

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et la recherche scientifique



Année :2012/2013

Universitaire D'El-oued
Faculté de Science et technique
Département de génie mécanique

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Licence

Intitulé

Etude des systèmes de mis à la terre du point neutre
dans l'environnement industriel

Filière :Génie électrique

Spécialité :Electromécanique

Par

Bouhamed Med Tamime

Necib Med Khalil

Directeur de Mémoire :Mme. Largot Soulef



Remerciements

Mon remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il a donné durant toutes ces longues années.

*Ainsi, je tien également à exprimer mon vifs remerciement à mon encadreur **Mme. LARGOT SOULEF** qui j'ai apporté une précieuse. Je lui exprime mon gratitude pour sa grande disponibilité ainsi que pour sa compréhension et les encouragements qu'il j'ai apportés...*

Je remercie vont aussi à tous le enseignants qui ont contribué à mon formation

Enfin, je tiens à exprimer mon reconnaissance à tous nos amis et collègues.....



DRDICACE

Je dédie ce modeste travail

A ma mère

A mon père

A mes frères et mes sœurs

A tous mes amis

A tous mes collègues

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Les différents régimes du neutre

I.1. Introduction	1
I.2. Structure des réseaux électriques	1
I.3. Traitement du point neutre	2
I.4. Classification des réseaux électriques	2
I.5. Les différents régimes de neutre	3
I.5.1. Neutre isolé	3
I.5.1.1. Technique d'exploitation	5
I.5.1.2. Avantage	5
I.5.1.3. Inconvénients	5
I.5.1.4. Applications	6
I.5.1.5. Diagramme vectoriel de neutre isolé dans le cas d'un défaut franc à la terre ...	6
I.5.2. Neutre mis directement à la terre	7
I.5.1.1. Technique d'exploitation	8
I.5.1.2. Avantage	8
I.5.1.3. Inconvénients	9
I.5.1.4. Applications	9
I.5.3. Neutre mis à la terre par résistance	9
I.5.1.1. Technique d'exploitation	10
I.5.1.2. Avantage	10
I.5.1.3. Inconvénients	10
I.5.3.A. Neutre de haute résistance	11
A.1. Caractéristique de neutre à haute résistance	12
A.2. Avantages de neutre à haute résistance	12
A.3. Les inconvénients de neutre à haute résistance	12
A.4. Applications	12
I.5.3.B. Neutre à basse-résistance	12
B.1. Les avantages de neutre à basse-résistance	13
B.2. Les inconvénients de neutre à basse-résistance	13
B.3. Applications	13
I.5.3.4. Diagramme vectoriel de neutre résistant dans le cas d'un défaut franc à la terre	14
I.5.4. Neutre compensé	15

I.5.4.1. Technique d'exploitation	16
I.5.4.2. Avantage	16
I.5.4.3. Inconvénients	16
I.5.4.4. Applications	17
I.5.4.5. Diagramme vectoriel de neutre compensé dans le cas d'un défaut franc à la terre	18
I.6. Conclusion	18
Chapitre II : Les types des défauts	
II.1. Introduction	19
II.2. Origine et nature de défauts	19
II.3. Types des défauts	20
II.3.1. Défaut phase-terre (S-L-T)	20
II.3.1. Défaut entre deux phases (biphasé) (L-L)	21
II.3.1. Défaut triphasé déséquilibré (L-L-L)	22
II.3.1. Défaut entre deux phases et terre (L-L-T)	23
II.4. Conclusion	24
Chapitre III : Simulation par "power world simulator"	
III.1. Introduction	25
III.2. Constitution d'un réseau	25
III.2.1. Les générateurs	25
III.2.2. Les charges	26
III.2.3. Le réseau proprement dit	26
III.3. Bilans de puissances et balancier	27
III.3.1. Bilans de puissances	27
III.3.2. Le générateur balancier	27
III.4. Programme de Load Flow	31
III.5. Procédures	31
III.6. Représentation du circuit	32
III.7. Caractéristiques de réseau utilisé	32
III.7.1. Les générateurs	32
III.7.2. Les paramètres des charges	34
III.7.3. Les paramètres des lignes	35
III.7.4. Les paramètres des jeux de barres	36
III.4. Conclusion	37
Chapitre IV : Résultats des simulations	
IV.1. Introduction	39

IV.2. Défaut de courant dans les jeux de barres	39
a. Défaut phase-terre	39
b. Défaut biphasé	40
c. Défaut déséquilibre	41
d. Défaut de deux phases et terre	42
IV.3. Les défauts de courant sur les générateurs	43
A.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur1 (phase a)	43
A.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a)	44
B.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur2 (phase a)	45
B.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur2 (phase a)	46
C.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a)	47
C.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur3 (phase a)	48
D.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a)	49
D.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur4 (phase a)	50
E.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a)	51
E.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur5 (phase a)	52
IV.4. Les valeurs des tensions	53
A. La tension (phase b) dans le cas d'un défaut phase-terre	53
B. La tension dans le cas d'un défaut déséquilibre	54
C. La tension dans le cas d'un défaut de deux phases et terre	55
IV.5. Conclusion	56
Chapitre V : Discussion générale	
Discussion générale	57
V.1. Défaut de courant du système	57
V.2. Défaut de courant dans les générateurs	57
V.3. Les tensions des phases dans le cas d'un défaut de courant	58
Conclusion générale	

