

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCE & TECHNOLOGIE  
Filière : GENIE ELECTRIQUE  
Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Thème

***DETECTION ET CLASSIFICATION DES DEFAUTS  
DE COURTS-CIRCUITS DANS UNE LIGNE THT PAR  
LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS***

Présenté Par :

- 1) BENREZZAK BARIZA
- 2) MEHIMDA FEYROUZ

Devant les jurys composés de :

M <sup>R</sup> . Aissou Massinissa	M.C.A	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
M <sup>R</sup> . Berrached Djelloul	M.C.B	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
M <sup>me</sup> Touhami Aicha	M.A.A	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
M <sup>me</sup> Bendimerad Manssouria	M.C.B	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Con-Encadrant

*Année universitaire 2017/2018*

## *Remerciements*

En préambule à ce projet de fin d'étude nous remercions « DIEU » qui nous aide et nous donne la volonté, le courage et la patience durant ces longues années d'étude.

C'est avec gratitude et respect que nous tenons à exprimer le profond remerciement à tous nos enseignants du Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent et notamment à notre encadrante de projet de fin d'étude « **Mm. TOUHAMI AICHA** » et Co-encadrante « **Mm.Bendimerad** » d'avoir contribué à notre formation et d'avoir fait preuve de bonne vaillance et de haute assistance. Nous adressons nos vifs remerciements au monsieur le président du jury **Dr AISSOU** ainsi à l'examineur **Dr BERRACHED** qui ont accepté de juger et d'examiner ce travail.

Enfin, un remerciement éternel à nos parents, nos frères, nos sœurs ainsi qu'à toute notre famille et tous nos amis et nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin.

# *Dédicaces*

Tous d'abord je remercie le bon dieu le plus Puissant qui ma donner la force et le courage Pour élaborer ce travail.

Je dédise ce modeste travail :

- *À* mon premier encadrent, de puis ma naissance ; mon cher père **SAID**, Pour votre soutien, votre patience, votre sacrifice et votre amour, vous méritez tout éloge, vous qui avez fait de moi se que je suis aujourd'hui. J'espère être l'image que vous avez faite de moi, que Dieu vous garde et vous bénisse.
- *À* ma mère **RAHMOUNA**, la lumière qui me guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, c'est grâce à elle que je dois toute ma réussite.
- Je dédis aussi ce travail, mes chers frères **HAMADA, MOURAD, FETHI, HAKIM**, et mes chers sœurs **AMEL, FARIDA, HAFEDA**, et à les femmes de mes frères **CHAHRAZED, FATIMA, DJAMILA**, et les fils de mes frères et sœurs, ainsi à toute ma famille pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours été pour moi des plus précieux. Que ce travail soit pour vous le gage de mon profond amour.
- *À* toute la grande famille **MEHIMDA**
- *À* mon encadrante **Mm TOUHAMI** et Co-encadrante **Mm BENDIMERAD**
- *À* mon binôme avec qui j'ai partagé la joie et les difficultés relatives au suivi de la formation pour sa motivation et ses judicieuses propositions **BENREZZAK BARIZA**.
- *À* tous mes amis qui m'ont soutenue et encourager et à tous ce qui m'aime et que je l'aime: **MOUNA, HANANE, ZAHIA, SARAH**.

**MEHIMDA FEYROUZ**

# *Dédicaces*

Tous d'abord je remercie le bon dieu le plus Puissant qui ma donner la force et le courage Pour élaborer ce travail.

Je dédise ce modeste travail :

- **A** mon premier encadrent, de puis ma naissance ; mon cher père **KOUIDER**, Pour votre soutien, votre patience, votre sacrifice et votre amour, vous méritez tout éloge, vous qui avez fait de moi se que je suis aujourd'hui. J'espère être l'image que vous avez faite de moi, que Dieu vous garde et vous bénisse.
- **A** ma mère **KARIMA**, la lumière qui me guide mes routes et qui m'emmène aux chemins de la réussite, c'est grâce à elle que je dois toute ma réussite.
- Je dédis aussi ce travail à toute ma famille, mes chers sœurs **ZOHRA, FATIMA, FARAH, AMINA**, et ma tante **FTIHA** pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours été pour moi des plus précieux. Que ce travail soit pour vous le gage de mon profond amour.
- **A** toute la grande famille **BENREZZAK**
- **A** mon encadrante **Mm TOUHAMI** et Co-encadrante **Mm BENDIMERAD**
- **A** mon binôme avec qui j'ai partagé la joie et les difficultés relatives au suivi de la formation pour sa motivation et ses judicieuses propositions **MEHIMDA FEYROUZ**.
- **A** tous mes amis qui m'ont soutenue et encourager et à tous ce qui m'aime et que je l'aime: **KHADRA, MOUNA, HANANE, ZAHIA, SARAH, NARIMENE, ROMAISSA**.

***BENREZZAK BARIZA***

# Sommaire

<i>Introduction Générale</i> .....	1
------------------------------------	---

## ***Chapitre I : Généralités sur les défauts dans les lignes de transport d'énergie électrique***

I.1. Introduction.....	3
I.2. La structure et exploitation des réseaux d'énergies électrique.....	3
I.3. Différents types de réseaux électriques.....	4
I.3.1. Les réseaux de transport et d'interconnexion.....	4
I.3.2. Les réseaux de répartition à haute tension (HTB).....	4
I.3.3. les réseaux de distribution.....	4
I.4 - Les défauts dans les lignes de transport.....	5
I.4.1 – Origines des défauts (court-circuit).....	5
I.4.1.1 – Caractéristiques des courts-circuits.....	6
I.4.2 – Les types des défauts.....	6
I.4.3 – Les natures des défauts (court-circuit).....	7
I.5 – Les conséquences des défauts sur la ligne.....	7
I.5.1. Le bon fonctionnement des réseaux.....	7
I.5.2. La tenue diélectrique des matériels.....	7
I.5.3. La qualité de la tension.....	8
I.5.4. Les circuits de télécommunication.....	8
I.5.5. La sécurité des personnes.....	8
I.6. Le système de protection.....	8
I.6.1. Chaîne générale d'un système de protection.....	9
I.6.2. Elément constitutifs d'un système de protection.....	9
I.6.2.1. Réducteur de mesure.....	9
I.6.2.1.1. Transformateur de courant.....	10
I.6.2.1.2. Transformateur de Tension.....	11
I.6.2.1.3. Fusible.....	12
I.6.2.1.4. Disjoncteur.....	12
I.6.2.1.5. les relais.....	13
I.7. Détection des défauts.....	13
I.8. Elimination des défauts.....	14
I.9. Qualités principales d'un système de protection.....	14
I.9.1. Rapidité.....	14
I.9.2. Sélectivité.....	14
I.9.3. Sensibilité.....	15
I.9.4. Fiabilité.....	15
I.10. Contraintes liées à la protection.....	16
I.11. Conclusion.....	16

## ***Chapitre II : Relais Numérique***

II.1. Introduction.....	17
II.2. Les relais de protection.....	17
II.3. Les types des relais.....	17
II.3.1. Relais électromécanique.....	17
II.3.2. Relais statique (à semi-conducteur).....	18
II.3.3. Relais numériques.....	19
II.4. Principe de fonctionnement d'un relais numérique.....	20
II.5. Schéma bloc d'un relais numérique.....	20
II.5.1. L'échantillonnage.....	21
II.5.2. Multiplexage.....	21
II.5.3. Conversion analogique/numérique.....	22
II.5.4. Microprocesseur.....	23
II.6. Propriétés des relais numériques.....	23
II.7. Avantage des relais numériques.....	24
II.8. Exemples des relais numériques.....	25
II.9. Problème liée par les protections numériques.....	25
II.9.1. fiabilité du logiciel.....	25
II.9.2. Dialogue homme machine.....	26
II.10. Conclusion.....	26

## ***Chapitre III : Les réseaux de neurones artificiels***

III.1. Introduction.....	27
III.2. Historique des réseaux de Neurone (RNA).....	27
III.3. Définition de RNA.....	28
III.3.1.Neurone biologique.....	28
III.3.2. Neurone Formel ou Artificiel.....	28
II.4. Fonction D'activation.....	29
III.5. Les type de réseau de neurone.....	31
III.5.1Réseau de neurone non bouclé.....	31
III.5.2. Réseau de neurone bouclé (ou récurrent).....	32
III.6. Apprentissage d'un réseau de neurone.....	32
III.6.1.Type d'apprentissage.....	33
III.6.1.1. Apprentissage Supervisé.....	33
III.6.1.1.1. L'algorithme D'apprentissage.....	33
III.6.1.1.1.1. L'algorithme de rétro-propagation.....	33
III.6.1.2. Apprentissage non Supervisé.....	34
III.6.1.3. Apprentissage par renforcement.....	34
III.7. Les avantages et les inconvénients de RNA.....	34
III.7.1. Les avantage.....	34
III.7.2. Les inconvénients.....	34
III.8. Application.....	34
III.9. Conclusion.....	35

## ***Chapitre IV : Simulation « Simulink-Matlab »***

IV.1. Etude de réseau électrique de Très Haute Tension (THT).....	36
IV.2. Paramètre de réseau électrique.....	36
IV.3. Résultats de simulation.....	37
IV.3.1. Défaut monophasé.....	37
IV.3.2. Défaut biphasé.....	38
IV.3.3. Défaut triphasé.....	39
IV.4. Discussion des résultats de simulations.....	40
IV.4.1. Défaut monophasé.....	41
IV.4.2. Défaut biphasé à la terre.....	41
IV.4.3. Défaut biphasé sans terre.....	41
IV.4.4. Défaut triphasé.....	41

## ***Chapitre V : Détection et classification des défauts par les réseaux de neurones***

IV.1. Introduction.....	42
V.2. Réseau électrique considère.....	42
V.3. Simulations.....	42
V.4. détection de défaut.....	42
V.4.1. Entrées et Sorties des RNAs.....	43
V.5. base d'apprentissage.....	43
V.6. Apprentissage de défaut.....	43
V.7. Présentation des résultats de la détection de défaut.....	44
V.8. la classification de défaut.....	51
V.8.1. les entrées et les sorties des RNAs.....	51
V.8.2. Présentation des résultats de la classification.....	51
V.10. Conclusion.....	53
<b><i>Conclusion Générale</i></b> .....	54

### ***Résumé***

### ***Bibliographie***

# ***TABLE DES FIGURES***

## **CHAPITRE I**

Fig I.1 Le réseau électrique.....	5
Fig I.2 Différent type de court –circuit.....	6
Fig I.3 Chaîne principale de la protection électrique.....	9
Fig I.4 Transformateur de courant.....	10
Fig I.5 Transformateur de tension.....	11
FigI.6 Type des relais.....	13

## **CHAPITRE II**

Fig II.1 Eléments de base d'un relais numérique.....	21
FigII.2 Conversion analogique/numérique.....	22
FigII.3 Schéma bloc de Microprocesseur.....	23
Fig II.5 Le relais SIPROTEC 7SA63 de SIEMENS et Optimho.....	25
FigII.6 Relais EPAC modelAlstom.....	25

## **CHAPITRE III**

FigIII 1 Un neurone avec son arborisation dendritique.....	28
FigIII.2 La composition d'un neurone artificiel.....	29
FigIII.3 Sigmoïde tangente hyperbolique.....	30
FigIII.4 Sigmoïde logsig.....	30
FigIII.5 Fonction linéaire.....	30
FigIII.6 Structure d'un réseau de neurones non bouclé.....	32
Fig III.7 Réseau neurone bouclé (récurrent).....	32

## **Chapitre IV**

Fig IV.1 Réseau simulé sur « Matlab-Simulink ».....	36
Fig IV.2 Signaux des tensions pour un défaut monophasé (phase A à la terre).....	37
FigIV.3 Signaux des courants pour un défaut monophasé (phase A à la terre).....	37
FigIV.4 Signaux des tensions pour un défaut biphasé (phase A-B à la terre).....	38
FigIV.5 Signaux des courants pour un défaut biphasé (phase A-B à la terre).....	38
FigIV.6 Signaux des tensions pour un défaut biphasé (phase A-B sans terre).....	39
FigIV.7 Signaux des courants pour un défaut biphasé (phase A-B sans terre).....	39
FigIV.8 Signaux des tensions pour un défaut triphasé (phase A-B-C à la terre).....	40
FigIV.9 Signaux des courants pour un défaut triphasé (phase A-B-C à la terre).....	40

## Chapitre V

Fig V.1 Réseau électrique considéré.....	42
Fig V.2 Structure du détecteur à 06 entrées.....	46
Fig V.3 Performance de détecteur à 06 entrées.....	47
Fig V.4 Structure du détecteur à 04 entrées.....	48
Fig V.5 Performance de détecteur à 04entrées.....	48
Fig V.6 Structure de détecteur à 03 entrées.....	50
Fig V.7 Performance de détecteur à 03entrées.....	50
Fig V.8 Comparaison des performances de la détection des défauts.....	51
Fig V.9 Sortie RNA en fonction du temps.....	51
Fig V.10 Structure de classifieur de défaut à 06 entrées par RNA.....	52
Fig V.11 Performance de classifieur de chaque défaut par RNA.....	55

### *Liste des tableaux*

Tab I.1 définition des niveaux de tension.....	3
Tab V.1 Matrice de confusion.....	45
Tab V.2 Performance de détecteur à 06 entrées .....	45
Tab V.3 Performance de détecteur à 04 entrées.....	46
Tab V.4 Performance de détecteur à 03 entrées.....	49
Tab V.5 Codage de sorties de classification des défauts.....	53
Tab V.6 Nombre de VP, VN de classifieur de défaut (06 entrées) par RNA.....	54
Tab V.7 : Taux de classification correct pour chaque défaut.....	54

## ***INTRODUCTION GENERALE***

# Introduction Générale

---

## *Introduction Générale :*

Les systèmes d'énergie électrique se sont développés avec une grande rapidité au cours de la deuxième partie du XX siècle, ces systèmes sont devenus importants dans tous les domaines de l'économie moderne. Comme la demande en énergie électrique a augmenté le système d'alimentation est devenu très complexe et difficile à contrôler. La propriété Essentielle de ces systèmes complexes est qu'ils doivent assurer la fourniture d'électricité aux consommateurs et continuer à fonctionner d'une manière satisfaisante même lorsqu'une Perturbation aléatoire est produite [1].

Pour satisfaire leur clientèle, les compagnies d'électricité doivent donc s'efforcer de maintenir l'amplitude et la fréquence de la tension constantes (valeurs nominales). Donc, il est important de maintenir le niveau de tension près de sa valeur nominale aux différents nœuds du réseau [02].

Le transport d'énergie électrique est assuré par des lignes à très haute tension (THT) Ces lignes sont soumises à plusieurs perturbations (des défauts polyphasés ou monophasés) Dues à des phénomènes différents [3].

Les défauts perturbent l'environnement du réseau électrique autour du point du défaut par la non-symétrie des tensions et peut donc être éliminé par le fonctionnement de la protection [4].

Ces défauts pouvant être permanents, il est ainsi nécessaire de les détecter et classer et localiser avec précision pour réparer et restaurer l'alimentation dès que possible. C'est pour cela que l'on utilise des dispositifs de protection qui assurent le bon fonctionnement des lignes de transports [5].

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des appareils de surveillance et de protection assurant la stabilité d'un réseau électrique. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et pour assurer une bonne continuité de service.

Ce travail est divisé en Cinq chapitres :

Le premier chapitre présente une généralité sur le réseau électrique et leur structure, leurs types. Nous avons exposé aussi les différents types des défauts de court-circuit dans les lignes de

## Introduction Générale

---

transport, leurs origines et leurs effets sur les réseaux. Nous finalisons ce chapitre avec la présentation du rôle de la fonction de la protection.

Le second chapitre est un aperçu sur les relais de protections et leurs types, nous nous sommes concentrés sur les relais numériques et son Principe de fonctionnement, et leurs avantages ainsi leurs Problèmes.

Le troisième chapitre nous présentons des notions théoriques sur la technique du réseau de neurones artificiels (RNAs), nous exposons brièvement les réseaux de neurones perceptron multicouches. Nous ferons le choix du genre de réseau et l'algorithme d'apprentissage, nous introduirons les réseaux de neurones artificiels comme outil de simulation.

Le quatrième chapitre sera consacré à la simulation sur le logiciel « simulink-matlab », où on va visualiser les différents signaux courant-tension de court-circuit, et la discussion sur les différents signaux de défaut qui nous avons obtenus.

Le cinquième chapitre nous avons utilisé la technique des RNAs pour la détection et classification des différents types de défauts. Plusieurs essais ont été effectués telle que la variation des paramètres de couche d'entrée et le nombre de couche cachée et fonction d'activation et la sortie réévaluée à la valeur 1 si il existe un défaut ou 0 pour absence de défaut.

Finalement notre travail est achevé par une conclusion générale.

***CHAPITRE I***

***GENERALITES SUR LES DEFAUTS DANS LES LIGNES  
DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE***

### I.1. Introduction :

Un réseau d'énergie électrique est un système d'éléments interconnectés qui assurent l'alimentation de leurs clients à la meilleure condition de coût et de qualité de service.

Le transport de l'énergie électrique s'effectue par les lignes de très haute tension (THT) ou haute tension (HT) qui assistent à transiter l'énergie d'un poste à un autre. Elles reçoivent l'énergie électrique des centrales, et écoulent l'énergie vers les réseaux régionaux. Les défauts électriques et en particulier les courts-circuits font courir un danger : aux personnes, aux équipements électriques présents sur le réseau et à la fourniture d'électricité en termes de stabilité et de continuité [6] [7]. Lorsqu'un défaut de court-circuit 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 le réseau électrique, si elle n'est pas rapidement éliminée [5]

### I.2. La structure et exploitation des réseaux d'énergie électrique :

La structure d'un système électrique est généralement décomposée en plusieurs niveaux correspondant à différents réseaux électriques (figure I.1), ce dernier est structuré en trois niveaux assurant des fonctions spécifiques et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions (basse tension 'BT', moyenne tension 'HTA', haute tension 'HTB' et très haute tension (HTB)). [8]

La publication UTE 18-510 relative à la sécurité sur les ouvrages électriques, applicable depuis janvier 1989 définit de nouveaux domaines de tension [9].

EN courant alternatif, ces domaines sont présentés dans le tableau 1 («  $U_n$  » est la tension nominale, en volts).

Domaine haute tension(HT)	Domaine basse tension(BT)
HTB : $U_n > 50.000(v)$	BTB : $500 < U_n \leq 1000(v)$
HTA : $1000 < U_n \leq 50.000(v)$	BTA : $500 < U_n \leq 500(v)$
	TBT : $U_n \leq 50(v)$ -très basse tension

Tab (I.1) : définition des niveaux de tension

### I.3. Différents types de réseaux électriques :

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

#### I.3.1. Les réseaux de transport et d'interconnexion à très haute tension (HTB) :

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport).
- De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction Interconnexion).
- La tension est 150 KV, 220 KV et dernièrement 420 KV.
- Neutre directement mis à la terre.
- Réseau maillé.

#### I.3.2. Les réseaux de répartition à haute tension (HTB) :

Assurent, à l'échelle régionale, la desserte des points de livraison à la distribution (90 et 63 KV).

#### I.3.3. Les 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/HTB constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous usages du courant électrique.

