancell and N.C.Pahalawatha, «**Maximum likelihood estimation of fault location on transmission lines using travelling waves**», IEEE Trans. Power Deliv, pp.9-680, 1994.

[24] **Documents internet**, théorie de la transformé en ondelettes (ftp://ftp-developpez.com/smilesoft/wt.pdf).

[25]= Brahim MERIANE« **Analyse du signal de parole par les ondelettes** » Magister 2009 Univ Batna.

[26] Nadjem BAILEK« **Résolution de l'équation de Schrödinger sur une base d'ondelettes – Cas des systèmes unidimensionnels** » Magister 2012 Univ de Tlemcen.