Liste des tableaux

Chapitre I :

<i>Tableau I.1 : Niveaux de tension principalement utilisées en Algérie</i>	2
<i>Tableau I.2 : Zones d'influence et caractéristique des différentes méthodes</i>	3

Chapitre III :

<i>Tableau III.1 : La puissance active et réactive des générateurs</i>	33
<i>Tableau III.2 : La puissance active et réactive des charges</i>	34
<i>Tableau III.3 : Les paramètres des lignes</i>	35
<i>Tableau III.4 : Les paramètres des jeux de barres</i>	36
<i>Tableau III.5 : Les valeurs des résistances et réactances de chaque régime</i>	37

Chapitre IV :

<i>Tableau IV.1 : Le courant de défaut phase-terre dans chaque régime</i>	39
<i>Tableau IV.2 : Le courant de défaut biphasé dans chaque régime</i>	40
<i>Tableau IV.3 : Le courant de défaut déséquilibre dans chaque régime</i>	41
<i>Tableau IV.4 : Le courant de défaut de deux phase-terre dans chaque régime</i>	42
<i>Tableau IV.5 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur1 (phase a)</i>	43
<i>Tableau IV.6 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a)</i>	44
<i>Tableau IV.7 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur2 (phase a)</i>	45
<i>Tableau IV.8 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur2 (phase a)</i>	46
<i>Tableau IV.9 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a)</i>	47
<i>Tableau IV.10 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur3 (phase a)</i>	48
<i>Tableau IV.11 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a)</i>	49
<i>Tableau IV.12 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur4 (phase a)</i>	50
<i>Tableau IV.13 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a)</i>	51
<i>Tableau IV.14 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur5 (phase a)</i>	52
<i>Tableau IV.15 : La tension en p.u (phase b) dans le cas d'un défaut phase-terre</i>	53
<i>Tableau IV.16 : La tension en p.u dans le cas d'un défaut déséquilibre</i>	54
<i>Tableau IV.17 : La tension en p.u dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre</i>	55

Chapitre V :

<i>Tableau V.1 : La meilleur stratégies du neutre dans le système</i>	57
<i>Tableau V.2 : La meilleur stratégies du neutre dans les générateurs</i>	58
<i>Tableau V.3 : La meilleur stratégies du neutre à partir des tensions</i>	58

Liste des figures

Chapitre I :

<i>Figure I.1 : Schéma symbolisant le principe du transport et de la distribution d'électricité</i>	1
<i>Figure I.2 : Systèmes neutres isolés</i>	5
<i>Figure I.3 : Diagramme vectoriel de neutre isolé le cas d'un défaut franc à la terre</i>	7
<i>Figure I.4 : Système de neutre reliés directement à la terre</i>	8
<i>Figure I.5 : Neutre mis à la terre par résistance</i>	10
<i>Figure I.6 : Diagramme vectoriel de neutre résistant dans le cas d'un défaut franc à la terre</i>	14
<i>Figure I.7 : Système de neutre compensé</i>	15
<i>Figure I.8 : Diagramme vectoriel de neutre compensé dans le cas d'un défaut franc à la terre</i>	18

Chapitre II :

<i>Figure II.1 : Défaut phase-terre</i>	20
<i>Figure II.2 : Défaut entre deux phases (biphasé)</i>	21
<i>Figure II.3 : Défaut triphasé déséquilibré</i>	22
<i>Figure II.4 : Défaut biphasés-terre</i>	23

Chapitre III :

<i>Figure III.1 : Modèle du générateur et du transformateur en système p.u</i>	25
<i>Figure III.2 : Modèle de la charge et du transformateur en système p.u</i>	26
<i>Figure III.3 : Schéma unifilaire d'une transmission de puissance simple</i>	28
<i>Figure III.4 : Introduction des modèles p.u. à partir du schéma descriptif</i>	29
<i>Figure III.5 : Schéma simplifié équivalent par phase du circuit (en p.u.)</i>	29
<i>Figure III.6 : L'interface de logiciel « power world » simulateur</i>	32
<i>Figure III.7 : Chargement les paramètres de générateurs</i>	33
<i>Figure III.8 : Chargement les paramètres de la charge</i>	34
<i>Figure III.9 : Chargement les paramètres des lignes</i>	35
<i>Figure III.10 : Chargement les paramètres des jeux de barres</i>	36
<i>Figure III.11 : Chargement des valeurs de régime utilisé</i>	37

Chapitre IV :

<i>Figure IV.1 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut phase-terre</i>	40
<i>Figure IV.2 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut entre deux phase</i>	41
<i>Figure IV.3 : Courant de défaut dans le cas d'un déséquilibre triphasé</i>	42
<i>Figure IV.4 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre</i>	43
<i>Figure IV.5 : Défaut de courant phases et terre dans le générateur1 (phase a)</i>	44