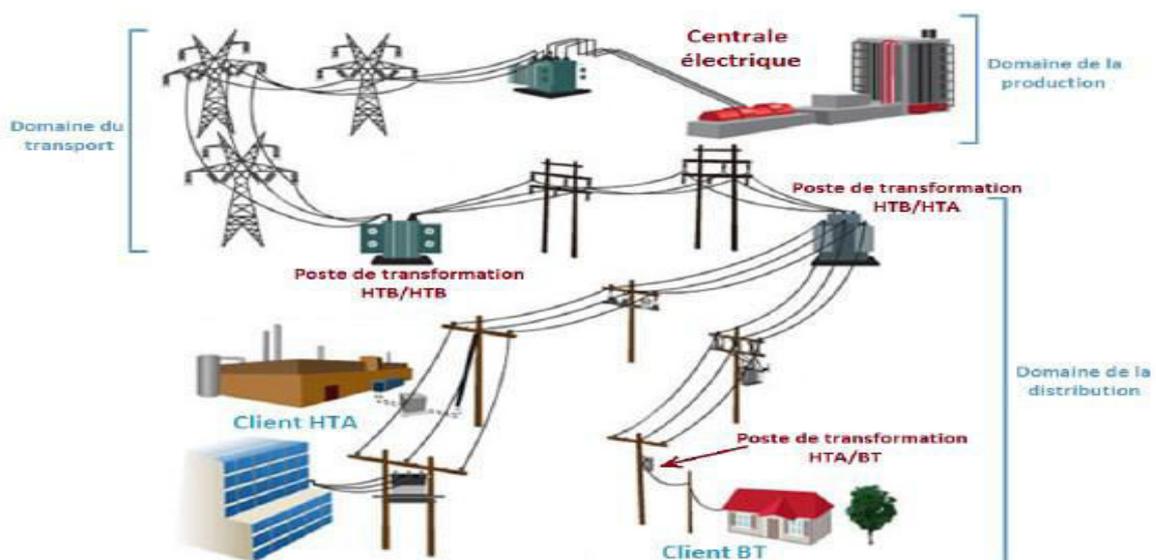


Fig (I.1) : Le réseau électrique

### *I.4. Les défauts dans les lignes de transport :*

les lignes de transport sont construites avec des conducteurs nus, ces conducteurs sont installés dans des structures métalliques spéciales “des pylônes” dans lesquels ces conducteurs sont séparés du pylône lui-même par des composants isolants et séparés entre eux par des espaces suffisants permettant à l'air d'agir comme isolant. Différents types de défauts peuvent se produire ( défauts avec terre ou entre phases ). Cependant les défauts les plus fréquents sont des surtensions, la plupart se produisent temporairement résultant un court circuit au niveau de l'isolation due a des facteurs environnementaux tels que les éclairs (foudre). Ils peuvent aussi se produire par un défaut dans l'isolation due à la détérioration du matériel d'isolation en lui-même.

#### *I.4.1. Origine des défauts (court-circuit) : [5]*

Le risque d'apparition d'un incident sur le réseau n'est pas nul car il est lié à de nombreux paramètres aléatoires. Ainsi, les courts-circuits peuvent avoir diverses origines :

- **Electriques** : C'est l'altération des isolants des matériels de réseau, par exemple. En effet, Les matériels électriques que l'on trouve sur le réseau ou dans les postes comportent des isolants (solides, liquides ou gazeux) constitués d'assemblages plus ou moins complexes placés entre les parties sous tension et la masse. Ces isolants subissent des dégradations au cours du temps qui conduisent a des défauts d'isolement et donc des courts-circuits.
- **Atmosphériques** : Les lignes aériennes sont soumises aux perturbations extérieures telles que la foudre, les tempêtes ou le givre.
- **Mécaniques** : C'est la chute d'un corps sur un conducteur ou la dégradation mécanique de conducteurs consécutive à des agressions extérieures par des engins de terrassement par exemple.
- **Humaines** : Ce sont les fausses manœuvres telles l'ouverture d'un sectionneur en charge par exemple. On trouve plusieurs catégories de défauts dans les réseaux HTA. Ceux-ci sont caractérisés par leur type, leur durée et l'intensité du courant de défaut.

#### *I.4.1.1. Caractéristiques des courts-circuits : [6]*

Les courts-circuits sont caractérisés par leur **forme**, leur **durée** et **l'intensité du courant**.

#### *I.4.2. Type des défauts :*

Plusieurs types de court-circuit (figure I.2) peuvent se produire dans un réseau électrique :

- a- **Défaut monophasé** : Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent.
- b- **défaut biphasé isolé** : Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur.
- c- **Défaut biphasé terre** : Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre.
- d- **Défaut triphasé** : Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de court-circuit le plus élevé. [10]

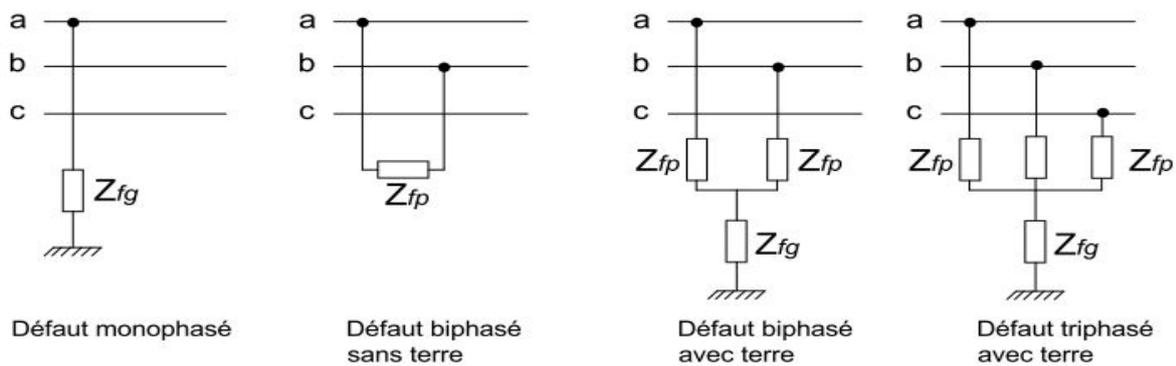


Fig (I.2) : Différent type de court –circuit

### 1.4.3. Les natures des défauts (court-circuit) : [11] [12]

- Court-circuit fugitifs : Les courts-circuits nécessitent une coupure très brève du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dixièmes de seconde).
- Court-circuit auto-extincteurs : C'est ceux qui disparaissent spontanément en des temps très courts sans provoquer de discontinuités dans la fourniture d'énergie électrique.
- Court-circuit semi permanents : Ces courts-circuits exigent pour disparaître une ou plusieurs coupures relativement longues du réseau d'alimentation (de l'ordre de quelques dizaines de secondes) sans nécessité d'intervention du personnel d'exploitation. Au niveau des réseaux aériens de transport de SONALGAZ, les défauts sont [13] :
  - De 70 à 90% fugitifs.
  - De 5 à 15% semi permanents.
  - De 5 à 15% permanents.

### ***1.5. Les conséquences des défauts sur la ligne :***

Les effets des défauts sont surtout à redouter sur les réseaux à haute et très haute tension (H.T et T.H.T). Les courts-circuits dans les réseaux électriques ont des effets néfastes :

#### ***1.5.1. Le bon fonctionnement des réseaux :***

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à redouter sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance.

Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une diminution du couple résistant ( $C_r$ ) des machines et donc des ruptures de l'équilibre entre celui-ci et le couple moteur ( $C_m$ ), s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme préjudiciables aux matériels. Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT. [12]

#### ***1.5.2. La tenue diélectrique des matériels :***

Les courts-circuits provoquent des surintensités, dans le cas d'un court-circuit triphasé le courant de court-circuit peut dépasser 20 à 30 fois le courant nominal ( $I_n$ ). Ces surintensités amènent deux de contraintes [14] :

- Contraintes thermiques : dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques.
- Contraintes mécaniques : dues efforts électrodynamiques, ceux-ci entraînent notamment le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs, ces efforts, s'ils dépassent les limites admises lors de la construction, sont souvent à l'origine d'avaries graves.

#### ***1.5.3. La qualité de la tension :***

Pour les utilisateurs, les courts-circuits se traduisent par une chute de tension dont l'amplitude et durée sont fonction de différents facteurs tels que la nature du court-circuit, la structure du réseau effectué, du mode mise à la terre, du mode d'exploitation, des performances des protections, ...etc.

#### ***1.5.4. 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 de réseau. La tension induite longitudinale, proportionnelle à ce courant apparaît sur les lignes de télécommunications qui a un trajet parallèle à la ligne d'énergie électrique. Cette tension peut atteindre des valeurs dangereuses pour le personnel et les installations de télécommunication [11], [14].

### ***1.5.5. 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 défaut à la terre. Les conducteurs tombés au sol présentent 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. [14]

### ***1.6. Système de protection :***

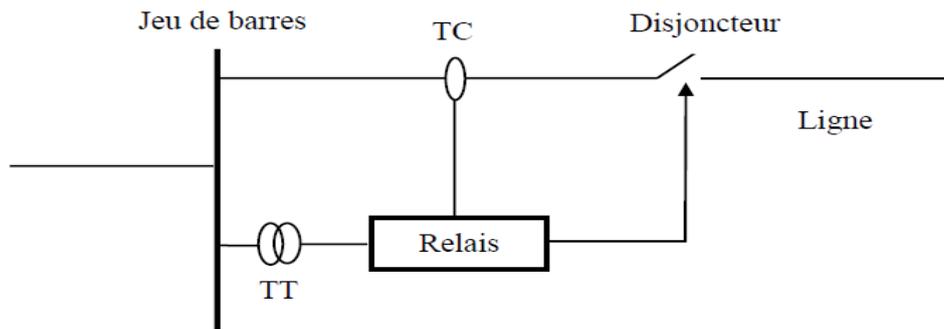
La commission Electrotechnique Internationale (C.E.I) définit la protection comme l'ensemble des dispositions à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs éléments de coupures et, lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide d'un système de protection. Ce dernier aura pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut.

#### ***1.6.1. Chaîne générale d'un système de protection :***

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau. Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

- ◆ Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller (courant, tension...) à des niveaux utilisables par les protections.
- ◆ Des relais de protection.
- ◆ Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est montré sur la Figure (I.3) l'autre extrémité de la ligne possède un système de protection similaire. Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donc les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service.



**Fig (I.3) :** Chaîne principale de la protection électrique.

Les relais de protection sont connectés aux transformateurs de mesure (TC et TT) pour recevoir des signaux d'entrée et aux disjoncteurs pour délivrer des commandes d'ouverture ou de fermeture. Donc en cas de défaut, la tâche du disjoncteur consiste à éliminer le défaut tandis que la tâche du relais de protection est détecter ce défaut. En HT, les relais sont situés dans des sous stations. Le temps d'élimination de défaut comprend :

- ◆ Le temps de fonctionnement des protections (détection du défaut).
- ◆ Le temps d'ouverture des disjoncteurs (élimination du défaut).

### ***1.6.2. Eléments constitutifs d'un système de protection :***

#### ***1.6.2.1. Réducteur de mesure :***

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus pour des courants des tensions de valeurs réduites. De plus, pour assurer la sécurité des opérateurs, il faut interposer une séparation galvanique entre le réseau surveillé qui se trouve à tension élevée et le circuit de mesure à tension réduite mis à la terre en un point. On utilise pour cela des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de la tension (TT). Afin d'assurer une bonne protection contre les défauts, la caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure et sa précision.

##### ***1.6.2.1.1. Transformateur de courant :***

###### ***a) – Définition :***



**Fig (I.4) :** Transformateur de courant

Selon la définition de la commission électrotechnique internationale (C.E.I), « un transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci d'un angle approximativement nul pour un sens approprié des connexions ». [5]

*b) - Fonction :* Les transformateurs de courant ont des fonctions essentielles

- ◆ Délivrer à leur secondaire une image fidèle de l'intensité qui circule dans la ligne concernée.
- ◆ Assurer l'isolement galvanique entre la ligne et les circuits de mesure et de protection.
- ◆ Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsqu'un défaut survient sur la ligne. [15], [16]

Les transformateurs de courant utilisés permettent de réduire le niveau des courants de milliers d'Ampère vers des sorties standards de 5A ou 1A. Durant le défaut, le niveau du courant du transformateur augmente qui rend leur choix critique pour un fonctionnement correct du relais.

Avec cette image de l'intensité, le relais élabore à son tour un ordre de déclenchement en fonction du type de protection qu'il réalise et des valeurs auxquelles il a été pré-réglé (seuil, temporisation). Cet ordre est transmis à un ou plusieurs appareils de coupure (disjoncteur, contacteur, interrupteur). Suivant le type de protection à réaliser, les TC sont associés et utilisés selon des schémas différents, ils peuvent être isolés ou intégrés dans le disjoncteur.

### ***1.6.2.1.2. Transformateur de Tension :***

#### ***a- Définition :***



**Fig (I.5) :** Transformateur de tension

Selon la définition donnée par la commission électrotechnique internationale (C.E.I), un transformateur de tension ou potentiel est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ». On utilise aussi le terme transformateur de potentiel (TP). [5]

Il s'agit donc d'un appareil pour mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts.

#### ***b- Fonction :***

La fonction d'un transformateur de tension est de fournir à son secondaire une tension image de celle qui lui est appliquée au primaire.

### ***1.6.2.1.3. Fusible : [4]***

Les fusibles permettent d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité pendant un intervalle de temps donné. L'interruption du courant est obtenue par la fusion d'un conducteur métallique calibré. Ils sont surtout efficaces pour la protection contre les courts-circuits, vis-à-vis desquels ils agissent, le plus souvent, en limiteurs de la valeur crête du courant de défaut. Le fusible est ainsi un excellent dispositif pour l'élimination des défauts mais il présente un certain nombre d'inconvénients qui limitent son utilisation : Ils exigent

malheureusement d'être remplacé après chaque fonctionnement ; En régime triphasé, ils n'éliminent que les phases parcourues par un courant de défaut, ce qui peut présenter un danger pour le matériel et le personnel ; leur calibre doit être bien adapté pour éviter un fonctionnement intempestif en cas de surcharge momentanée. Les fusibles peuvent être associés à des interrupteurs ou à des contacteurs avec lesquels ils constituent des combinés capables d'assurer automatiquement la coupure des phases saines lors du fonctionnement de l'un d'eux de façon à éviter la marche monophasée dangereuse.

### ***1.6.2.1.4. Disjoncteur : [4]***

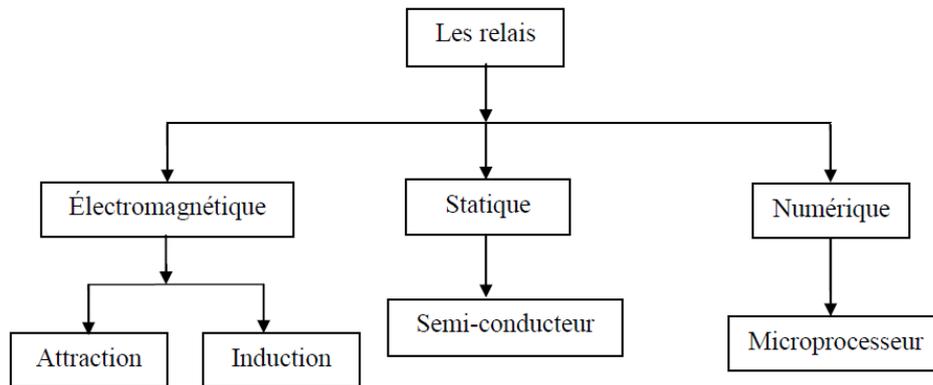
Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée. Dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), qui détecte le défaut et envoie des ordres au disjoncteur pour éliminer automatiquement le défaut ou pour mettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé. Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment. Le disjoncteur ne réussit pas souvent à interrompre le courant durant la première tentative, plusieurs cycles de la fréquence fondamentale du courant sont nécessaires pour une interruption complète du flux de courant, ce qui affecte la vitesse du disjoncteur. Les disjoncteurs rapides utilisés dans la HT sont d'un cycle, par contre ceux utilisés dans la BT prennent 20 à 50 cycles pour ouvrir. De plus pour distinguer entre un défaut permanent et un défaut temporaire le concept d'auto-enclenchement est utilisé. Quand le disjoncteur déclenche il reste ouvert un certain temps ensuite il ferme automatiquement. Cette action permet au relais de vérifier si le défaut continu d'exister, et dans ce cas de déclencher de nouveau. Si le défaut a disparu, le relais ne fonctionne pas et la ligne va rester en service. Le disjoncteur HT est caractérisé essentiellement par la technique utilisée pour la coupure :

- ◆ Les disjoncteurs à l'huile.
- ◆ Les disjoncteurs à air comprimé.
- ◆ Les disjoncteurs utilisant le gaz SF<sub>6</sub>.

### ***1.6.2.1.5. les relais :***

Aux débuts électromécaniques et statiques, puis analogiques, les relais sont principalement de type numérique. Ces derniers sont basés sur le principe de la transformation des variables électriques du réseau, fourni par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage. Ils permettent de combiner différentes fonctions de protection dans le même appareil, de

faire du traitement de signal, d'enregistrer les événements et de diagnostiquer les éléments auxquels ils sont connectés comme les disjoncteurs.



**Fig (I.6) : Type des relais**

### ***1.7. Détection des défauts :***

Les protections contrôlent en permanence l'état électrique du réseau en surveillant un certain nombre des grandeurs électriques caractéristiques (courant, tension, fréquence) ou des combinaisons de ces grandeurs (puissance, etc.). Ces grandeurs électriques sont fluctuantes du fait notamment des variations de la charge ou de topologie des réseaux, néanmoins elles évoluent dans un domaine normalement fixe par les règles générales d'exploitation des réseaux. Par exemple les tensions peuvent varier dans un domaine exceptionnel (0.7 à 1.1 Un) et les courants ne dépassent jamais 1.1 à 1.3In selon les installations. Le fait que les grandeurs sortent brusquement de ces domaines est caractéristique de la présence d'une anomalie et utilise comme critère de détection et ceci s'accomplit par l'accueil d'information par les transformateurs de mesures (transformateur de tension « TT » et de courant « TC ») qui traduisant la variation des grandeurs principales du réseau.

On retiendra ici qu'un régime de fonctionnement normal les réseaux triphasés sont sensiblement équilibrés. Les courants et les tensions n'ont que des composantes directes. L'apparition de composante inverse est caractéristique, soit au raccordement d'une charge déséquilibrée. De plus l'apparition de composante homopolaire est caractéristique de présence d'un déséquilibre avec écoulement de courant à la terre via les points neutres du réseau. [1]

### ***1.8. Élimination des défauts :***

Les courts-circuits sont des incidents qu'il faut éliminer le plus rapidement possible. C'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est une des performances prioritaires. On n'oubliera pas 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.

La protection d'un réseau électrique consiste à détecter tout défaut (défaut à la terre ou entre phases) qui surviendrait sur le réseau afin de protéger les éléments du réseau contre des surintensités destructrices. Une fois le défaut est détecté, il faut pouvoir le localiser au mieux afin de ne mettre hors tension que la partie du réseau la plus proche du défaut.

Les protections doivent :

- Détection la présence d'un défaut.
- Identifier l'ouvrage atteint.
- Commander les organes de coupures, dont l'ouverture conduira à l'isolement de cet ouvrage (et seulement celui-là) par rapport au reste du réseau. Cette tâche fait appel à un processus comprenant plusieurs opérations tel que la mesure des tensions et des courant ainsi le filtrage et l'échantillonnage pour terminer avec un traitement numérique qui résulte par la localisation de défaut et la possibilité de l'élimination rapide par les organes de commande. [1]

### ***1.9. Qualités principales d'un système de protection :***

#### ***1.9.1. Rapidité :***

Les défauts sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est des performances prioritaires. Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales :

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

#### ***1.9.2. Sélectivité :***

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité. Elle consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée et uniquement cette partie, en laissant sous tension toutes les parties saines du réseau. Différent modes de sélectivité peuvent être mis en œuvre :

- ◆ La sélectivité ampérométrique par les courants.

- ◆ Sélectivité chronométrique par le temps,
- ◆ Sélectivité par échange d'information, dite sélectivité logique.

La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections.

### ***1.9.3. 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.

### ***1.9.4. 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 dû 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.

### ***1.10. Contraintes liées à la protection : [4]***

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 courts-circuits :
  - Lors de manœuvre 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 surcharge et de déséquilibres entrant dans la marge de fonctionnement des réseaux électrique.
  - En présence d'oscillations résultant du régime transitoire des alternateurs.
  - Sous l'influence d'une anomalie des circuits de mesure.