<i>Figure IV.6 : Défaut de déséquilibre dans le générateur1 (phase a)</i>	45
<i>Figure IV.7 : Défaut de courant phases et terre dans le générateur2 (phase a)</i>	46
<i>Figure IV.8 : Défaut de déséquilibre dans le générateur1 (phase a)</i>	47
<i>Figure IV.9 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a)</i>	48
<i>Figure IV.10 : Défaut de déséquilibre dans le générateur3 (phase a)</i>	49
<i>Figure IV.11 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a)</i>	50
<i>Figure IV.12 : Défaut de déséquilibre dans le générateur4 (phase a)</i>	51
<i>Figure IV.13 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a)</i>	52
<i>Figure IV.14 : Défaut de déséquilibre dans le générateur5 (phase a)</i>	53
<i>Figure IV.15 : La tension (phase b) dans le cas d'un défaut phase-terre</i>	54
<i>Figure IV.16 : La tension dans le cas d'un défaut déséquilibre</i>	55
<i>Figure IV.17 : La tension dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre</i>	56

Introduction générale :

La performance d'un réseau d'énergie électrique dépend de la manière de le concevoir, de le construire, de le maintenir et de l'exploiter.

A l'origine, ces réseaux ont été essentiellement conçus pour répondre aux exigences de sûreté dans la desserte de l'énergie. Leur conception et leur exploitation consistaient alors à rechercher l'optimum économique pour la maîtrise des contraintes techniques.

Aujourd'hui, avec l'ouverture des marchés et la mise en concurrence des distributeurs historiques, les concepteurs et les exploitants doivent prendre en compte les attentes des usagers et répondre aux obligations réglementaires et normatives. Dans ce contexte, puisque près de 80% des défauts sont des courts-circuits avec la terre, le choix du régime du neutre est devenu une décision stratégique. Il est alors le résultat d'un compromis entre trois exigences :

- La maîtrise des coûts;
- La sécurité des biens et des personnes;
- La qualité du service aux utilisateurs.

Afin de répondre aux obligations de sûreté, de qualité et de sécurité, l'ingénieur doit concevoir une architecture cohérente. Celle-ci doit offrir un plan de tension et une puissance de court-circuit conformes à la qualité de service attendue. Son régime de neutre, doit assurer la maîtrise des contraintes provoquées par les déséquilibres homopolaires. L'ensemble est consolidé par un plan de protection assurant l'élimination rapide des courts-circuits. Nécessitant la mise en œuvre de dispositions techniques cohérentes et coûteuses, le choix du régime de neutre d'un réseau d'énergie repose sur des éléments objectifs de décision :

- le rôle du réseau;
- sa topologie;
- les puissances de court-circuit,
- les services attendus;
- le respect des obligations.

FI doit en outre être étroitement associé à un plan de protection sûr et sélectif. L'architecture d'un réseau est choisie pour répondre aux aléas d'exploitation. En régime normal ou en régime perturbé, la qualité du produit électricité fournie par le réseau doit être conforme aux engagements.

Durant un court-circuit avec la terre, le régime du neutre assure par exemple la maîtrise des montées en potentiel des prises de terre. Il maintient le système des tensions en cohérence avec la coordination de l'isolement du réseau et la qualité de service attendue.

Il existe deux manières de concevoir un régime de neutre. En Europe, on cherche à limiter la valeur des courants de court-circuit à la terre et on assure la coordination de l'isolement en mode commue du réseau.

Dans les pays sous influence Anglo-saxonne, on limite les niveaux de surtension dynamique et on recherche la maîtrise des montées en potentiel des prises de terre. Cette solution est également largement utilisée sur les réseaux alimentant des charges déséquilibrées.

Il existe cependant des cas où une solution standard qui a fait ses preuves par ailleurs, ne peut être utilisée. Le choix d'un régime de neutre doit être l'aboutissement d'une étude de cohérence.

Etat de l'art :

Les anciens systèmes du réseau électrique utilisé dans le milieu industriel étaient le neutre isolé à tous les niveaux de tension étant donné qu'un défaut phase-terre ne met pas le système hors tension. Dave Landsverk [A] montre comment les méthodes de mise à la terre du point neutre étaient l'importance dans les systèmes industriels, son avantage et les inconvénients.

Dans les années 40, le neutre dans le secondaire du transformateur en étoile est lié directement à la terre dans les systèmes à basse tension a été adopté en raison de l'utilisation des lampes fluorescentes de 265V, Ainsi les entreprises commerciales et d'industriel réaliser un bénéfice énorme suite au gain d'énergie électrique par l'utilisation de ces lampes [A].

Le neutre de haute résistance a été introduit au milieu des années 50, comme montre de F.K. Fox dans le journal IEEE, en octobre 1965. Le système neutre à haute résistance, peut fonctionner sous un faible courant de défaut phase-terre pendant une longue période, comparée au système du neutre directe.

La majorité des schémas de liaison à la terre qui se trouve dans les systèmes industriels sont le Neutre, directement à la terre et Neutre résistant. D'autres modes de liaison à la terre ont été également introduites dans le système industriel [B]. Dans Celles-ci en trouve :

- a) Neutre à faible résistance.
- b) Neutre à haute résistance. (Systèmes à basse tension et moyen tension)
- c) Neutre compensé.

dans les systèmes des réseau à haut, moyenne ou basse tension, le système mise à la terre du point neutre est le seul l'élément important utilisés dans les industries.

Importance de mise à la terre du point neutre :

Le but essentiel de mise à la terre du point neutre dans un système électrique: c'est de protéger le personnel contre le danger du courant électrique, améliorer la fiabilité de système et la continuité du service. Le but est de contrôler le niveau de la tension du neutre à un niveau tolérable et à réduire au minimum l'amplitude du courant de défaut. Un mauvais choix du régime de neutre peut avoir des conséquences graves telle que, les décharges électriques, la détérioration des équipements et un mauvais fonctionnement du système électrique [C].

Les systèmes de courant électrique exigent deux types fondamentaux de mise à la terre: à savoir, la mise à la terre du point neutre du système et mises à la terre de la carcasse d'équipements [D]. La mise à la terre du point neutre du système se rapporte à la connexion d'un neutre à la terre, afin de contrôler la tension neutre- terre ou phase-terre dans les limites prévisibles. Il donne également un chemin de retour de courant vers la source, qui permet la détection de défaut entre les phases de système et la terre. D'une part, la mise à la terre se rapporte à l'interconnexion des éléments métalliques d'un système. Le régime de neutre du système est l'un des éléments les plus importants pour l'évaluation des systèmes du réseau électrique. Il est important de comprendre les paramètres de base de la mise à la terre du point neutre afin de déterminer la meilleure méthode à appliquer à un mode] précis. Ainsi, nous concentrerons la plupart du temps sur le système de mise à la terre du neutre comme un sujet de cette recherche. Cinq différentes techniques des régimes du neutre seront examinées, avec leurs applications, avantages et inconvénients.

Le mode de mise à la terre a des répercussions importantes sur deux des caractéristiques essentielles du fonctionnement d'un réseau : la sévérité des surtensions et l'intensité des courants circulant en cas de défaut à la terre. [7]

But du projet :

Le but de ce projet de mémoire de fin d'étude, est d'étudier et comprendre les différents schémas de liaison du neutre à la terre (régimes du neutre) utilisés dans un milieu industriel. Identifiant le type de défauts, analysant les variations des courants de défaut et les tensions correspondant dans chaque nœud du modèle étudié. Des avantages et inconvénients de chaque régime de neutre seront également discutés.

Dans ce travail on a étudié les différentes méthodes de mise à la terre du neutre dans un milieu industriel.

Ce travail est divisé en cinq chapitres comme suit :

Introduction générale qui contient l'état de l'art et l'importance de la mise à la terre du point neutre et ensuite le but de ce projet.

Dans le **chapitre I**, nous donnons d'abord une vue d'ensemble sur le fonctionnement et la structure des réseaux de distribution. Ensuite nous examinerons les différentes variantes de traitement du point de neutre, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Dans le **chapitre II**, nous présentons une introduction sur l'origine, la nature et les différents types de défaut qui peuvent exister dans un réseau électrique : défaut phase-terre, défaut biphasé et défaut biphasé-terre ainsi que le défaut triphasé.

Le **chapitre III**, concerne la description du logiciel Power World Simulator ensuite nous avons donné une stratégie de choix du régime de neutre en utilisant la simulation sur un modèle prédéfini par le logiciel.

Le **chapitre IV**, les résultats de simulation obtenus.

Le **chapitre V**, Résume les résultats obtenus par la simulation et discussion du choix du régime de neutre.

Et en fin conclusion générale et perspectives.

I.1. Introduction :

Le choix du régime de neutre dans un réseau industriel résulte d'abord d'un compromis entre le niveau acceptable de surtension et l'intensité des courants de défaut à la terre. Mais d'autres critères interviennent également, comme les coûts d'installation et d'exploitation, la continuité de service, la simplicité et la sélectivité des protections, la limitation des dégâts dans les machines tournantes, la perturbation des circuits de télétransmission, etc. Dans ce chapitre nous citons les différentes solutions utilisées dans l'industrie, en indiquant les avantages et les inconvénients pour chaque régime de neutre.

I.2. Structure des réseaux électriques : [6]

Dans les réseaux électriques nous pouvons distinguer principalement les réseaux de transport et les réseaux de distribution. Les réseaux de transport sont utilisés pour transporter ou repartir à un haut niveau de tension THT/HTB (*tableau I.1*) l'énergie électrique, générée dans les centrales, sur de grandes distances. Ces réseaux permettent aussi l'échange d'énergie avec les réseaux d'autres pays. Us sont maillés pour des raisons de sécurité et de stabilité.