### ***I.11. Conclusion :***

Dans ce chapitre nous avons donné des généralités sur les différents types des réseaux électriques. Egaleme nt les origines des défauts dans les réseaux électriques et leurs conséquences ont été évoquées. Les systèmes de protection contre ces défauts et leurs concepts généraux ont été présentés ainsi qu'un aperçu sur la technologie des relais utilisés, ainsi que détection et élimination des défauts, puis la qualité d'une protection et les contraintes liées à la protection.

***CHAPITRE II***  
***RELAIS NUMERIQUES***

### ***II.1. Introduction :***

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. Comme l'objectif de la protection des systèmes électriques est de détecter les défauts ou les conditions de fonctionnement anormales, les relais doivent évaluer une grande variété de paramètres pour garantir l'action correcte afin que le système d'alimentation retourne à son état normal. [17] [18]. On choisit les dispositifs de protection les mieux adaptés. C'est ce que l'on va présenter dans ce chapitre.

### ***II.2. Les relais de protection :***

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations (signaux) à caractère analogique (courant, tension, puissance, fréquence, température, ...etc.) et le transmettent à un ordre binaire (fermeture ou ouverture d'un circuit de commande) lorsque ces informations reçues atteignent les valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées à l'avance, donc le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que le court-circuit, variation de tension. ...etc. Un relais de protection détecte l'existence de conditions anormales par la surveillance continue, détermine quels disjoncteurs ouvrir et alimente les circuits de déclenchement. [6]

### ***II.3. Les types des relais :***

Les relais sont des dispositifs automatiques qui commencent à fonctionner sous l'action d'une grandeur d'entrée.

#### ***II.3.1. Relais électromécanique :***

Les premiers relais utilisés dans l'industrie électrique étaient des dispositifs électromécaniques [4]. Ce relais est basé sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau via des transformateurs de courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage). [11] [14]

Les équipements électromécaniques sont des assemblages de fonctions : détection de seuils et temporisation. Ils avaient l'avantage d'être robustes, de fonctionner sans source d'énergie

auxiliaire et d'être peu sensibles aux perturbations électromagnétiques. Ces relais se démarquent par leur solidité et leur grande fiabilité, pour cette raison, leur entretien est minime. Ils sont réputés pour leur fiabilité dans les environnements de travail les plus délicats. Il est néanmoins souhaitable de les contrôler régulièrement, et la périodicité d'inspection dépend des conditions d'exploitation. [1]

Les inconvénients de ces dispositifs, qui demeurent néanmoins largement rencontrés, sont :

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de maintenance.
- Le manque de précision, la disposition étant sensible à son environnement et aux phénomènes d'usure.
- Il est aussi difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de court-circuit.
- Son coût de fabrication est élevé.
- Des performances insuffisantes et n'autorisent l'emploi que de fonction élémentaires simples, en nombre limité et sans redondance.

### ***II.3.2. Relais statique (à semi-conducteur) : [1]***

Les relais statiques sont des dispositifs à semi-conducteur composés de composants électroniques comme les résistances, les diodes, les transistors etc. Ces relais n'ont pas des pièces mobiles qui les rendent plus légers et plus petit que les relais électromagnétiques. Les relais à semi-conducteur exécutent les mêmes fonctions que les relais électromagnétiques sauf qu'elles ont besoin de moins de tension pour fonctionner et la commutation peut être exécutée en très brèves durées. Les relais statiques sont fiables mais les composants électroniques peuvent dériver en raison de la température ambiante et du vieillissement élevés.

Les relais à semi-conducteur activent le déclenchement des circuits utilisant des dispositifs électroniques tels que les redresseurs à silicium et, en conséquence, il n'y a aucun arc pendant la commutation. Les commutateurs dans mes relais à semi-conducteur ont toujours des courants de fuite indépendamment du fait que les commutateurs sont ouverts ou fermés.

### ***II.3.3. Relais numériques :***

La protection des systèmes électriques a changé beaucoup depuis l'évolution des microprocesseurs. Leurs intégration à très grande échelle a permis de réunir de nombreux

composant dans une simple puce. La technologie numérique a fait sa place dans le domaine de la protection des systèmes électriques. Aujourd'hui, les relais numériques sont mis en application pour protéger presque tous les composants des systèmes électriques. Les techniques fondamentalement numériques emploient les mêmes principes qui ont été employés par les relais électromécaniques et statiques. Les relais numériques ont beaucoup d'avantage telle que :

- Économique : la raison principale de l'acceptation des relais numériques est qu'ils présentent beaucoup de dispositifs au prix raisonnable.
- Rapide : IL y a deux raisons du fonctionnement rapide des relais numériques ; un, les relais numériques n'emploient aucune partie mécanique, deux, l'utilisation des processeurs a grande vitesse ont fait de ces relais très rapides.
- Autocontrôle : les relais numériques contrôlent eux-mêmes sans interruption. Par contre les relais électromécaniques doivent être examinés par le personnel à intervalles réguliers. D'autre part, le dispositif à autocontrôle épargne le temps aussi bien que l'argent.
- Fonction multiples : Les relais, les compteurs, les commutateurs de commande, les indicateurs, et les appareils de communication peuvent être intégrés dans un relais protecteur simple à microprocesseur. Les schémas de sous-station/système et les diagrammes de câblage sont facilement produits en raison du nombre réduit de dispositifs et de câblage relatif.
- Temps mise en marche réduit : la mise en marche est un processus de vérification des performances d'un équipement avant qu'il ne soit mis en service. Les relais numériques ont des dispositifs de mesure et les compatibilités à distance, qui font la mise en marche simple et moins longue.
- Économie de temps et d'effort : la localisation rapide de l'endroit du défaut par les relais numériques dans les lignes de transport réduisent le temps de coupure électrique considérablement.
- Flexibilité : les relais numériques peuvent être conçus et construits en prenant compte l'usage universel du matériel. Un relais peut être employé pour protéger différents composants de système d'énergie en chargeant différents logiciels.
- Petite taille : les relais numériques sont plus légers dans le poids et ont besoin de moins d'espace que les relais électromécaniques et à semi-conducteur. Pour cette raison, il est facile de transporter ces dispositifs.
- Remplacement facile : si un relais numérique tombe en panne, peut être remplacé complétement. Ceci économise le temps et le travail nécessaire pour des réparations. [4]

#### ***II.4. Principe de fonctionnement d'un relais numérique :***

Le relais numérique est équipé d'un software (qui permet la communication et la programmation) et d'un hardware. Ce dernier consiste en un ou plusieurs microprocesseurs. Tout fonctionnement de l'acquisition des grandeurs mesurées (U, I, etc.) jusqu'à l'émission des ordres au disjoncteur sont traités par voie numérique. Le fonctionnement est réparti comme suit :

- Acquisition des mesures (U, I etc.)
- Acquisition des signaux au niveau interne avec :
- Découplage galvanique.
- Suppression des bruits (filtrage).
- Obtention des signaux analogiques prêts au traitement.
- Amplification.
- Échantillonneurs-bloqueurs.
- Multiplexage.
- Conversion analogique-numérique.
- Modules de mémoires.
- Transmission des données au bus du micro-processeur.
- Traitement des signaux par les algorithmes de calcul et de filtrage numérique.
- Traitement des signalisations (contacts, leds).
- Traitement des entrées binaires.
- Traitement des ordres de commandes.

Le signal d'entrée est filtré puis échantillonné, et la mise au point d'algorithme (placé sur mémoire EPROM) performant permet, sur base de la topologie de l'état des disjoncteurs (ouvert, fermé) ainsi que des tensions et des courants mesurés d'en déduire une décision à prendre (ouverture de disjoncteurs).

#### ***II.5. Schéma bloc d'un relais numérique :***

Le relais numérique est un dispositif à base de microprocesseur qui utilise un logiciel pour le traitement des signaux échantillonnés et mettre en application la logique du relais. La majeure partie de la recherche dans le secteur de la protection à relais numériques est liée au

développement des algorithmes pour des applications spécifiques. Les éléments de base d'un relais numérique sont résumés sur la figure (II.1). [19, 20]

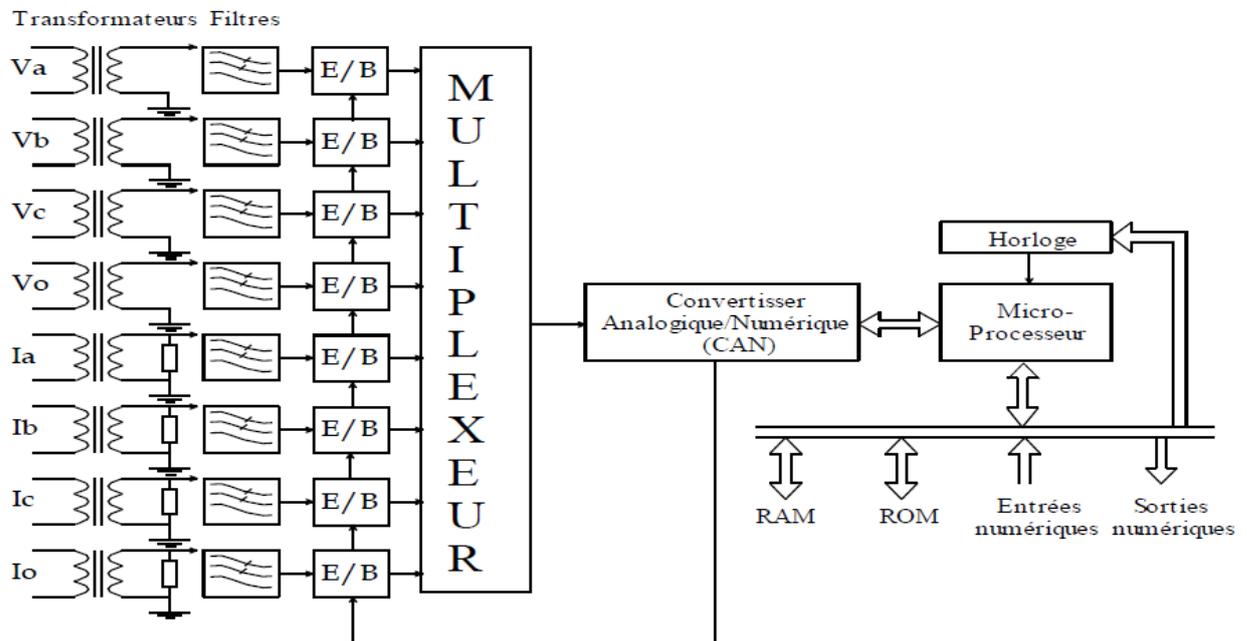


Fig (II.1) : Eléments de base d'un relais numérique

### II.5.1. L'échantillonnage : [21]

Le processus d'échantillonnage est essentiel pour la protection du microprocesseur afin de produire le nombre requis par l'unité de traitement pour effectuer des calculs et de prendre des décisions relais. Courant et/ou tension, par exemple du système, ne sont pas contrôlés de manière continue, mais comme toutes les autres quantités, sont prélevés un à la fois.

L'échantillonnage est le processus par lequel les formes d'onde continues peuvent être représentées comme des valeurs discrètes est appelé échantillonnage. L'échantillonnage se fait par un circuit appelé un échantillonneur-bloquer(S/B).

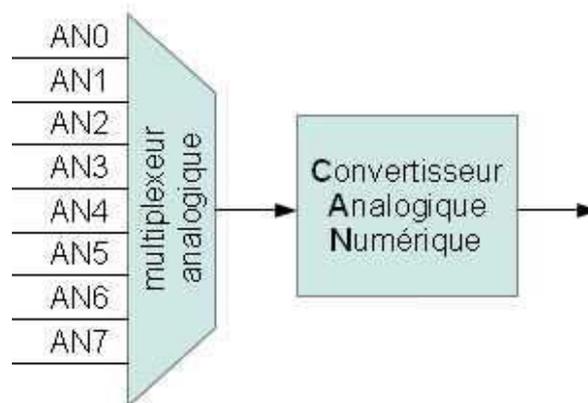
### II.5.2. Multiplexage : [21]

Les CAN sont relativement chers, pour n'utiliser qu'un seul convertisseur on fera appel à un multiplexeur. Le multiplexage est la technique permettant de faire passer plusieurs signaux analogiques sur un même circuit ou un même câble. Le multiplexage (temporel) consiste à diviser le temps, par exemple chaque seconde, en petits intervalles, et à attribuer un intervalle de temps donné à chaque signal. Le multiplexeur est une sortie d'aiguillage. A chaque impulsion de l'horloge, il met successivement en contact pendant une durée très courte (qu'on peut en première

approximation considérer comme nulle) le signal issu de chacune des voies avec le convertisseur. Le reste du temps c'est-à-dire pratiquement en permanence, il fonctionne comme un interrupteur ouvert, chargeant chacune des voies sur l'impédance d'entrée du système d'acquisition, mais n'assurant aucune liaison physique entre les voies et le convertisseur.

### II.5.3. Conversion analogique/numérique : [21]

La conversion numérique d'un signal analogique consiste à prélever des échantillons de ce signal à des instants réguliers. Pour échantillonner un signal, on définit une durée, appelée période d'échantillonnage, qui est l'intervalle de temps entre deux valeurs converties. Cette période doit être choisie suffisamment courte pour que l'échantillonnage soit significatif. Elle ne doit pas non plus être exagérément petite, afin que la quantité d'informations ne soit pas trop importante. Le circuit assurant cette fonction est appelé échantillonneur/ plaqueur (E/B), puisqu'il doit conserver (bloquer) pendant la période d'échantillonnage la valeur du signal d'entrée. A la sortie du E/B, le signal est encore analogique et continu en amplitude. Il s'agit encore d'une tension (en volts) qui peut prendre des valeurs quelconques. Le signal est ensuite numérisé par le Convertisseur Analogique/Numérique

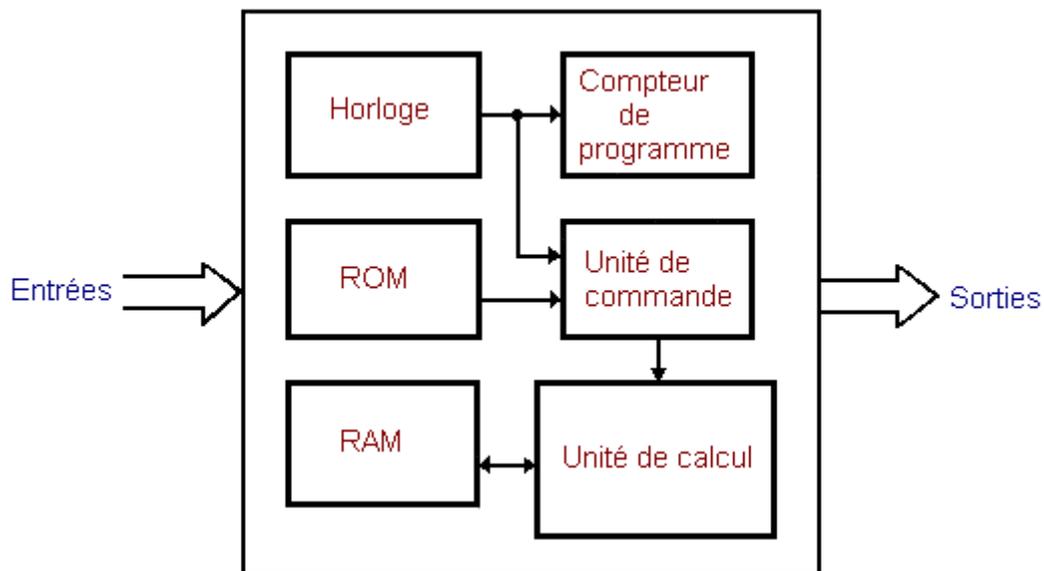


**Fig (II.2) :** Conversion analogique/numérique

La tension analogique  $V_{in}$  inconnue est comparée à une fraction de la tension référence  $V_r$ . La comparaison est effectuée  $n$  fois avec des fractions différentes de  $V_r$  de sortie numérique à  $n$  bits. La valeur d'un bit particulier est mis à 1, si  $V_{in}$  est supérieure à la fraction de l'ensemble de  $V_r$  et est mis à 0, si  $V_{in}$  est inférieur à la fraction de consigne de  $V_r$ .

### II.5.4. Microprocesseur :

Le microprocesseur noté aussi M.P.U. (Micro processor unit) ou encore C.P.U. (Central Procession Unit) est un circuit intégré complexe appartenait à la famille des VLSI (very large squala intégration) capable d'effectuer séquentiellement et automatiquement des suites d'opérations élémentaires.



**Fig (II.3) :** schéma bloc de Microprocesseur

Le microprocesseur est le cœur du relais numérique, c'est lui qui exécute le programme de l'algorithme choisi pour la détection ou la localisation des défauts. Un microprocesseur est un composant électronique minuscule, fabriqué le plus souvent en silicium, qui regroupe certain nombre de transistors élémentaires interconnectés. Le microprocesseur exécute les fonctions de l'unité centrale d'ordinateur (CPU). Il interprète les instructions et traite les données du programme.

### II.6. Propriétés des relais numériques :

Les propriétés sont :

- Traitement numérique complet de l'échantillonnage des valeurs de mesure.
- Gamme de réglage extrêmement vastes et paliers précis pour les réglages de valeurs de mesure et de temps.
- Autorisation de réglage à l'aide d'un mot de passe pour éviter toute action hostile. Le mot de passe définit par l'utilisateur, lui-même.
- Auto surveillance permanente du logiciel et du support informatique

- Possibilité d'échanges de données avec une centrale de contrôle commande grâce à l'interface RS485.
- Large domaine de tension d'alimentation (CA/CC).
- Composant de précision et garantie surdimensionnée : Précision, durée de vie, fiabilité.

### *II.7. Avantage des relais numériques : [5]*

La localisation précise des défauts, même sur les lignes en parallèle, avec les autres renseignements sur les défauts, permet de réduire la durée d'indisponibilité. Les renseignements précis sur les défauts permettent leur analyse approfondie. Une simple commande permet de passer d'un groupe de réglage à un autre. La fonction d'autodiagnostic réduit les coûts de maintenance. Le relais peut être interfacé avec des protections existantes. Le relais remplit également le rôle de base d'un SCADA, sans coût supplémentaire.

- Intégration de plusieurs fonctions de protection dans un boîtier compact.
- Haute précision de mesure par le procédé numérique.
- Réglage numérique vaste et nombreux paliers précis.
- Paramétrage facile grâce à l'affichage, aux diodes et aux touches.
- Indication des données de mesure et des défauts par l'afficheur alphanumérique.
- Echange de données avec le contrôle commande au moyen de ports sériels.
- Sécurité de fonctionnement par l'auto surveillance permanente de la même manière, vous trouvez disponible chez SEG, la gamme Professional line qui est une version simplifiée, avec des fonctions plus limitées.
- Une large gamme de modèles permet une adaptation précise à chaque application.
- L'interrogation à distance évite les déplacements trop fréquents sur le site.
- La localisation précise des défauts, même sur les lignes en parallèle, avec les autres renseignements sur les défauts, permet de réduire la durée d'indisponibilité.
- Les renseignements précis sur les défauts permettent leur analyse approfondie.
- Une simple commande permet de passer d'un groupe de réglage à un autre.
- La fonction d'autodiagnostic réduit les coûts de maintenance.
- Le relais peut être interfacé avec des protections existantes.
- Le relais remplit également le rôle de base d'un SCADA, sans cout supplémentaire.

[02]

*II.8. Exemples des relais numérique :*

- **SIPROTEC 7SA63 de SIEMENS et Optimho**



**Fig (II.5) :** Le relais SIPROTEC 7SA63 de SIEMENS et Optimho

- **Le relais EPAC model Alstom**



**Fig (II.6) :** Relais EPAC model Alstom

## ***II.9. problème liée par les protections numériques :***

### ***II.9.1. fiabilité du logiciel :***

Si la fiabilité des composants est à l'heure actuelle assez bien maîtrisée, en ce sens que l'on sait mettre en œuvre les moyens nécessaires pour arriver à un niveau de fiabilité spécifié, il est par contre impossible pour le moment de chiffrer la fiabilité d'un logiciel ; il est tout au plus possible de l'apprécier qualitativement au moyen de métriques. Cependant, on connaît bien maintenant les méthodes à mettre en œuvre pour étudier et réaliser un logiciel de bonne qualité.

### ***II.9.2. Dialogue homme machine :***

Dans sa version la plus dépouillée, la protection numérique n'a besoin que d'un connecteur de liaison série pour dialoguer avec l'extérieur au moyen d'une console de visualisation. Ce moyen de communication est souvent jugé insuffisant par l'exploitant qui souhaite connaître l'état de la protection localement sans l'aide d'une console ou d'un ordinateur portable.

Les constructeurs ont été ainsi amenés à équiper les protections numériques d'un terminal face avant composé d'un écran simplifié permettant d'afficher 1 ou 2 lignes de 16 à 40 caractères alphanumériques et de quelques touches pour pouvoir faire défiler sur l'écran un menu déroulant un dialogue plus complet restant toujours possible à l'aide d'une console.

## ***II.10. Conclusion :***

Dans ce chapitre nous avons présenté des notions sur les relais de protection précisément les relais numériques. Nous avons exposé l'intérêt et le rôle de relais numérique ainsi que les constitutions et les avantages des relais numériques. Les relais numériques c'est des dispositifs indépendants dans la protection des réseaux électriques.

## ***CHAPITRE III***

# ***RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS***

### ***III.1. Introduction :***

Le terme « réseaux de neurones artificiels » regroupe un certain nombre de modèles dans l'intention d'imiter certaines fonctions du cerveau humain reproduisant quelques unes de ses structures de base. [22]

Dans ce chapitre, nous exprimons un historique sur les réseaux de neurone artificiels, ensuite une introduction sur les réseaux de neurone et leur type. Puis, nous présentons la phase d'apprentissage d'un réseau de neurones. Nous intéresserons par la suite au réseau de type PMC et nous expliquerons la démarche de calcul des erreurs par la technique de retro-propagation. Ce chapitre sera terminé par une présentation des diverses applications destinées à montrer la variété des domaines où les réseaux de neurones sont susceptibles d'apporter des solutions efficace. [23]

### ***III.2. Historique des réseaux de Neurone (RNA) :***

En 1943, Mac Culloch et Pitts ont proposé le premier modèle de neurone biologique [24]. Ce dernier, appelé aussi neurone à seuil, a été inspiré des récentes découvertes en biologie. Ce sont des neurones logiques (0 ou 1). Ces deux physiciens ont montré que les neurones formels peuvent réaliser des fonctions logiques.

En 1949, le psychologue Donald Hebb a introduit le terme connexionnisme pour parler des modèles massivement parallèles et connectés. Il a proposé de nombreuses règles de mise à jour des poids dont la plus connue à cette époque est la "règle de Hebb" [24].

En 1958, le psychologue Frank Rosenblatt a développé le modèle du perceptron [25]. Il s'agit d'un réseau de neurones, capable d'apprendre à différencier des formes simples et à calculer certaines fonctions logiques. Il est inspiré du système visuel. Il a réussi à l'appliquer pour la reconnaissance des formes. Au début des années 60, les travaux de Rosenblatt ont vécu un grand intérêt dans le milieu scientifique. Mais en 1969, deux scientifiques américains appelés Minsky et Papert [24] ont publié un livre dans lequel ont démontré les limites du perceptron proposé par Rosenblatt. En particulier, son incapacité réside à la résolution des problèmes non linéaires.

Les travaux se sont ralentis considérablement jusqu'aux années 80. En 1982, Hopfield a fini par démontrer l'intérêt des réseaux entièrement connectés [24]. Parallèlement, Werbos a conçu un mécanisme d'apprentissage pour les réseaux multicouches de type perceptron : la rétro-propagation (Back-Propagation). Cet algorithme qui permet de propager l'erreur vers les couches cachées sera popularisé en 1986 dans un livre "Parallel Distributed Processing" par Rumelhart et al. [26].

Depuis ces travaux, les applications des réseaux de neurones n'ont cessé de croître. Il d'ailleurs été démontré qu'un réseau MLP (Multi Layer perceptron) avec seulement deux couches peut approximer n'importe quelle fonction de  $R_n$  dans  $R_m$  avec une précision arbitraire [27].

### III.3. Définition de RNA :

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. [28]

Un réseau de neurone est un exemple de modèle connexionniste, il peut être entraîné et apprendre à résoudre un problème donné. [29]

#### III.3.1. Neurone biologique :

Un neurone biologique est une cellule vivante consacrée au traitement de l'information figure (III.1). De son corps cellulaire ou soma, rayonnent de nombreuses dendrites (jusqu'à 100000) qui reçoivent des signaux provenant d'autres neurones ou cellules sensorielles. [30] Ces signaux sont traités par le neurone qui transmet à son tour un signal, si certaines conditions sont réunies le long de son axone à d'autres neurones ou à de cellules effectrices (cellule musculaire par exemple) : On dit que le neurone est alors activé. [31]

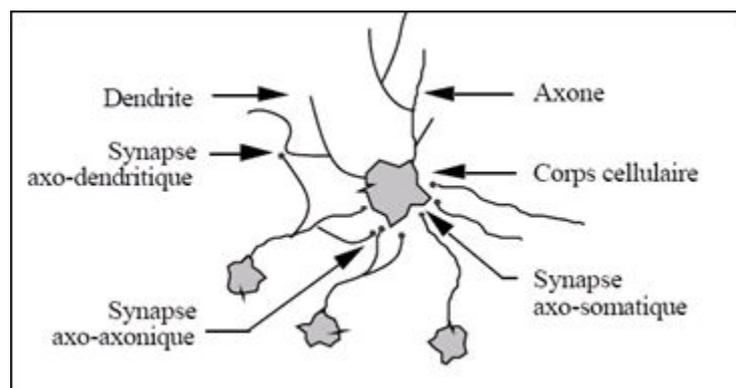
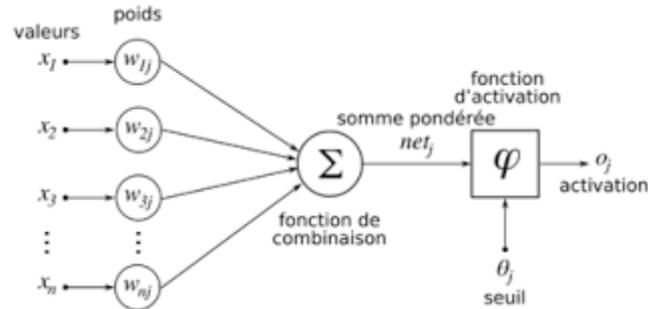


Fig (III.1) : Un neurone avec son arborisation dendritique

#### III.3.2. Neurone Formel ou Artificiel :

La figure (III.2) montre la composition d'un neurone artificiel. Chaque neurone faisant partie d'un réseau est une machine élémentaire. Il reçoit un certain nombre de variables d'entrées provenant de neurones en amont. A chacune de ces entrées, est associé un poids qui représente la force de la connexion entre les deux neurones. Chaque neurone est doté

d'une unique sortie qui se ramifie ensuite pour représenter les entrées qui alimenteront d'autres neurones en aval. Pour résumer, chaque neurone calcule une sortie unique en se basant sur les informations qui lui sont données. [32]



**Fig (III.2) :** La composition d'un neurone artificiel

Le neurone en tant qu'unité élémentaire agit de la façon suivante :

- 1<sup>ère</sup> phase : Le neurone fait le calcul de la somme pondérée des entrées (en fonction de la force des connexions). L'apprentissage ayant été réalisé auparavant, le poids des connexions est ici déjà déterminé et fixe. [32]
- 2<sup>ème</sup> phase : A partir de la valeur obtenue, une fonction d'activation ou de transfert va calculer la valeur de l'état du neurone. Le neurone compare la somme pondérée des entrées à une valeur de seuil et fournit alors une réponse en sortie. [32]

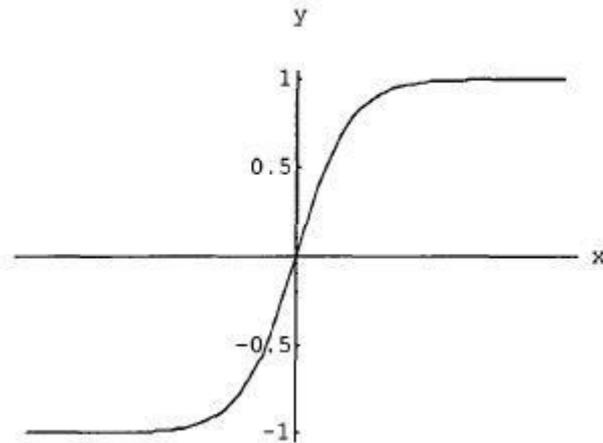
#### II.4. Fonction D'activation :

La fonction d'activation (ou fonction de transfert) sert à convertir le résultat de la somme pondérée des entrées d'un neurone en une valeur de sortie, cette conversion s'effectue par un calcul de l'état du neurone en introduisant une non-linéarité fonctionnement du neurone [33].

Il existe différents types de fonction de transfert pour le neurone artificiel : [34]

a) – Sigmoid tangente hyperbolique : **tansig**

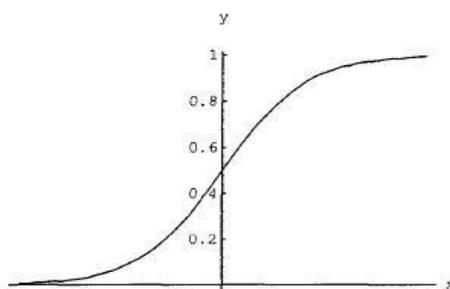
- Sortie entre -1 et 1
- $\sigma(x) = \tanh(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$



**Fig (III.3) :** Sigmoide tangente hyperbolique

b)– Sigmoide log : **losig**

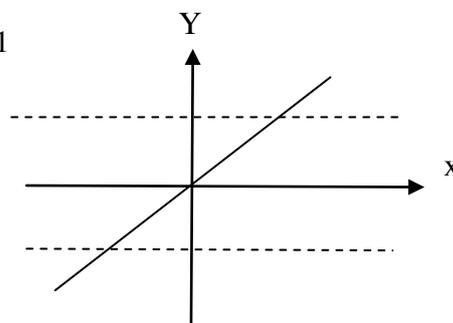
- Sorties entre 0 et 1
- $\sigma(x) = e^x / (e^x + 1) = 1 / (1 + e^{-x})$  et  $\sigma'(x) = \sigma(x) * (1 - \sigma(x))$



**Fig (III.4) :** Sigmoide logsig

C – Linéaire : **purelin**

- $\sigma(y) = y$  et  $\sigma'(y) = 1$



**Fig (III.5) :** Fonction linéaire

### *III.5. Les type de réseau de neurone :*

#### *III.5.1. Réseau de neurone non bouclé :*

Un réseau de neurones non bouclé est donc représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux, l'information circulant des entrées vers les sorties sans "retour en arrière" [35]. On constate que le graphe d'un réseau non bouclé est acyclique. En effet, si on se déplace dans ce type de réseau à partir d'un neurone quelconque en suivant les connexions, on ne peut pas revenir au neurone de départ. Les neurones qui effectuent le dernier calcul de la composition de fonctions sont les neurones de sortie [23]. Ceux qui effectuent des calculs intermédiaires sont les neurones cachés (figure III.6).

Les réseaux non bouclés à couche sont structurés tel que les neurones qui appartiennent à une même couche ne soient pas connectés entre eux, chacune des couches recevant des signaux de la couche précédente, et transmettant le résultat de ses traitements à la couche suivante. Les deux couches extrêmes correspondent à la couche d'entrée qui reçoit ses entrées du milieu extérieur d'une part, et à la couche de sortie qui fournit le résultat des traitements effectués d'autre part. Les couches intermédiaires sont appelées couches cachées, leur nombre est variable [23].

Les réseaux de neurones non bouclés à couches dont les neurones cachés ont une fonction d'activation sigmoïde, sont souvent appelés des perceptrons multicouche (ou MLP pour Multi-Layer Perceptron) [36].

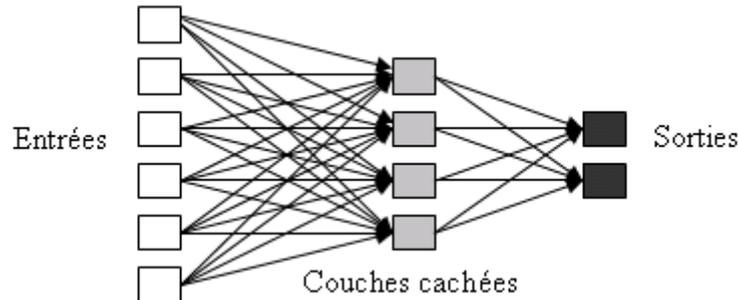
◆ Le perceptron multicouches « PMC » :

Le PMC est une extension du perceptron monocouche qui dispose d'une ou de plusieurs couches cachées. Les neurones y sont arrangés en couches successives : la première couche qui forme le vecteur des données d'entrée est appelée couche d'entrée tandis que la dernière couche qui produit les résultats est appelée couche de sortie. Toutes les autres couches qui se trouve au milieu sont appelées couches cachées [37].

Les neurones de la couche d'entrée sont connectés uniquement à la couche suivante tandis que les neurones des couches cachées ont la particularité d, être connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante, par contre il n'y a pas connexions entre les neurones elle-même dans n'importe quelle couche [38].

La présence d'une couche cachée dans le P.MC facilite la modélisation des relations non linéaires entre les entrées et la sortie [38].

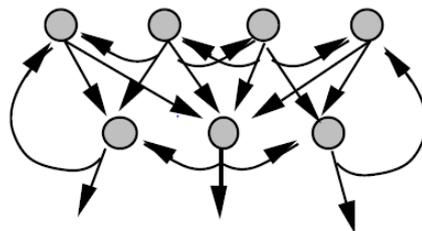
Le choix du nombre de couches cachées dépend généralement de la complexité du problème à résoudre, en théorie une seule couche cachée peut être suffisante pour résoudre un problème donné mais il se peut que le fait de disposer de plusieurs couches cachées permette de résoudre plus facilement un problème complexe. [38]



**Fig (III.6) :** Structure d'un réseau de neurones non bouclé.

### III.5.2. Réseau de neurone bouclé (ou récurrent) :

Un réseau de neurones bouclé est schématisé par un graphe des connexions qui est cyclique. Lorsqu'on se déplace dans le réseau en suivant le sens des connexions, il est possible de trouver au moins un chemin qui revient à son point de départ (un tel chemin est désigné sous le terme de "cycle"). Ainsi, un retard entier multiple de l'unité de temps choisie est attaché à chaque connexion d'un réseau de neurones bouclé (ou à chaque arrête de son graphe). Une grandeur à un instant donné ne peut pas être fonction de sa propre valeur au même instant. Tout cycle du graphe du réseau doit avoir un retard non nul. La figure (III.7) représente un exemple de réseau neurone bouclé.



**Fig (III.7) :** réseau neurone bouclé (récurrent)

### III.6. Apprentissage d'un réseau de neurone :

L'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurone durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré, l'apprentissage neuronal fait appel à des exemples de comportement. Dans le cas des réseaux de neurone artificiels on ajoute souvent à la description un modèle de l'algorithme d'apprentissage. Le modèle sans apprentissage présente en effet peu d'intérêt dans la majorité

des algorithmes actuels. Les variables modifiées pendant l'apprentissage sont les poids de connexion [22].

### ***III.6.1. Type d'apprentissage :***

Au niveau des algorithmes d'apprentissage, il a été défini deux grandes classes selon que l'apprentissage est dit supervisé ou non supervisé. Cette distinction repose sur la forme des exemples d'apprentissage. Dans le cas de l'apprentissage supervisé, les exemples sont des couples (Entrée, Sortie associée) alors que l'on ne dispose que des valeurs (Entrée) pour l'apprentissage non supervisé. [39]

#### ***III.6.1.1. Apprentissage Supervisé :***

L'apprentissage "supervisé" pour les réseaux de neurones formels, consiste à calculer les coefficients synaptiques de telle manière que les sorties du réseau soient, pour les exemples utilisés lors de l'apprentissage, aussi proches que possibles des sorties "désirées". Ils peuvent être la classe d'appartenance de : [23]

- La forme que l'on veut classer,
- La valeur de la fonction que l'on veut approcher,
- La sortie du processus que l'on veut modéliser,
- La sortie souhaitée du processus à commander.

On connaît donc, en tout point ou seulement en quelques points les valeurs que doit avoir la sortie du réseau en fonction des entrées correspondantes : C'est en ce sens que l'apprentissage est "supervisé". Cela signifie qu'un "professeur" peut fournir au réseau des "exemples" de ce que celui-ci doit faire. Ce type d'apprentissage sera adopté par la suite dans notre algorithme d'optimisation.

Cette optimisation se fait de manière itérative, en modifiant les poids en fonction du gradient de la fonction coût : Le gradient est estimé par une méthode spécifique aux réseaux de neurones, dite méthode de rétro-propagation, puis il est utilisé par l'algorithme d'optimisation proprement dit. Les poids sont initialisés aléatoirement avant l'apprentissage, puis modifiés itérativement jusqu'à obtention d'un compromis satisfaisant entre la précision de l'approximation sur l'ensemble d'apprentis. [40]

#### ***III.6.1.1.1. L'algorithme D'apprentissage :***

##### ***III.6.1.1.1.1. L'algorithme de rétro-propagation :***

L'algorithme d'apprentissage de rétro-propagation consiste dans un premier temps à circuler vers l'avant les données d'entrées jusqu'à l'obtention d'une entrée calculée par le réseau, puis la seconde étape est de comparer la sortie calculée à la sortie réelle connue [40]. Les poids sont modifiés de telle sorte qu'à la prochaine itération, l'erreur commise entre la sortie calculée est minimisée, en prenant en considération la présence des couches cachées, l'erreur est rétro-propagée vers l'arrière jusqu'à la couche d'entrée tout en modifiant la pondération.

### *III.6.1.2. Apprentissage non Supervisé : [22]*

Contrairement à l'apprentissage supervisé, seules les valeurs d'entrée sont disponibles dans ce type d'apprentissage non supervisé qui est appelé aussi « apprentissage par compétition ». Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto-adaptation du réseau afin d'engendrer des valeurs de sortie qui soient proches en réponse à des valeurs d'entrée similaires.

### *III.6.1.3. Apprentissage par renforcement : [41]*

Ce dernier nécessite un superviseur qui dicte au réseau quelle action est correcte dans telle situation. Dans l'apprentissage par renforcement, le réseau n'a pas de superviseur à sa disposition, il interagit avec l'environnement qui lui donne un retour quantitatif sur les valeurs de ses actions.

## *III.7. Les avantages et les inconvénients de RNA : [42]*

### *III.7.1. Les avantage :*

- Tolérance par rapport aux fautes (élimination d'un neurone...)
- Apprentissage automatique des poids
- Capacité de généralisation

### *III.7.2. Les inconvénients :*

- Représentation complexe
- Paramètres difficiles à interpréter physiquement (boite noire)

## *III.8. Application : [43]*

Les réseaux de neurones servent aujourd'hui à toutes sortes d'applications dans divers domaines. Par exemple, le développement d'un autopilote pour avion, ou encore un système de guidage pour automobile, la conception des systèmes de lecture automatique de chèques bancaires et d'adresses postales, la production des systèmes de traitement du signal pour différentes applications militaires, un système pour la synthèse de la parole, des réseaux sont aussi utilisées pour bâtir des systèmes de vision par ordinateur, pour faire des prévisions sur les marchés monétaires, pour

évaluer le risque financier ou en assurance, pour différents processus manufacturiers, pour le diagnostic médical, pour l'exploration pétrolière ou gazière, en robotique, en télécommunication, Bref, les réseaux de neurones ont aujourd'hui un impact considérable et, il y a fort à parier, que leur importance ira grandissant dans le futur.