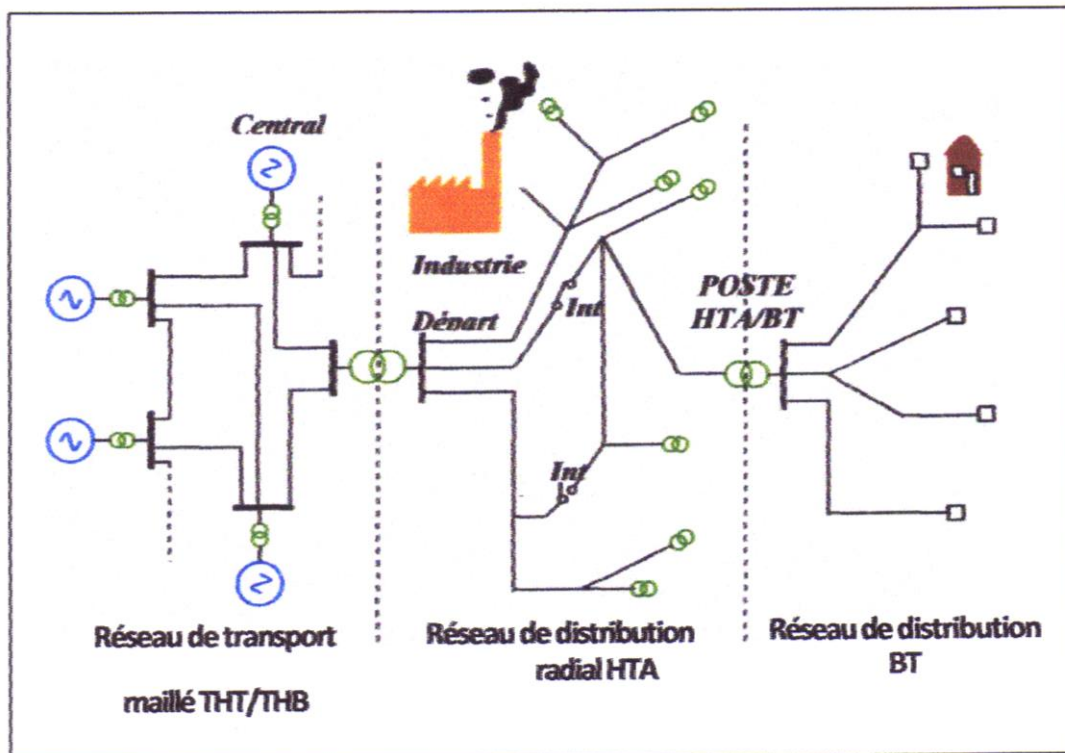


Figure I.1 : Schéma symbolisant le principe du transport et de la distribution d'électricité.

Une fois que l'énergie transportée aux postes de transformation HTM3TA «postes sources» elle est distribuée à un niveau de tension moins élevée, HTA, aux clients par l'intermédiaire des réseaux de distribution. Ces clients peuvent être connectés directement au niveau HTA, comme certaines entreprises, ou bien via un réseau basse tension BT à travers des postes HTA/BT.

Contrairement aux réseaux de transport; les réseaux de distribution français ont une structure radiale ou arborescente figure 1.1. Ils ne comportent jamais de mailles fermées (soit l'interrupteur est fermé \ soit est ouvert). Chaque poste source a un ou plusieurs jeux de barres qui alimentent jusqu'à une dizaine de départs. Un départ est en général composé de différentes lignes aériennes et câbles. La production de l'énergie électrique de la SONEGAS et de 7077MW et un réseau qui s'étend sur plus de 240299km. Le tableau I.1 représente les différents niveaux de tension normalisés.

Type de réseau	Tensions
Réseaux de transport	225-400 KV
Réseaux de répartition	63 KV
Réseaux de distribution	10-30 KV
Réseaux basse tension	0,23-0,4 KV

Tableau I.1 : Niveaux de tension principalement utilisés en Algérie

I.3. Traitement du point neutre : [6]

Le choix du régime du neutre d'un réseau électrique engage l'avenir, car chaque système entraîne l'installation de matériels spécifiques pour le niveau d'isolement, les conditions d'exploitation et d'entretien, les systèmes de protection contre les défauts.

Le système de neutre adopté doit être cohérent avec la structure du réseau (niveau de tension, longueur des départs, réseau souterrain ou aérien, densité de charge) et a une incidence sur les niveaux de sécurité et de qualité de service.

On rencontre ainsi à travers le monde des systèmes variés tableau I.2.

Type de mise à la terre	Pays	Ordre de grandeur du courant de défaut
1) directement	Angleterre	= 1000 A
2) neutre distribué	USA, Australie, Canada	100-2000 A
3) par impédance de limitation	France, Europe du Sud	< 1000 A
4) par bobine de compensation	Europe du Nord et de l'Est France (déploiement)	< 100 A
5) isolé	Japon, Italie, Irlande	< 30 A

Tableau I.2 : Zones d'influence et caractéristique des différentes méthodes

1.4. Classification des réseaux électriques: [6]

Pour une classification des réseaux électriques selon le traitement du point neutre, il faut d'abord distinguer les réseaux à neutre distribué (type nord-américain) des réseaux à mise à la terre du neutre en un seul point (type européen!

Pour un réseau de distribution à mise a la terre du neutre en un seul point, il existe plusieurs types de alternent du point neutre. En général il n'existe pas de méthode meilleure qu'une autre, chacune a ses avantages et ses inconvénients. Le choix d'une méthode dépend d'un compromis entre la structure antérieure du réseau et des critères techniques, économiques et politiques.

1.5. Les différents régimes de neutre :

1.5.1. Neutre isolé : [7]

Le potentiel n'étant fixé que par les impédances de mite, en particulier par les capacités phase/terre, les risques de surtension sont maximaux. Pour cette raison, on limite l'emploi de ce régime de neutre aux réseaux dont la tension nominale n'excède pas 15kV. Il est conseillé de le réserver aux installations de tension 7.2 kV.

Le niveau d'isolement du réseau doit être surveillé en permanence par un contrôleur fonctionnant par injection de courant continu. L'appareil signale la diminution de l'isolement (seuil alarme) et permet d'intervenir avant qu'un amorçage se produise. Il comporte souvent un deuxième seuil utilisé pour commander l'ouverture d'un disjoncteur (seuil déclenchement)

Le courant de défaut est égal au courant de fuite à la terre des phases saines portées à la tension composée. Dans les réseaux de câbles où la capacité phase-terre est élevée, le courant de défaut peut dépasser les limites admissibles.