### ***III.9. Conclusion :***

Dans ce chapitre nous avons présenté brièvement la théorie des réseaux de neurones artificiels. Au début, nous avons exposé le fonctionnement d'un neurone formel et d'un réseau de neurone. Nous avons aussi, présenté les types d'apprentissage d'un réseau bouclé et non bouclé. Finalement les avantages et les inconvénients de réseau de neurone, ainsi leur application.

## **Chapitre IV**

### **Simulation « Matlab-Simulink »**

### IV.1. Etude de réseau électrique de Très Haute Tension (THT) :

La simulation du réseau que nous allons étudier a été réalisée par le logiciel Matlab [44], elle est indiquée sur la figure (IV.1) comporte une ligne de transport très haute tension THT de 120Km supposée entre une source avec une tension de 400 KV et une charge avec une puissance de 10 KW.

Les réducteurs de mesure affichent les signaux de tension et de courant sur les nœuds du système. Quatre défauts ont été simulés: un défaut monophasé, un défaut biphasé à la terre, un défaut biphasé isolé et un défaut triphasé se sont produits au milieu de la ligne de transport.

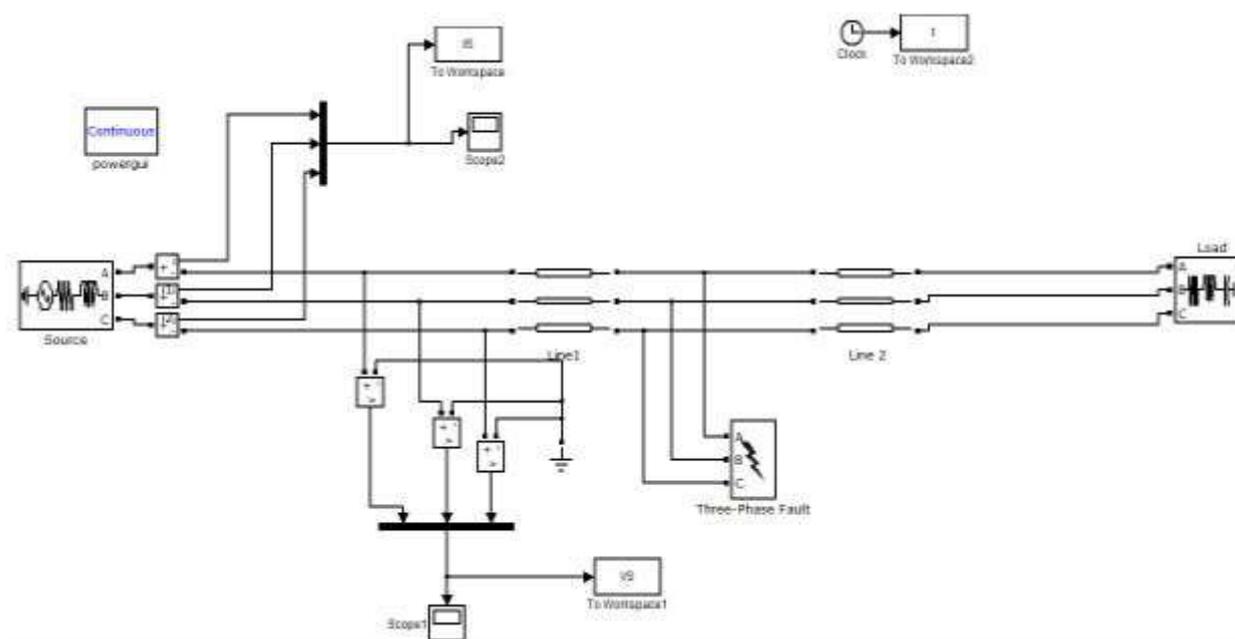


Fig (IV.1) : Réseau simulé sur « Matlab-Simulink »

### IV.2. Paramètre de réseau électrique :

Les paramètres détaillés de simulation sont les suivantes :

- ◆ Les paramètres de source S :

Connexion Yg                       $f = 50$  HZ  
 $U = 400$  KV                          angle de phase =  $20^\circ$

- ◆ Les paramètres de la charge :

$P = 1000$  W                           $E_n = 1000$  V                           $f = 50$  HZ  
 $Q_L = 100$  Var                           $Q_C = 100$  Var

- ◆ Les paramètres de la ligne de transport :

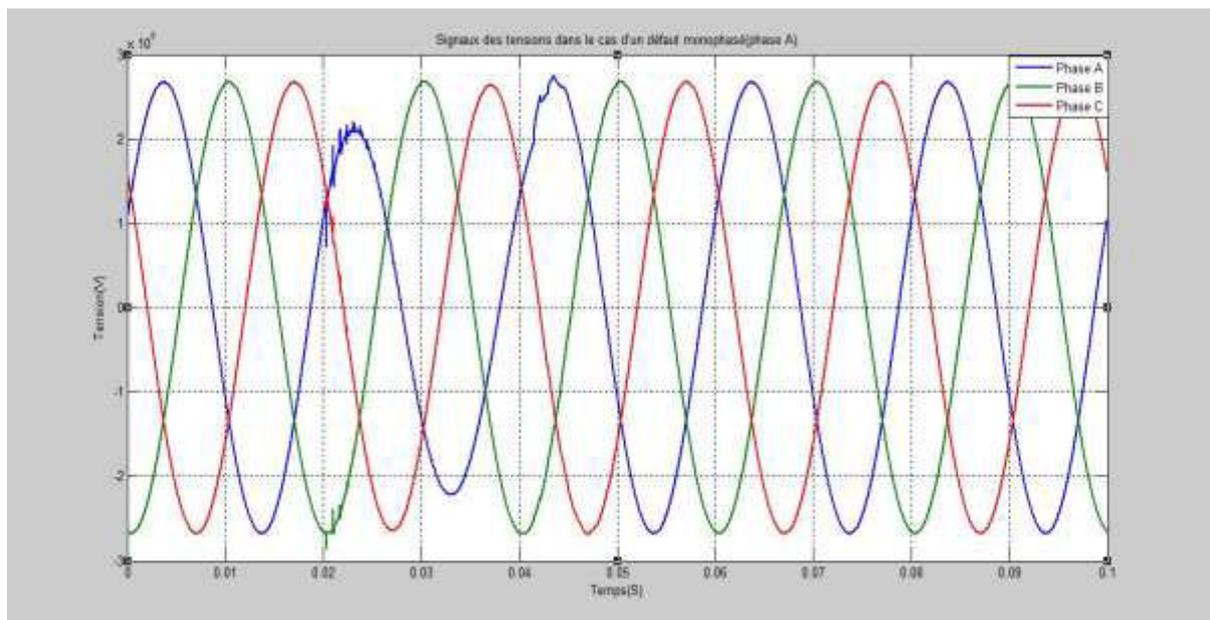
Nombre de phase : 3                           $f = 50$  HZ  
 $R_1 = 0.1$   $\Omega$ /Km                           $R_0 = 0.3$   $\Omega$ /Km  
 $L_1 = 1.11e-3$  H/Km                           $L_0 = 3.31e-3$  H/Km  
 $C_1 = 10.41e-9$  F/Km                           $C_0 = 3.47e-9$  F/Km                           $L = 120$  KM

### IV.3. Résultats de simulation :

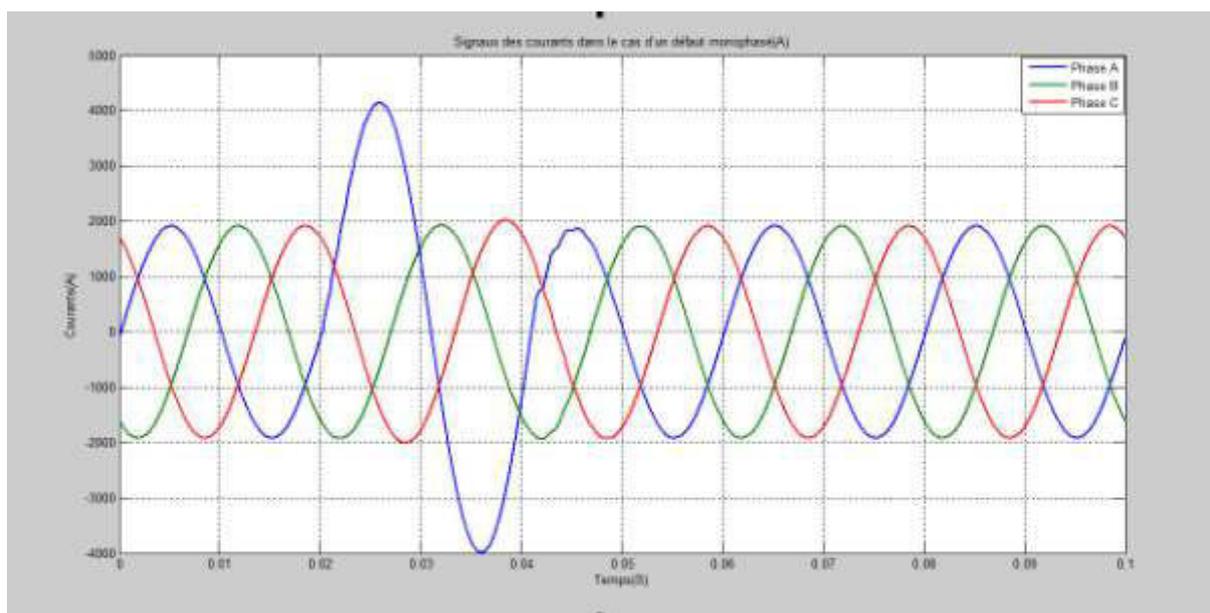
Les figures suivantes représentent respectivement les signaux des courants et tensions des trois phases, pour un défaut à une distance de 100 km à partir de la source S.

#### IV.3.1. Défaut monophasé :

Les signaux des tensions et des courants pour un défaut monophasé (phase A- terre) sont montrés sur les figures (IV.2 et IV.3) respectivement.



**Fig (IV.2) :** Signaux des tensions pour un défaut monophasé (phase A à la terre)

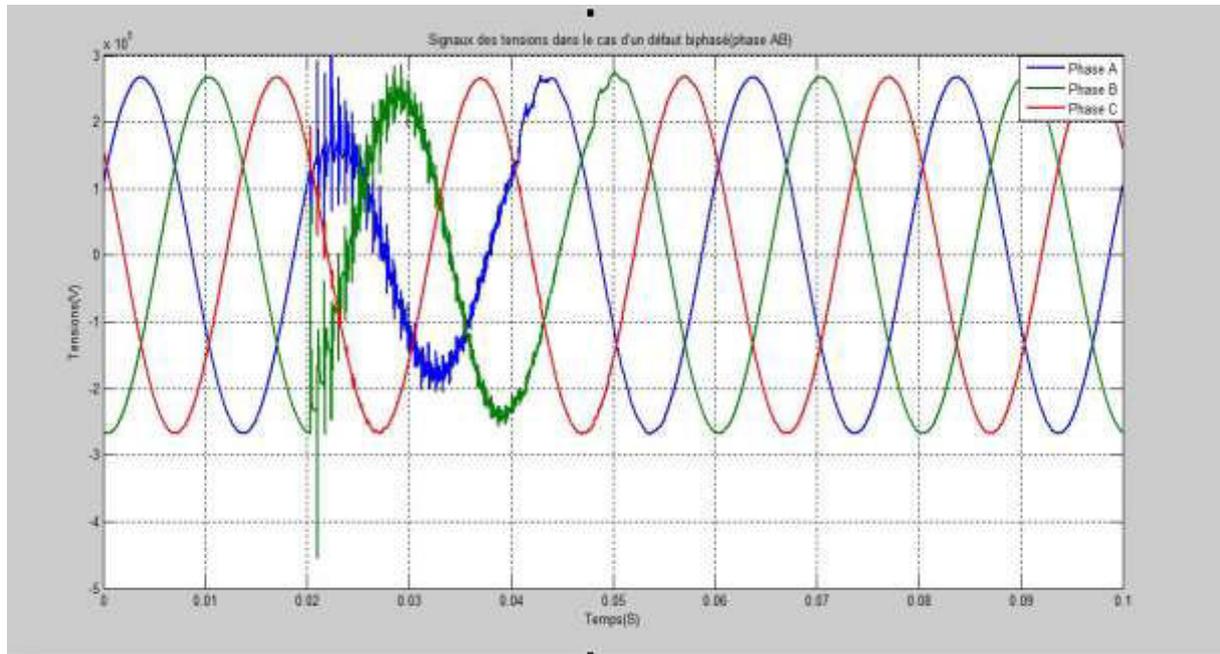


**Fig (IV.3) :** Signaux des courants pour un défaut monophasé (phase A à la terre)

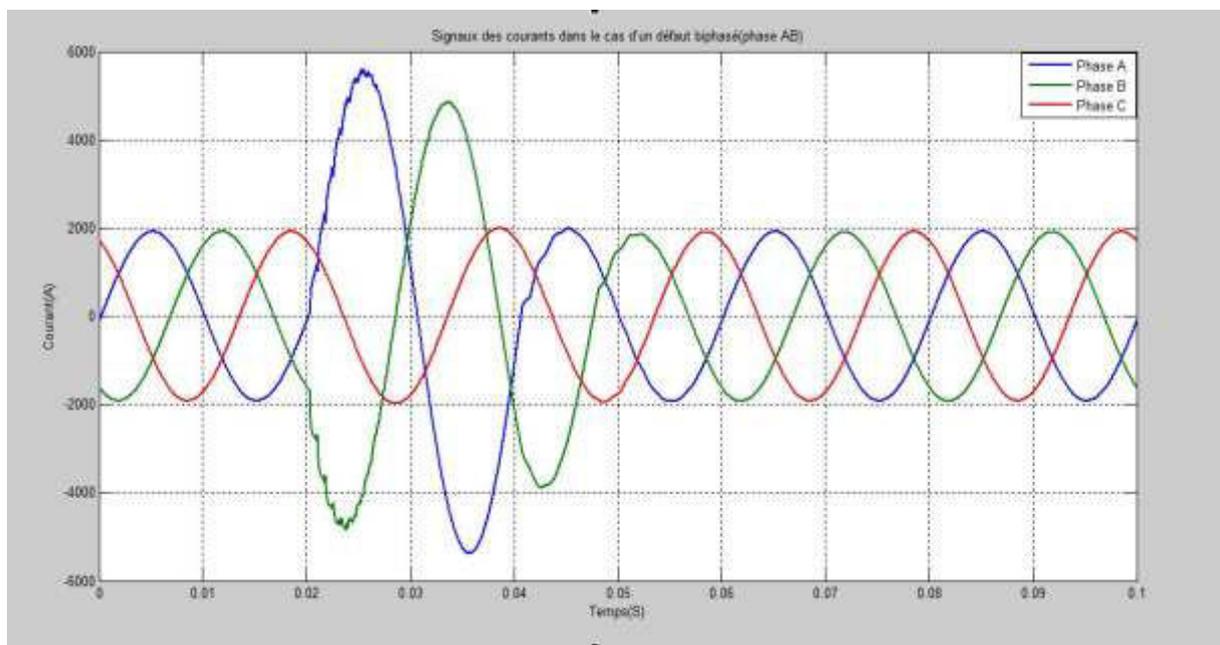
### IV.3.2. Défaut biphasé :

- Défaut biphasé avec terre :

Les signaux des tensions et des courants pour un défaut biphasé (phase A-B à la terre) sont montrés sur les figures (IV.4 et IV.5) respectivement.



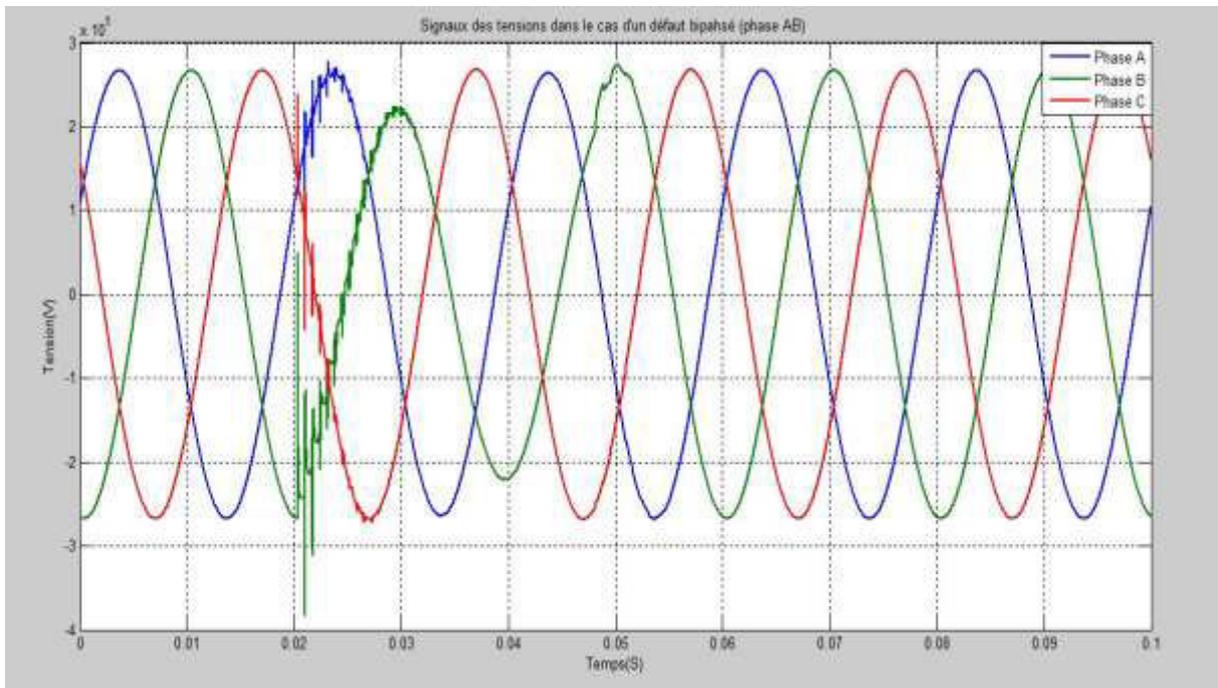
**Fig (IV.4) :** Signaux des tensions pour un défaut biphasé (phase A-B à la terre)



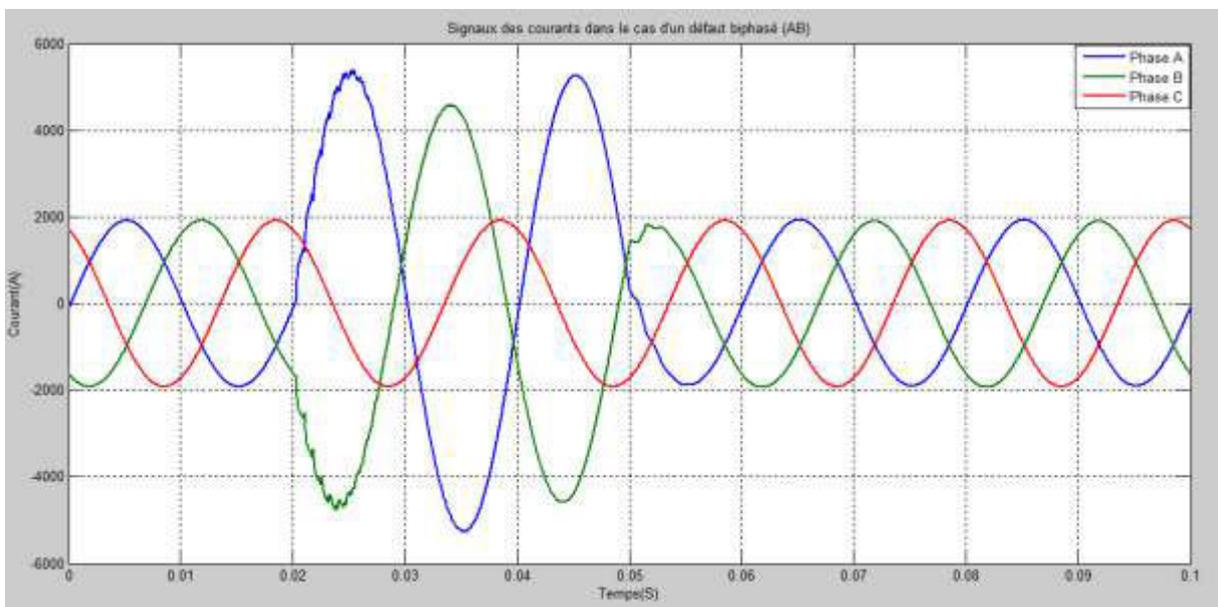
**Fig (IV.5) :** Signaux des courants pour un défaut biphasé (phase A-B à la terre)

- Défaut biphasé sans terre :

Les signaux des tensions et des courants pour un défaut biphasé (phase A-B sans terre) sont montrés sur les figures (IV.6 et IV.7) respectivement.



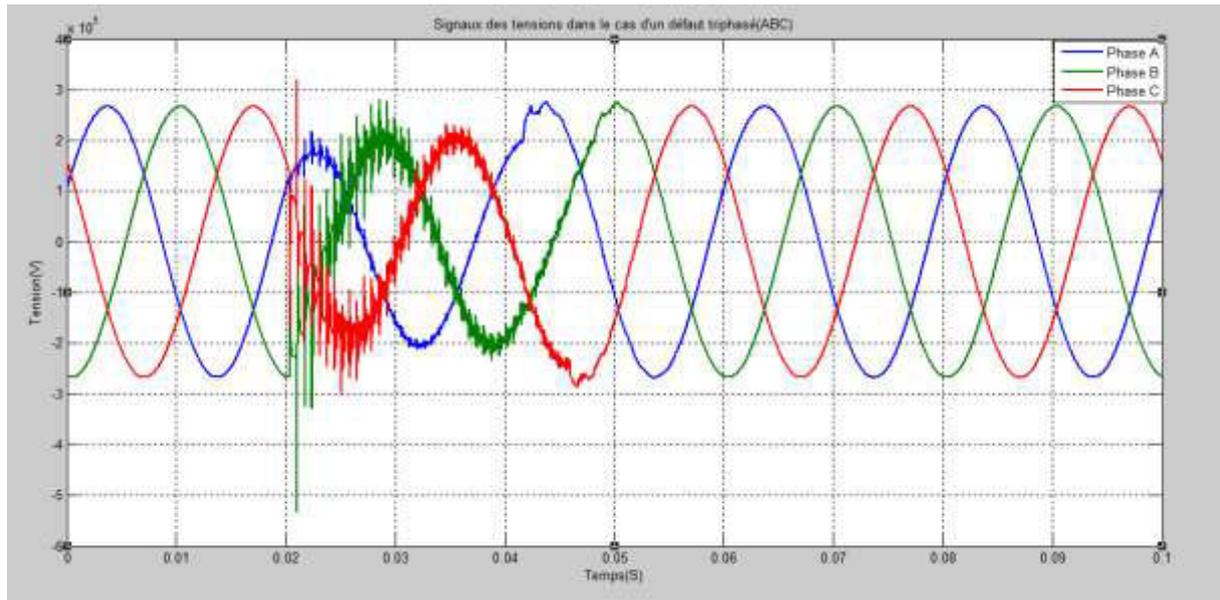
**Fig (IV.6) :** Signaux des tensions pour un défaut biphasé (phase A-B sans terre)



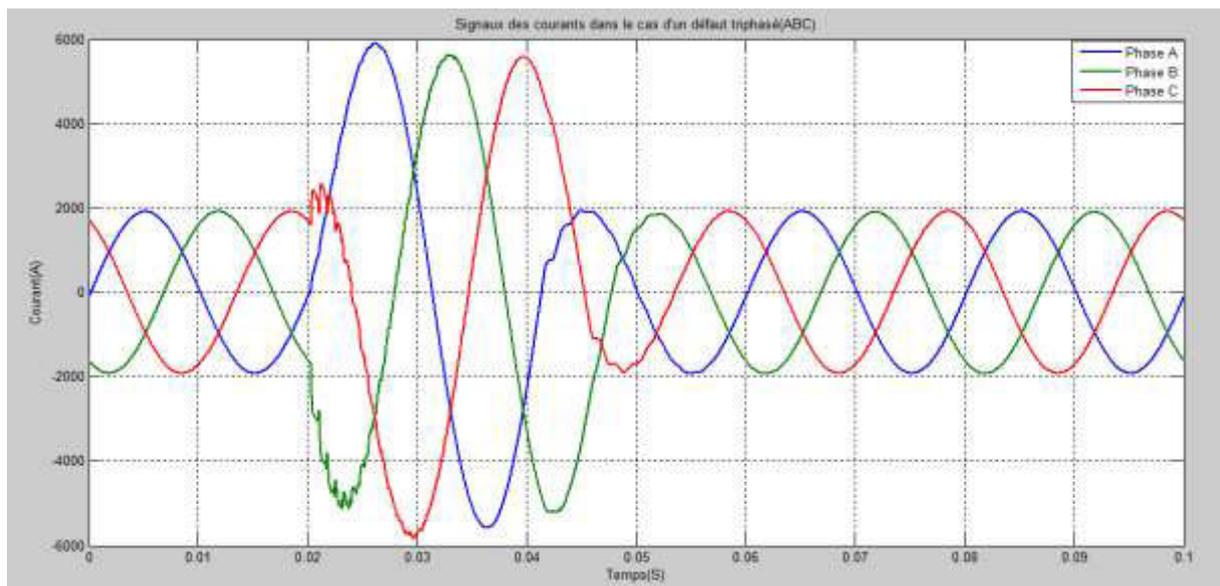
**Fig (IV.7) :** Signaux des courants pour un défaut biphasé (phase A-B sans terre)

### IV.3.3. Défaut triphasé :

Les signaux des tensions et des courants pour un défaut triphasé (phase A-B-C) sont montrés sur les figures (IV.8 et IV.9) respectivement.



**Fig (IV.8) :** Signaux des tensions pour un défaut triphasé (phase A-B-C à la terre)



**Fig (IV.9) :** Signaux des courants pour un défaut triphasé (phase A-B-C à la terre)

#### ***IV.4. Discussion des résultats de simulations :***

Lors d'un défaut il y'a une modification accidentelle affectant le fonctionnement normal d'un réseau ,c'est-à-dire une augmentation ou une diminution des grandeurs nominales (tension, courant) dans un réseau électrique constitue un défaut ou une perturbation ,ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension dont l'amplitude et la durée sont en fonction de la forme monophasé ou polyphasé des défauts ainsi que leur emplacement ,de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

**IV.4.1. Défaut monophasé :**

Le défaut monophasé est créé par un court-circuit entre la phase A et la terre à travers d'une résistance.

Dans ce cas on observe une perturbation au niveau du courbe de tension (chute de tension) résultant d'un défaut en revanche il y a une élévation de la courbe de courant de défaut, car celui-ci est proportionnel à la tension existant à l'endroit du défaut.

**IV.4.2. Défaut biphasé à la terre :**

Le défaut biphasé à la terre se produit entre deux phase A, B et la terre à traverse une résistance, dans les deux courbes il y'a une augmentation des grandeurs nominales (tension, courant) des phases A, B, ce défaut est asymétrique car on a deux phases seulement.

**IV.4.3. Défaut biphasé sans terre :**

C'est un court-circuit entre deux phases A et B, les deux courbes montrent une perturbation au niveau de la courbe de tension et une élévation au niveau de la courbe de courant (phase A, B) à l'endroit de défaut.

**IV.4.4. Défaut triphasé :**

Il est constitué par la mise en court-circuit des trois phases A, B et C, une perturbation au niveau des courbes de tension et une augmentation au niveau des courbes de courant.

## ***CHAPITRE V***

# ***DETECTION ET CLASSIFICATION DES DEFAUTS PAR RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS***

### V.1. Introduction :

La détection et la classification des défauts dans les réseaux électriques jouent un rôle important dans le fonctionnement correct d'un relais de protection.

Lorsqu'un défaut apparaît dans une ligne de transport, le courant de défaut est, toujours, supérieur au courant nominal de charge. Plusieurs méthodes et techniques numériques conventionnelles ont été utilisées et proposées pour la détection et la classification des défauts [45].

Récemment, les techniques modernes ou d'intelligence artificielle, en l'occurrence les Réseaux de Neurone Artificielle (RNA) ont été utilisées par plusieurs auteurs pour la détection et la classification des défauts dans les réseaux électriques [46]-[47]. Dans ce chapitre, nous réalisons des classifieurs et des détecteurs de défaut, sous l'environnement Matlab, basé sur la méthode des RNA en utilisant les valeurs échantillonnées des signaux des courants et des tensions. Ces derniers nous permettent de détecter et classifier les différents types de défauts dans les réseaux électriques.

### V.2. Réseau électrique considéré :

La figure 1 présente le réseau considéré dans cette étude, pour évaluer les performances du détecteur de défaut proposé. La ligne de transport est de 400 [kV] et de longueur de 120 [km] alimentée des 2 extrémités par les sources GS et GR. La ligne est représentée par des paramètres distribués avec la prise en compte de la dépendance de ces paramètres en fonction de la fréquence.

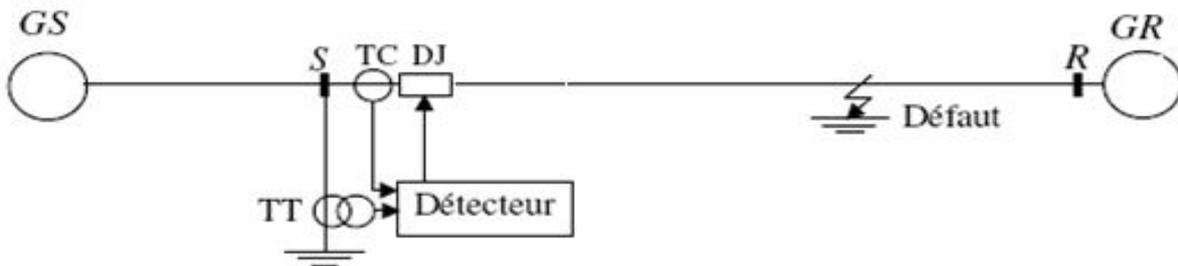


Fig (V.1) : Réseau électrique considéré [46].

### V.3. Simulations :

La simulation de la ligne en défaut a été réalisée par le logiciel Matlab pour générer les signaux des tensions et des courants pour différents types et conditions de défaut. Les signaux de courants et de tensions utilisés par le détecteur de défauts sont générés au point S. Un processus de prélèvement d'échantillonnage de 10 [kHz] est appliqué. Ce taux d'échantillonnage est compatible avec les taux, actuellement, utilisés dans les relais numériques. Une fenêtre de données est utilisée comme entrée du RNA qui représente le détecteur de défauts.

### V.4. détection de défaut :

Nous présentons dans cette section un PMC (perceptron multicouche) pour la détection de défaut de court circuit dans la ligne THT .Nous avons réalisé des détecteur a base des RNAs (perceptron multicouches) en utilisant la rétro propagation comme un algorithme d'apprentissage.

#### ***V.4.1. Entrées et Sorties des RNAs :***

Désignons par  $V_{Sa}$ ,  $V_{Sb}$  et  $V_{Sc}$  les tensions des phases a, b, c et  $I_{Sa}$ ,  $I_{Sb}$ ,  $I_{Sc}$  les courants de lignes, le courant homopolaire est désigné par  $I_0$ .

Nous avons réalisé plusieurs essais tout en variant le nombre de paramètre d'entrée (les tensions et courants) pour déférente défaut de court circuit et les fonctions

La sortie indexée avec la valeur avec 1 pour indiquer la présence d'un défaut ou 0 pour la situation sans défaut.

Détecteur à 06 entrées : ( $V_{Sa}$ ,  $V_{Sb}$ ,  $V_{Sc}$ ) et ( $I_{Sa}$ ,  $I_{Sb}$ ,  $I_{Sc}$ ).

Détecteur à 04 entrées : ( $I_{Sa}$ ,  $I_{Sb}$ ,  $I_{Sc}$ ,  $I_0$ ).

Détecteur à 03 entrées : ( $I_{Sa}$ ,  $I_{Sb}$ ,  $I_{Sc}$ ).

#### ***V.5. base d'apprentissage :***

La base d'apprentissage affecte la performance des détecteurs neuronaux.

Nous choisissons 500 échantillons pour chacune des deux cas (normale et avec défaut). 10001 au total pour former la base d'apprentissage, nous avons sélectionné 500 échantillons pour les cas sans défaut et 500 échantillons pour les cas avec défaut.

La fonction d'activation choisie par chaque neurone était la fonction sigmoïde.

Les poids et les biais sont initialisés avec des nombres aléatoires entre -1 et1.

#### ***V.6. Apprentissage de défaut :***

Nous appliquons sur le détecteur un apprentissage de défaut, en utilisant la règle de la rétro propagation par l'algorithme de la descente de gradient.

L'algorithme de la rétro propagation est un algorithme d'apprentissage supervisé et le processus d'apprentissage vise à réduire l'erreur quadratique globale du réseau à un minimum. Désormais, la rétro propagation de RNA est souvent sollicitée en raison de sa simplicité.

La descente de gradient peut être appliquée lorsque l'on évalue la fonction à l'aide d'une base d'apprentissage. Le vecteur de gradient est calculé avec tous les exemples de la base

d'apprentissage à chaque itération, et le nouveau vecteur de paramètres est déterminé après avoir parcouru toute la base.

Avant de commencer la phase d'apprentissage, Plusieurs paramètres ont été ajustés.

Le nombre d'itération fixé à 500, a permis de réaliser un apprentissage satisfaisant.

Les poids synaptiques initiaux ont été choisis d'une manière aléatoire.

Le seuil de l'erreur globale est fixé à 0.01, après plusieurs essais expérimentaux.

Le pas d'apprentissage égale à 0.1.

L'apprentissage a été poursuivi jusqu'à ce que l'erreur atteint le seuil déjà fixé.

À la fin de la phase d'apprentissage, le détecteur de défaut sera testé sur une base de données de test.

### V.7. Présentation des résultats de la détection de défaut :

Nous présentons les résultats pour plusieurs critères statistiques ont été calculés comme: la sensibilité, la spécificité et taux de classification correct (voir les tableaux V.2 et V.3 et V.4). Les figures (V.2, V.3, V.4) représente les structures du détecteurs de défauts à 06 entrées, 04 entrées, 03 entrées respectivement.

Les figures (V.5, V.6, V.7) présentes des histogrammes de la performance de détecteur pour les (06 entrées, 04 entrées, 03 entrées) et la figure (V.8) présentent des histogrammes de comparaison entre les performances de détecteurs de défauts de court-circuit pour les 11 défauts ajustés dans cette étude.

$$S_e(i) = \frac{VP(i)}{VP(i) + FN(i)} \dots\dots\dots (V.1)$$

$$S_p(i) = \frac{VN(i)}{VN(i) + FP(i)} \dots\dots\dots (V.2)$$

Où les grandeurs VP(i), FN(i), VN(i), FP(i) sont définies dans le tableau (V.1):

	Présence d'événement de classe i	Absence d'événement de classe i
Classification Positive	Vrai Positif VP(i)	Faux Positif FP(i)
Classification Négative	Faux Négatif FN(i)	Vrai Négatif

**Tab (V.1) :** Matrice de confusion

La sensibilité  $S_e(i)$  représente la probabilité de bonne classification de la classe i et spécificité  $S_p(i)$  est une mesure indirecte de la probabilité de fausse alarme.

Pour chaque détecteur on a effectué plusieurs essais pour choisir le meilleur :

♦ *Détecteur à 06 entrées :*

détecteur	Nombre neurone caché	Fonction d'activation	Sp1	Se1	Cd
Netss1	13	Tansig-tansig	81.63	63.43	64.74
Netss2	20	Tansig-purlin	95.13	45.93	53.65
Netss3	5	Tansig-purlin	33.77	85.60	77.08
Netss4	5	Tansig-tansig	43.36	84.71	78.58
Netss5	5	Tansig-purlin	42.54	89.77	81.89

Tab (V.2) : Performance de détecteur à 06 entrées

Pour chaque essai on a changé la fonction d'activation et le nombre de neurone caché. Comme un meilleur résultat on a le **netss5** avec un taux de détection correct de **81.89** et **5** neurones cachés et fonction d'activation **tansig** pour les coches cachés et **purelin** pour la couche de sortie.

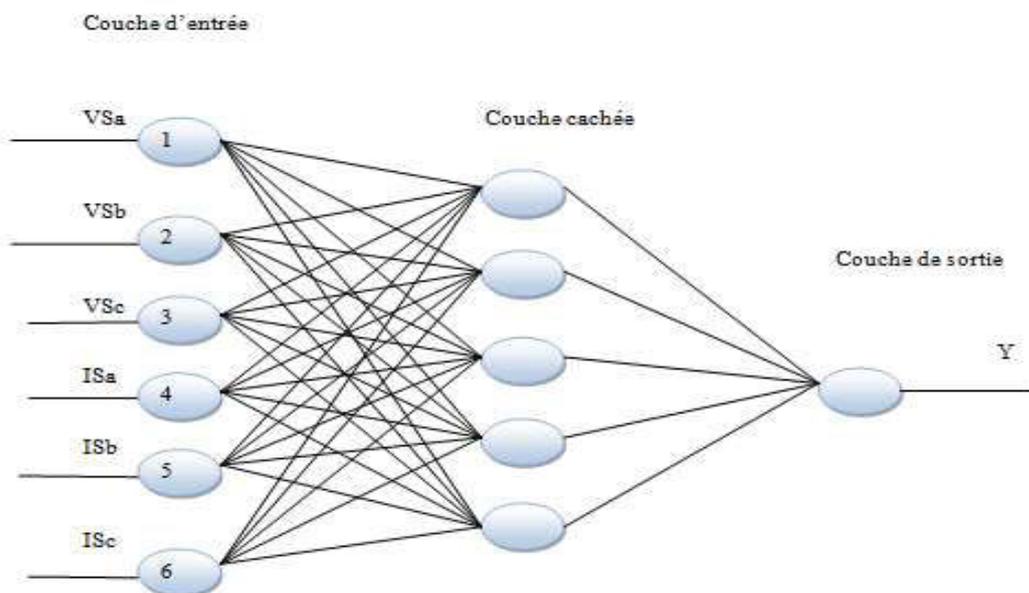
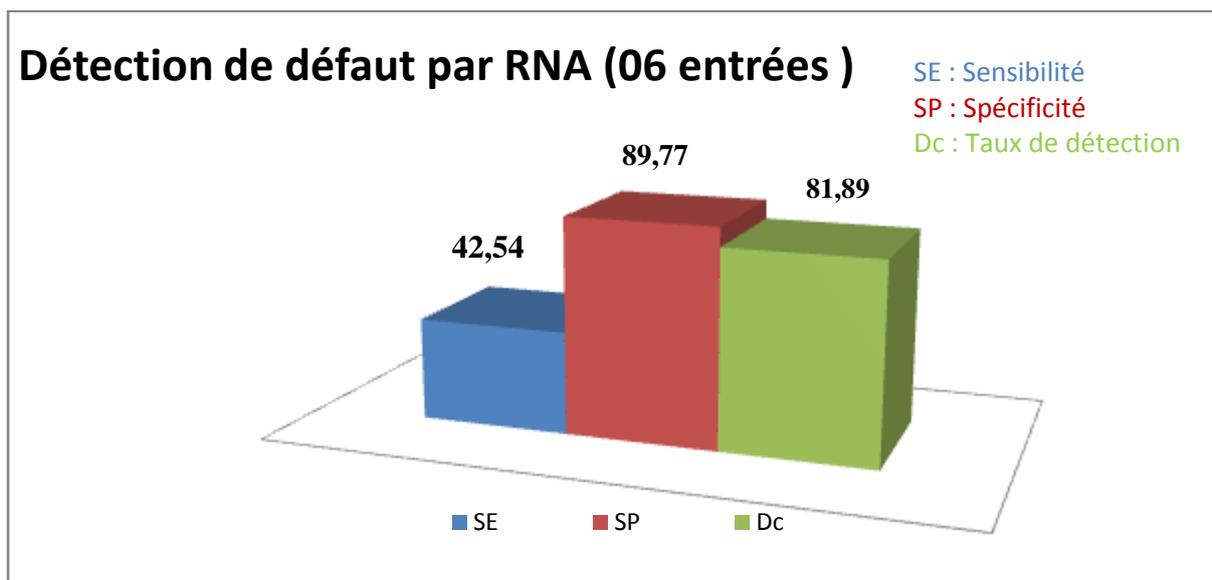


Fig (V.2) : Structure du détecteur à 06 entrées



**Fig V.3 :** Performance de détecteur à 06 entrées

D’après les résultats obtenus pour le détecteur à 06 entrées on constate que la sensibilité est 42,54% et la spécificité 89,77% et taux de détection 81,89%. On a jugé qu’on a réalisé un détecteur acceptable.