Dans les réseaux aériens, le courant de fuite, dû à la conductivité superficielle des isolateurs poussiéreux et humides, peut entraîner un fonctionnement intempestif des protections. De plus, le risque de surtension par coup de foudre direct ou indirect est important.

Le régime de neutre isolé ne convient donc ni pour des lignes aériennes ni pour des réseaux de câbles très étendus.

La recherche d'un premier défaut signalé par le contrôleur d'isolement, s'effectue différemment selon son impédance :

- S'il est très impédant (correspondant au premier seuil du contrôleur), le courant de fuite est de l'ordre du 1/100 d'ampère. On localise le défaut par coupures successives des différents départs. Cette recherche s'effectue dès que possible, à un moment où on ne risque pas de perturber la production ;
- S'il est moins impédant, il évolue très vite vers un défaut franc. On utilise alors des relais de courant différentiel résiduel sur chaque départ. Au cas où la sélectivité de la détection ne peut pas être assurée par ce moyen seul (courant capacitif trop faible, départ, de capacité importante par rapport au reste du réseaux-configuration variable du réseau), on lui associe parfois un dispositif de mise à la terre temporaire à travers une résistance, par l'intermédiaire d'un contacteur ou de triacs. Cette technique est actuellement limitée aux tensions $U \leq 7.2$ kV.

On peut aussi, dans certains cas (mines par exemple) faire appel à des relais de puissance réactive résiduelle. Le régime de neutre non mis intentionnellement à la terre est éventuellement utilisé pour des réseaux de câbles peu étendus, de très bon niveau d'isolement, et en particulier dans certains réseaux MT alimentant des installations de sécurité.

Dans un tel réseau, un défaut phase terre ne provoque qu'un faible courant par l'intermédiaire des capacités phase terre des phases saines. [2]

On démontre que $I_d = 3VC\omega$

V : étant la tension simple ;

C : la capacité phase/terre d'une phase ;

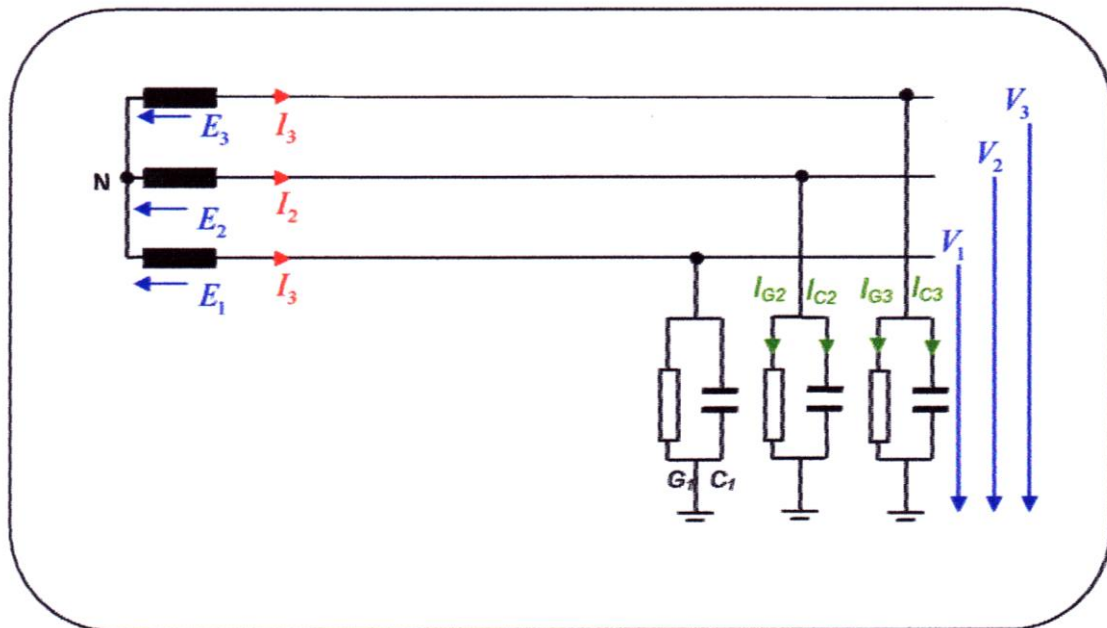


Figure I.2 : Systèmes neutres iso.lés

I.5.1.1. Technique d'exploitation : [2]

- non coupure au premier défaut d'isolement sous réserve de respecter le décret de 14/11/1962 sur la protection des travailleurs ; dans ce cas, il est obligatoire :
- d'effectuée une surveillance permanente de l'isolement,
- de signaler le premier défaut d'isolement,
- de réaliser la coupure au deuxième défaut d'isolement.