◆ *Détecteur à 04 entrées :*

Détecteur	Nombre de neurone caché	Fonction d'activation	Sp1	Se1	cd
Netss1	20	Tansig-tansia	50.97	80.64	75.67
Netss2	16	Tansig-purlin	32.91	89.81	80.54
Netss3	15	Tansig-tansia	63.63	82.26	79.19
Netss4	12	Tansig-tansig	46.81	73.90	69.82
Netss5	12	Tansig-tansia	32.26	67.89	62.14

**Tab (V.3) :** Performance de détecteur à 04 entrées

Pour chaque essai on a changé la fonction d'activation et le nombre de neurone caché. Comme un meilleur résultat on a le **netss2** avec un taux de détection correct de **80.54** et **16** neurones cachés et fonction d'activation **tansig** pour les coches cachés et **purelin** pour la couche de sortie.

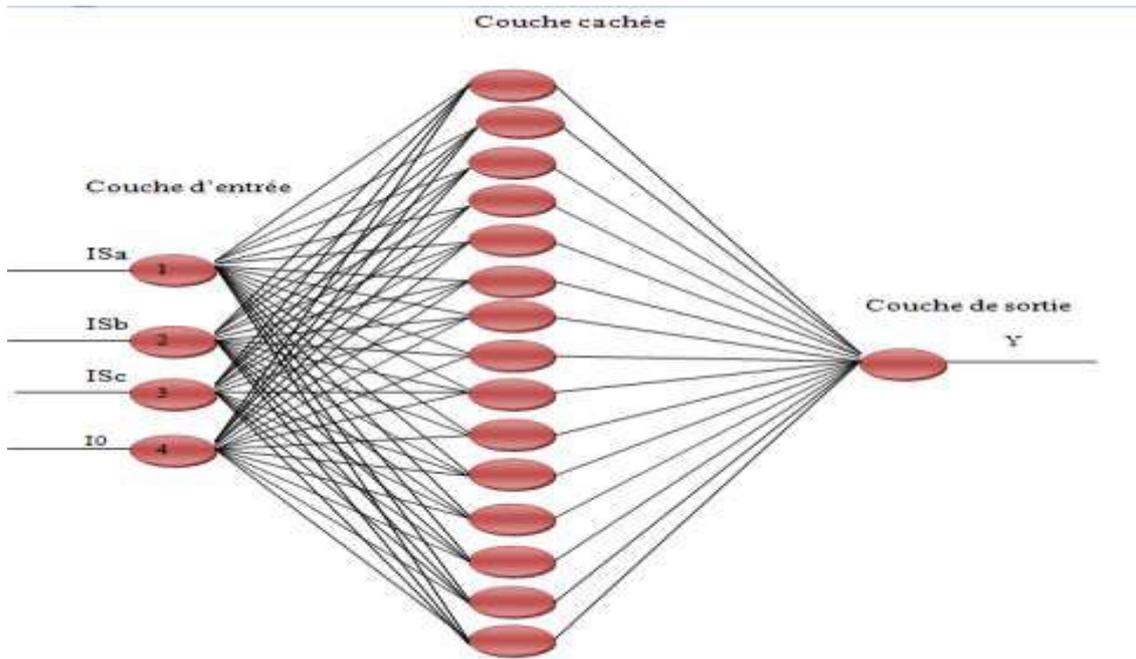


Fig (V.4) : Structure de détecteur à 04 entrées

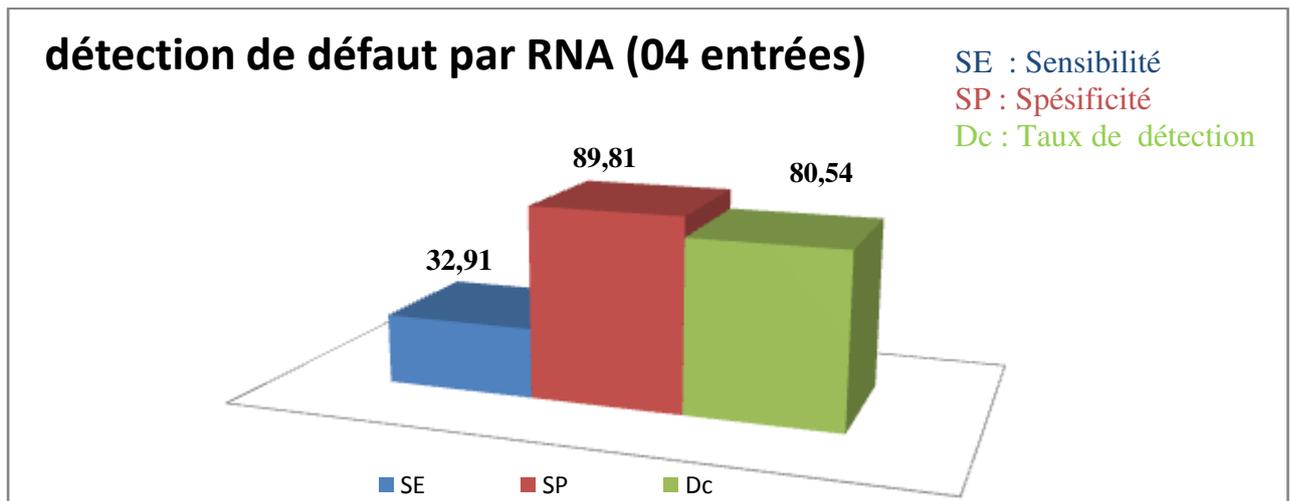


Fig (V.5): Performance de détecteur à 04 entrées

D'après les résultats obtenus pour le détecteur à 04 entrées on constate que la sensibilité est 32,91% et la spécificité 89,81% et taux de détection correct 80,54%. On a jugé qu'on a réalisé un détecteur acceptable.

◆ *Détecteur à 03 entrées :*

Détecteur	Nombre de neurone de couche cachée	Fonction d'activation	Se1	Sp1	Cd
Netss1	5	Tansig-purlin	91.67	68.72	71.78
Netss2	15	<u>Tansig-tansig</u>	54.70	85.16	79.79
Netss3	15	Tansig-purlin	64.14	83.68	77.04
Netss4	15	Tansig-purlin	52.36	85.79	80.27

**Tab (V.4) :** Performance de détecteur à 03 entrées

Pour chaque essai on a changé la fonction d'activation et le nombre de neurone caché. Comme un meilleur résultat on a le **netss4** avec un taux de détection correct de **80.27** et **15** neurones cachés et fonction d'activation **tansig** pour les coches cachés et **purelin** pour la couche de sortie.

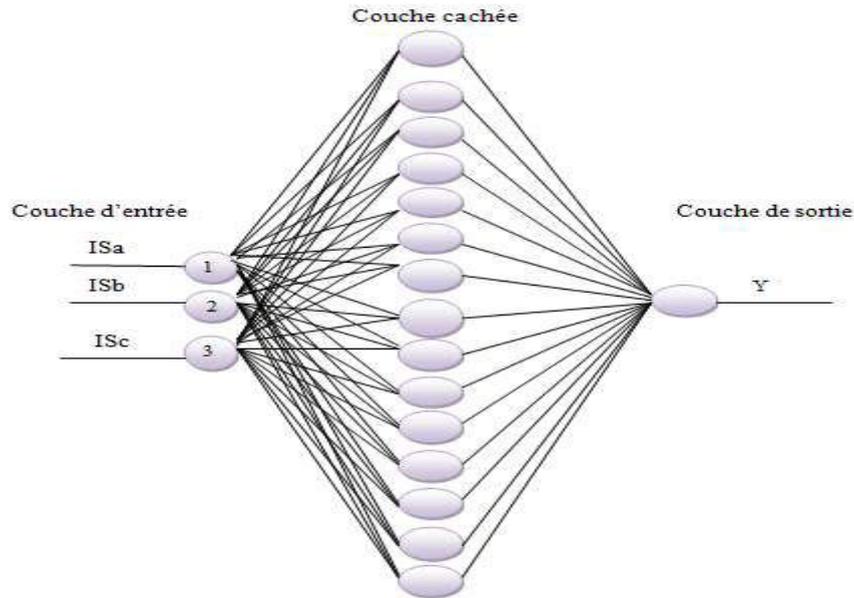


Fig (V.6) : Structure de détecteur à 03 entrées

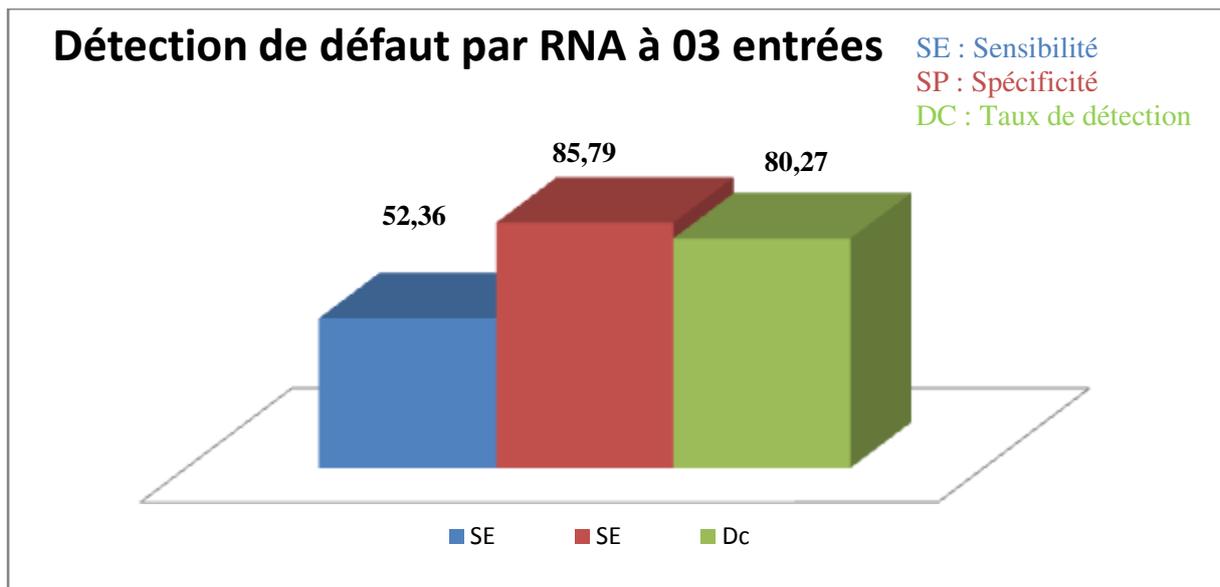


Fig (V.7): Performance de détecteur à 03 entrées

D'après les résultats obtenus pour le détecteur de défauts par RNA à 04 entrées on constate que la sensibilité est 52,36% et la spécificité 85,79% et taux de détection correct 80,27%.

On a juge qu'on a réalisé un détecteur performant.

◆ Comparaison des résultats de la détection :

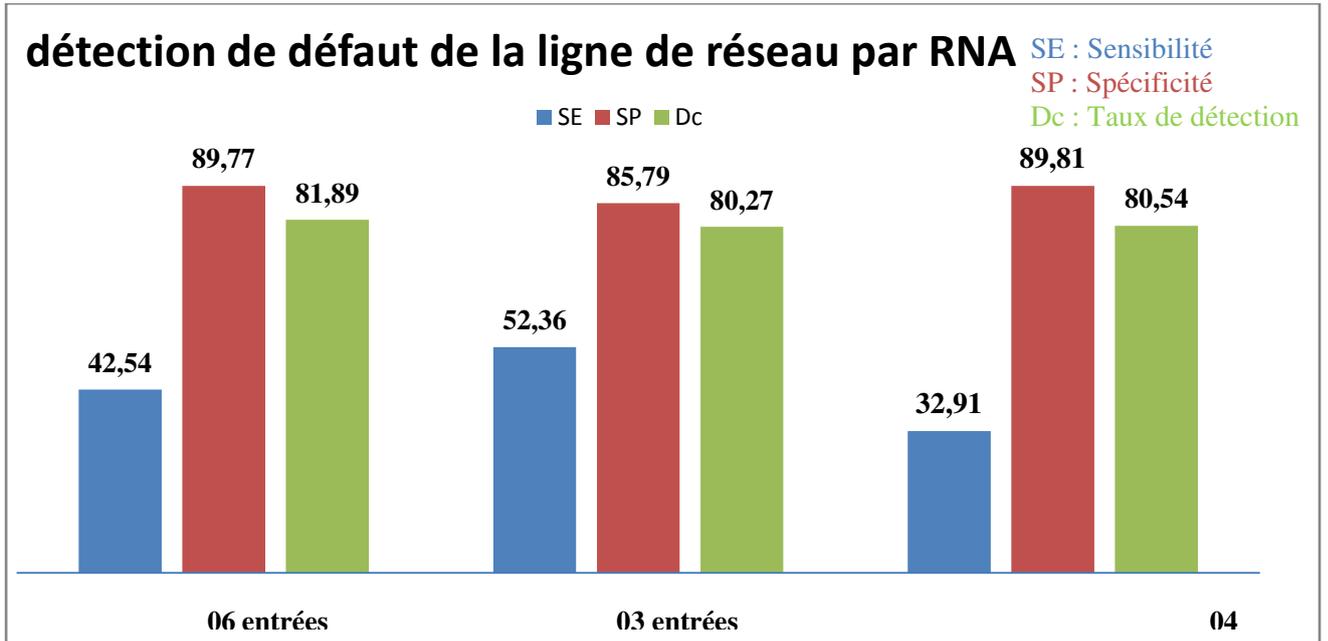


Fig (V.8) : Comparaison des performances de la détection des défauts

Nous présentons une comparaison entre les trois détecteurs sous forme histogramme. On atteint les mêmes résultats (les résultats sont très proches) avec des taux de détection correct acceptables.

◆ La sortie de la détection des défauts :

La sortie du RNA est esquissée par la figure (V. 9). De cette figure, nous remarquons que nous avons un bon apprentissage qui va nous conduire à de bons résultats du test.

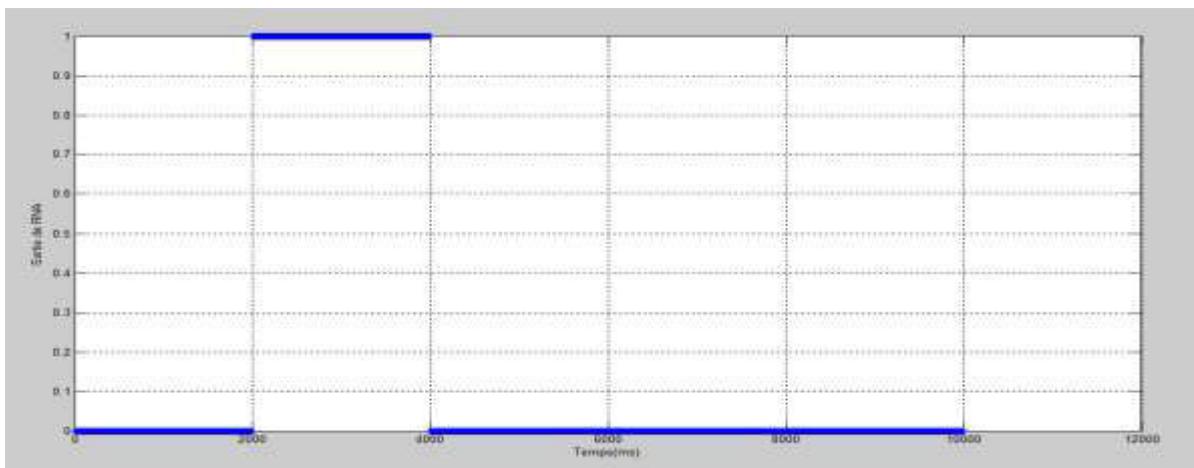


Fig (V.9) : Sortie RNA en fonction du temps

Nous pouvons voir, clairement, que le détecteur de défauts est capable de produire une réponse correcte à l'état de la ligne sans défaut et à l'état avec défaut.

Rappelons que la valeur '0' de la sortie du RNA correspond à l'état de la ligne sans défaut et la valeur '1' correspond à l'état de la ligne en défaut.

Après la détection on a essayé de faire la classification pour distinguer les 11 défauts.

### V.8. la classification de défaut :

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

Dans cette partie nous avons montré la puissance et la précision des réseaux de neurones de type perceptron multicouches (PMC) pour la classification de défaut de court-circuit dans les lignes THT. Nous avons réalisé des classifieur a base des RNAs (perceptron multicouches) en utilisant la rétro propagation comme un algorithme d'apprentissage.

Par ces résultats, nous pouvons voir un processus de classifieur automatique qui pourra classifier tous les types de défauts.

#### V.8.1. les entrées et les sorties de la classification :

Désignons par VSa, VSb et VSc les tensions des phases a, b, c et ISa, ISb, ISc les courants de lignes. Nous avons réaliser un classifieur à 06 entrées (VSa, VSb, VSc, ISa, ISb, ISc) et avec couche de sortie à 04 neurone pour définir l'état de la ligne.

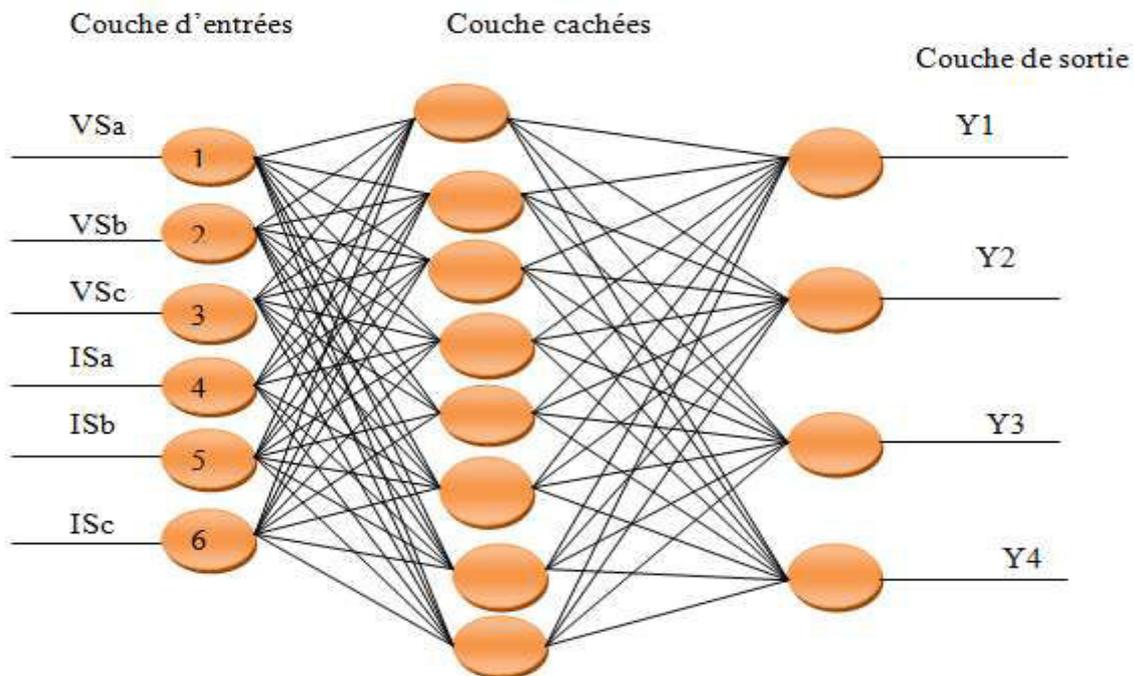


Fig (V.10) : Structure de classifieur de défaut à 06 entrées

On a désigné la de sortie par 04 neurone avec un codage binaire de 04 bits qui se présente sur le tableau ci-dessous :

Pas de défaut	0	0	0	0
Défaut phase A à la terre	0	0	0	1
Défaut phase B à la terre	0	0	1	0
Défaut phase C à la terre	0	0	1	1
Défaut phase AB à la terre	0	1	0	0
Défaut phase AC à la terre	0	1	1	0
Défaut phase BC à la terre	0	1	0	1
Défaut phase AB à la terre	0	1	1	1
Défaut phase AC à la terre	1	0	0	0
Défaut phase BC à la terre	1	0	0	1
Défaut phase ABC à la terre	1	0	1	0
Défaut phase ABC sans la terre	1	0	1	1

**Tab(V.5) :** Codage de sorties de classification des défauts

**V.9. Présentation des résultats de la classification :**

Le tableau (V.5) suivant présente le résultat d'apprentissage (VP les cas vrais positive, VN les cas vrais négative, CC le taux de classification). La figure (V.11) montre la structure de classifieur des défauts à 06 entrées et 4 sorties, la sortie est codée par le tableau suivant (V.6).

Classifieur	VP	VN	CC	erreur	Nombre de neurone caché	Fonction d'activation	Nombre de poche
Netssd5	29551	69460	29.84	0.23	6	Tansig-tansig	1000
Netssd7	20737	78274	20.94	0.14	7	Tansig-tansig	500
Netssd8	25021	73990	25.27	0.16	7	Tansig-tansig	500
Netssd13	61635	37376	62.25	0.115	2	Logsig-logsig	500
Netssd22	82229	16782	83.05	0.220	8	Logsig-logsig	1000

**Tab (V.6) :** Nombre de VP, VN de classifieur de défaut (06 entrées) par RNA

Ce tableau présente le résultat d'apprentissage qui nous allons fait, on observe que dans le classifieur **netssd22** le classifieur donne le meilleur résultat de taux de classification **83.05%**, alors on peut dire qu'on a un bon classifieur.

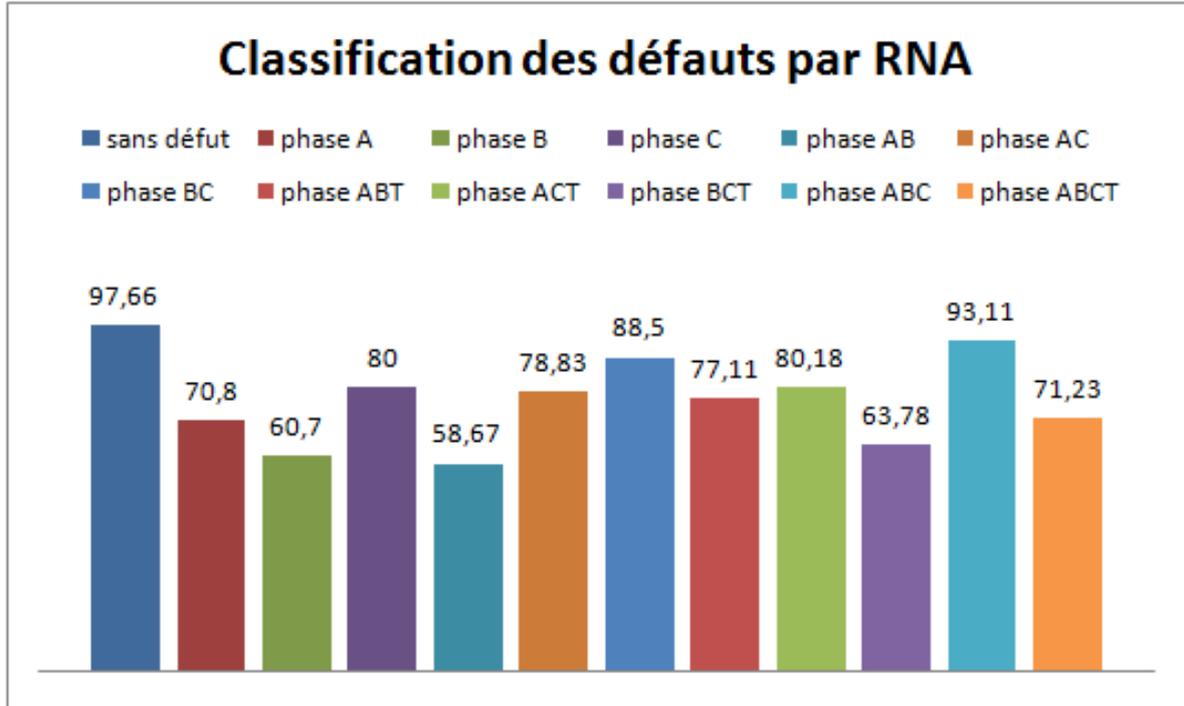
**Taux de classification correct pour chaque défaut**

Type de défaut	Taux de classification correct
Pas de défaut	97.66%
Défaut phase A à la terre	70.80%
Défaut phase B à la terre	60.70%
Défaut phase C à la terre	80.00%
Défaut phase AB à la terre	58.67%
Défaut phase AC à la terre	78.83%
Défaut phase BC à la terre	88.50%
Défaut phase AB sans terre	77.11%
Défaut phase AC sans terre	80.18%
Défaut phase BC sans terre	63.78%
Défaut phase ABC à la terre	93.11%
Défaut phase ABC sans terre	71.23%

**Tab (V.7) :** Taux de classification correct pour chaque défaut

On a obtenu des taux de classification vraiment acceptable.

**Performance de classifieur :**



**Fig (V.11) :** Performance de classifieur de chaque défaut par RNA

### ***V.10. Conclusion :***

Dans ce travail, nous avons utilisé les RNA pour la détection et classification de défaut dans les réseaux électriques. Nous avons proposé dans ce chapitre un détecteur neuronal basé sur l'algorithme de rétro-propagation.

Nous pouvons dire qu'à l'aide du Matlab & par l'utilisation de la méthode des RNA, on peut détecter et classifier n'importe quel défaut qui peut se produire dans les réseaux électriques.

## ***CONCLUSION GENERALE***

## Conclusion Générale

---

### *Conclusion Générale :*

Le travail présenté montre l'intérêt des relais numérique pour les réseaux transport d'énergies électrique car ils assurent leur protection contre les différents types de défauts de courts circuits. De ce fait les relais doivent être sensibles, rapides et fiables. Les relais numériques les lignes THT sont multifonction ; ils détectent les court circuits puis les classifiés selon leur types monophasé, biphasé et triphasé quelle soit la phase affectés afin de localisé et par la suite éliminé les défauts.

Nous avons effectué des Simulation (Programmation Matlab) pour réaliser un détecteur et classifieur Des défauts de court-circuit dans les lignes THT basé sur des réseaux de neurone artificiels RNAs.

Une étude paramétrique à été réalisé basée sur la variabilité des nombre de couches cachés et la fonction d'activation et le nombre d'entrée, et à travers les résultats relevés nous avons tracée des histogrammes qui montré le degré de la performance attribué à celui de 06 entrées.

D'après les résultats relevés, on peut dire qu'on conçu un détecteur et classifieur avec un taux acceptable.

Enfin nous espérons que ce modeste travail malgré que le domaine de la protection est vaste et présente beaucoup de paramètres, soit un bon guide pour nos successeurs et qu'ils utilisent d'autres technique de l'intelligence artificielle tels neuro-flous, les algorithmes génétiques pour réalisé un détecteur, classifieur et localisateur des défauts de court circuit.

## **Résumé :**

Les systèmes d'alimentation électrique ont connu au cours des dernières années un grand développement du à l'augmentation en consommation des d'énergies électrique dans toute les domaines.

Ce développement est représenté par la création des nouveaux systèmes de transport d'énergies assurées par des lignes à haute tension (HT) et très haute tension (THT). Ces lignes sont soumises à plusieurs types de défaut qui sont provoqués par les orages, la foudre, les courts-circuits provoqués par d'autres objets externes. Dans la plupart des cas, les défauts électriques se manifestant par des dégâts mécaniques, qui doivent être réparés avant de renvoyer les lignes au service.

L'objectifs de cette étude est de montré quelque fonction d'un relais numérique tel que la détection et classification le défaut.

Nous avalons élaboré un programme « Matlab-Simulink » via des réseaux de neurones artificiels pour la détection et classification de défaut.

**Mot-clé :** Lignes à haute tension, court-circuit, détection et classification, de défaut, les relais numériques, réseau de neurones artificiel.

## **المخلص:**

عرفت أنظمة التزود بالطاقة الكهربائية في السنوات الأخيرة تزايداً في استهلاك الطاقة الكهربائية في كل المجالات مما أدى هذا التطور إلى خلق أنظمة جديدة تمثلت في نقل هذه الطاقة عبر خطوط الضغط العالي و العالى جداً التي يجب حمايتها من الأعطال التي تسببها العواصف و البرق و الانقطاعات الناتجة عن أشياء خارجية . في معظم الحالات الخلل الكهربائي يظهر على شكل أضرار ميكانيكية التي يجب إصلاحها قبل إعادة الخط إلى الخدمة.

الهدف من هذه الدراسة هو أضرار بعض الوظائف التتابع الرقمي مثل استشعار و تصنيف الخطأ و قد قمنا بإنشاء برنامج ماطلاب بطريقة شبكات العصبية الاصطناعية من اجل استشعار و تصنيف الخطأ.

## **الكلمات المفتاحية**

خطوط الضغط العالية، عطل كهربائي، استشعار، التصنيف، المحاكاة الرقمية.

## **Summary:**

Power supply systems in recent years have witnessed an increase in the consumption of electricity in all fields. This development has led to the creation of new systems which are the transmission of this energy through the high and very high pressure lines that must be protected from the faults caused by storms and lightning and the resulting interruptions for external things. In most cases, electrical faults appear in the form of mechanical damage that must be repaired before the line is returned to service. The aim of this study is to show some functions of digital relay such as sensor

and error classification. We have created a program in the form of artificial neural networks for sensing and classification of faults.

**Keywords:** very high lines, sensing and classification, electrical fault, digital relay, artificial neural networks.

## ***BIBLIOGRAPHIE***

## Bibliographie

---

### *La bibliographie :*

[1] Mr. Daaou Yassine «classification et localisation des défauts dans les lignes de transport à THT en temps réel » mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, 2011.

[2] Belguidoum Hocine « Les systemes FACTS utilisant les convertisseurs entierement commandes » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, 01/03/2012.

[3] ; BOUHADJELA Meriem Wafaa, BOUHADJELA Houaria « Détection et localisation des défauts dans les lignes de transport » mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master.

[4] ETHMAN BRAHIM, LEVDHAL ELHADJ « DETECTION ET LOCALISATION DES DEFAUTS DE COURT-CIRCUIT DANS UNE LIGNE HT » mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master.

[5] BENDENIDINA ATTIA « Modélisation et simulation d'un relais numérique à plusieurs fonctions sous MATLAB-SIMULINK pour la protection des lignes de transport contre les défauts de court-circuit » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, 01 /12/2015

[6] Mr. ZELLAGUI Mohamed « ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, 01 / 07 /2010

[7] « Protection et surveillance des réseaux de transport d'énergie électrique » [archive], sur perso.numericable.fr (consulté le 30 octobre 2013)

[8] Lamberton Taleb, André Sastre, « protection des réseaux HTA industriels et tertiaires », Schneider Electric, 1994.

[9] Mr. Daaou Yassine, P. Carrive, « Structure et planification, Réseau de distribution » Techniques de l'ingénieur, traité Génie électrique, 1990.

[10] Pr. Abdelhafid Hellal, Pr Mohamed Boudour," Réseau Electriques Fondamentaux et

## Bibliographie

---

Concepts de base " Edition, 2014.

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

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

[13] M.Boughezala « chapitre 1, Généralités », 2013, thesis.univ-biskra.dz

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

[15] الجيلاني محمود د.أ, القاهرة جامعة - الهندسة كلية « الكهربية الحماية نظم » 2006  
[16] الجيلاني محمود د.أ, القاهرة جامعة - الهندسة كلية « الكهربية القوي هندسة » 2006

[17] Fouad Salha, Juan M. Gers and Edward J. Holmes « Protection of Electricity Distribution Networks » 2nd Edition, The Institution of Electrical Engineers, series 47z, London, United Kingdom 2004.

[18] Fouad Salha, Stanley H. Horowitz and Arun G. Phadke « Power System Relaying, Third Edition » 2008 USA.

[19] Mr. Daaou Yassine, Sandro Gianni Aquiles Perez « Modeling Relays For Power System Protection Studies » *Ph.D. Dissertation Juilly 2006, University of Saskatchewan, Canada*

[20] Mr. Daaou Yassine, D. Novosel, D. Hart, E. Udren and J. Garitty, « Unsynchronized two-terminal fault location estimation », *IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11. No. 1, Jan. 1996, pp. 130-138.*

## Bibliographie

---

- [21] Lamberton Taleb, Sid'Ahmed ould cheikh « DETECTION ET CLASSIFICATION DES DEFAUTS DE COURT-CIRCUIT DANS UNE LIGNE HT » mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master.
- [22] Amrani Mohamed, « surveillance et diagnostic d'une ligne de protection par les réseaux de neurones artificiels ». Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, 06/04/2010.
- [23] Abdessalem Chamekch, «Optimisation des procédés de mise en forme par les réseaux de neurones artificiels » Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de docteur, 16-02-2007.
- [24] Abdessalem Chamekch, , Davalo E., Naim P., Des Réseaux de Neurones, EYROLLES, Deuxième édition, 1993.
- [25] Abdessalem Chamekch, , Rosenblatt F., The Perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review, Vol.65, p.386-408, 1958.
- [26] Abdessalem Chamekch., Rumelhart D., Hinton G., Williams R., Parallel Distributed Processing, MIT Press, Vol.1, Cambridge, 1986.
- [27] Abdessalem Chamekch, , Watous R. L., Learning algorithms for connectionist networks : Applied gradient methodscof non linear optimisation. IEEE, First International Conference On Neural Networks, San Diego, California, 1987.
- [28] Claude Touzet, Juillet 1992, page 6, « Les Réseaux de neurones artificiels, Introduction au connexionnisme cours, exercices et travaux pratiques ».
- [29] Philippe Jauffret, Laboratoire des Systèmes d'Information Chimique, UMR 5076 du CNRS- Montpellier [pj@chimie.u-strasbg.fr](mailto:pj@chimie.u-strasbg.fr), « Inroduction aux Réseaux de Neurones », page 3
- [30] ; [31] Abdessalem Chamekch, Davalo E., Naim P., Des Réseaux de Neurones, EYROLLES, Deuxième édition, 1993.

## Bibliographie

---

- [32] [https://fr.wikiversity.org/w/index.pjp?title=Réseaux\\_de\\_neurones/Qu%27est-ce\\_qu%27un\\_neurones\\_%3F&oldid=714264](https://fr.wikiversity.org/w/index.pjp?title=Réseaux_de_neurones/Qu%27est-ce_qu%27un_neurones_%3F&oldid=714264)
- [33] El Mahdi BRAKNI, « RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS APPLIQUÉS À LA MÉTHODE ÉLECTROMAGNÉTIQUE TRANSITOIRE InfiniTEM », Approximation by superpositions of a sigmoidal function: Math. Control, Signais and Systems, 2, 303-314.
- [34] Gérald PETITJEAN, [gerald.petitjean@eurodecision.com](mailto:gerald.petitjean@eurodecision.com), « Introduction aux réseaux de neurones », « Perceptron, Règle delta Généralise, Fonction de transfert, page 32 »
- [35] Abdessalem Chamekch, «Optimisation des procédés de mise en forme par les réseaux de neurones artificiels », Bishop C., Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, 1995.
- [36] Abdessalem Chamekch, Dreyfus G., Martinez J-M., Samuelides M., Gordon M.B., Badran F., Thiria SS., Hérault L, Réseaux de neurones : Méthodologie et Applications, Eyrolles, 2002.
- [37] El Mahdi BRAKNI, Lippmann, R.P. (1987). An introduction to computing with neural nets. IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine, 4: 4-22. Hagan, M.T., Demuth, H.B. et Beale, M. (1996). Neural network design. PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts.
- [38] El Mahdi BRAKNI, « RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS APPLIQUÉS À LA MÉTHODE ÉLECTROMAGNÉTIQUE TRANSITOIRE InfiniTEM ». Mai 2011
- [39] Claude Touzet, « Les Réseaux de neurones artificiels, Introduction au Connexionnisme cours, exercices et travaux pratiques ». Juillet 1992
- [40] El Mahdi BRAKNI, page 16, « RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS APPLIQUÉS À LA MÉTHODE ÉLECTROMAGNÉTIQUE TRANSITOIRE InfiniTEM », Rumelhart, D.E., Hinton, E. et Williams, J. (1986). Learning internal representation by error

## Bibliographie

---

propagation. Dans Parallel distributed processing. Vol.1. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. pp. 318-362.

[41] TIRILLY, « Pierre Evaluation des performances des Réseaux de Neurones Aléatoires et application à la Bio-informatique », E. Gelenbe, E. Seref, and Z. Xhu. Towards networks with intelligent packets. Proceedings of IEEE-ICTAI Conference on Tools for Artificial Intelligence, pages 47\_54, 1999. Apprentissage par renforcement de RNN et application aux réseaux : simulation d'un réseau sur lequel circulent des paquets intelligents (Cognitive Packets) capables de gérer eux-mêmes leur routage grâce aux RNN.

[42] Philippe Leray [Philippe.Leray@insa-rouen.fr](mailto:Philippe.Leray@insa-rouen.fr) INSA Rouen -Département ASI Laboratoire PSI, page 8/52, « Quelques Types de Réseaux de Neurones La Rétro-propagation

[43] El Moradj DAREM, page 51 Ingénieur d'Etat en Electrotechnique de l'Ecole National polytechnique, « Application des réseaux de neurones artificiels pour estimer les tensions de claquage dans les intervalles d'air pour les champs électriques peu divergents »

[44] Logiciel Matlab version 2011.

[45] S. Bouraghda1, A. Boukadoum1 & S. Leulmi1, S. Leulmi, “Modélisation & simulation des défauts dans les réseaux électriques” Cours photocopié de post graduation, Université du 20 Août 1955, Skikda, Algérie, 1991 – 2004.

[46] S. Bouraghda1, A. Boukadoum1 & S. Leulmi1, T. Bouthiba, M. A. Denai; “Neural networks based fault detection in EHV transmission lines using voltage data” Journal of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 43, N°1, pp. 26-31. Singapore, 2003.

[47] S. Bouraghda1, A. Boukadoum1 & S. Leulmi1, M. Pasand1, H. Khorashadi “ Transmission line fault detection & phase selection using ANN” International Conference on Power Systems Transients – IPST, New Orleans, USA, 2003.