I.5.1.2. Avantages : [2]

- ❖ autorisé une continuité de service en ne déclenchant qu'au deuxième défaut sous réserve :
- ✓ que la capacité du réseau n'entraîne pas un courant de défaut à la terre élevé, dangereux pour les personnels et les récepteurs, lors du premier défaut

I.5.1.3. Inconvénients : [1],[2]

Le neutre isolé entraîne :

- l'emploi de matériels dont le niveau d'isolement entre phase et terre est au moins égale à celui entre phases ; en effet lors d'un défaut permanent entre une phase et la terre, la tension des deux phases saines par rapport à la terre peut prendre la valeur de la tension composée si le déclenchement n'a pas lieu lors du premier défaut, il faut prévoir les câbles, les transformateurs et les récepteur en général, en conséquence ;
- des risques de surtensions d'origine interne élevées, d'où la recommandation de la norme C13-200 de renforcer l'isolement du matériel,

- une surveillance de l'isolement obligatoire, avec signalisation visuelle et sonore du premier défaut si le déclenchement n'a lieu qu'au second,
- la présence d'un personnel d'entretien pour la surveillance et la recherche du premier défaut en exploitation,
- des difficultés pour la mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut.

I.5.1.4. Applications :

Le neutre isolé n'est pas adopté dans les réseaux aériens, en raison des surtensions dont ils sont le siège. C'est une solution souvent utilisée pour les réseaux d'utilisation industriels (< 15kv) nécessitant la continuité de service.

L'adoption d'un neutre isolé nécessite la demande d'une dérogation auprès du ministère du travail.

I.5.1.5. Diagramme vectoriel de neutre isolé dans le cas d'un défaut franc à la terre :

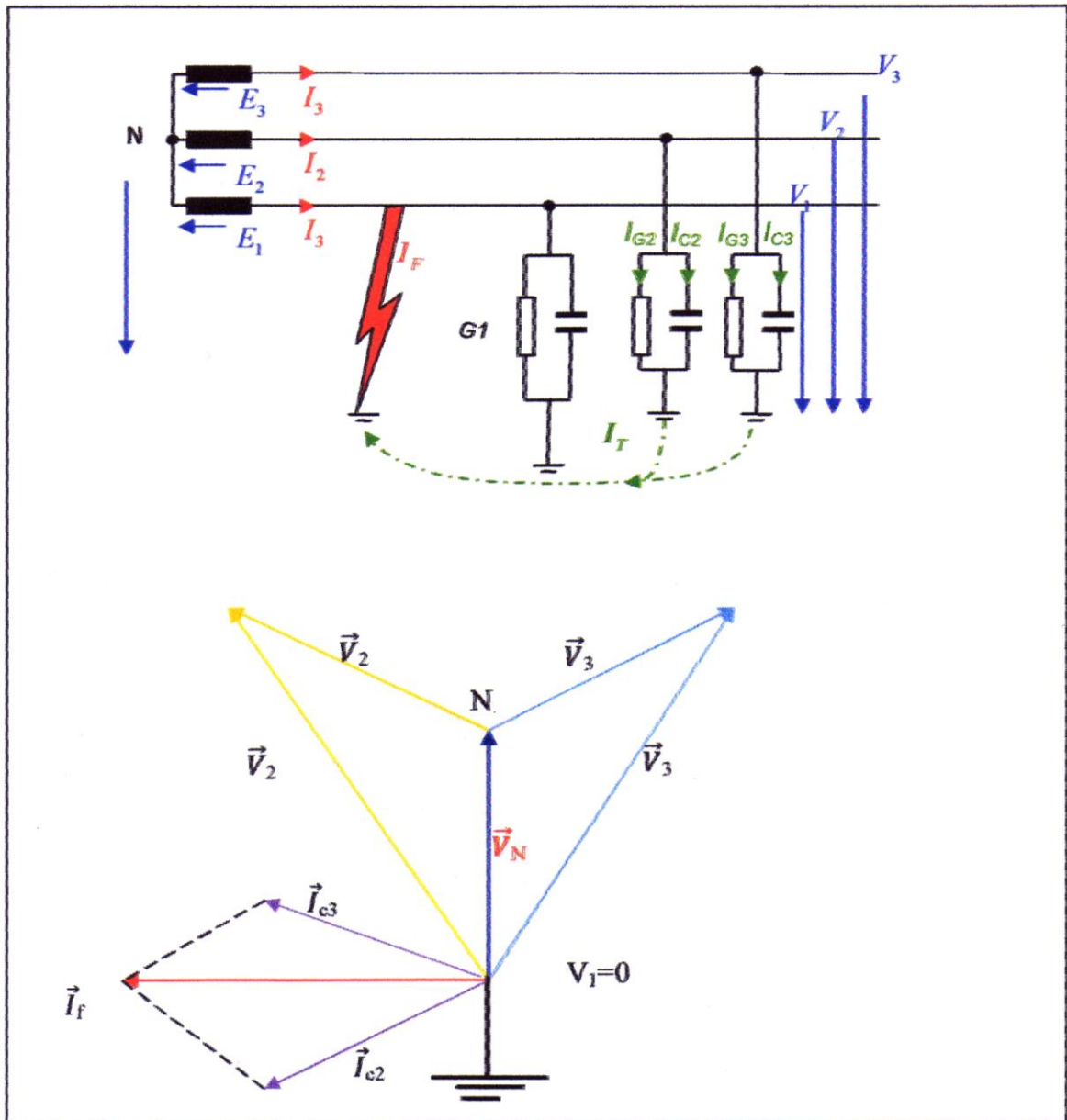
$$\vec{I}_f = \vec{I}_C = \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C3} \quad \text{(L1)}$$

$$I_{C2} = jC\omega V_2 \quad \text{(L2)}$$

$$I_{C3} = jC\omega V_3 \quad \text{(L3)}$$

$$I_C = jC\omega V_1 \quad \text{(L4)}$$

$$|I_f| = 3jC\omega |V_2| \quad \text{(L5)}$$



I.5.2. Neutre mis directement à la terre : [2], [3]

Le neutre du réseau est mis à la terre uniquement à la source. Le courant de déséquilibre homopolaire transite uniquement par la terre.

Les courants de défaut de terre sur les systèmes mis directement à la terre sont environ égaux à triphasé les courants de défaut, et les fusibles ou les relais fonctionneront d'une manière satisfaisante, où les courants de défaut très élevés peuvent se produire, combustion du fer de faisceau peuvent se produire dans des conditions de court-circuit.

La présence du conducteur de neutre permet la réalisation de dérivations monophasées.

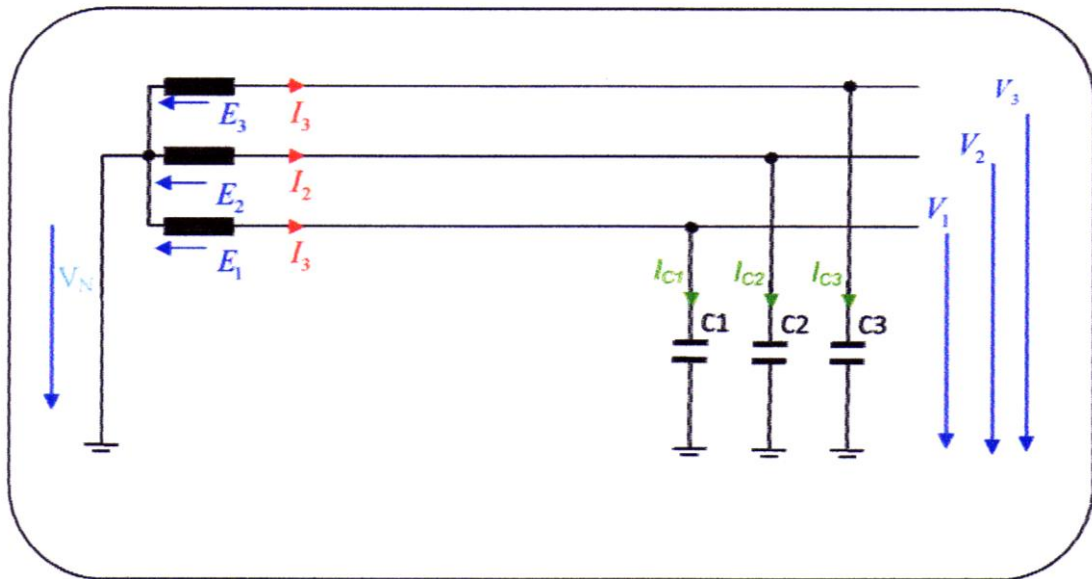


Figure I.4 : Système de neutre reliés directement à la terre

I.5.2.1. Technique d'exploitation : [2]

❖ coupure obligatoire au premier défaut d'isolement.

I.5.2.2. Avantages : [2], [3]

- Réduit le risque d'apparition des surtensions,
- Permet d'utiliser les matériels ayant un niveau d'isolement phase/terre normal,
- Permet de réaliser des protections simples et sélectives.
- Le contrôle de la surtension est réalisé, parce que le neutre du système est liée directement aux potentiels de la terre.
- Le courant de défaut suffisamment grand peut actionner le dispositif de protection quand le premier défaut phase-terre se produit
- La détection facile du défaut phase-terre.

I.5.2.3. Inconvénients :

- Déclenchement obligatoire au premier défaut, [2]
- Courant de défaut très important; les dégâts et les perturbations (création de courant induits dans les réseaux de télécommunication et les circuits auxiliaires) sont maximaux;
- le danger pour le personnel est important pendant la durée du défaut, les tensions de contact qui se développent étant importantes.

- Que le premier défaut de la phase-à-terre qui ouvre le dispositif de protection a coupé l'alimentation électrique, lumières et contrôle. Ainsi la perte soudaine d'alimentation électrique peut être grave, comme le font les risques instantanés existents avec une phase pour rectifier le défaut.
- Le courant de défaut élevé provoque des dommages sur les appareillages électriques.
- y Ce schéma, idéal pour l'écoulement des surtensions, entraîne tout les inconvénients et dangers d'un fort courant de défaut terre. il n'y a pas de continuité de service (déclenchement automatique au premier défaut).

I.5.2.4. Applications : [3]

Le plus utilisé généralement dans système industriel/commercial. (Par exemple 415/240V, systèmes industriels de 11KV/415V).

Ne pas recommander pour les systèmes à haute tension et ci-dessus (> 33kV, normes de l'Australie). Il permet d'avoir une grande amplitude du courant de défaut

Ce type de schéma n'est pas utilisé dans les réseaux MT européens aériens ou souterrains, mais par contre généralisé dans les réseaux de distribution type USA, dans ces réseaux (aériens) d'autres particularités interviennent pour justifier ce choix.

I.5.3. Neutre mis à la terre par résistance de limitation :

Un système de terre de résistance a une résistance installée entre le neutre et la connexion de terre (*fig. I.5*).

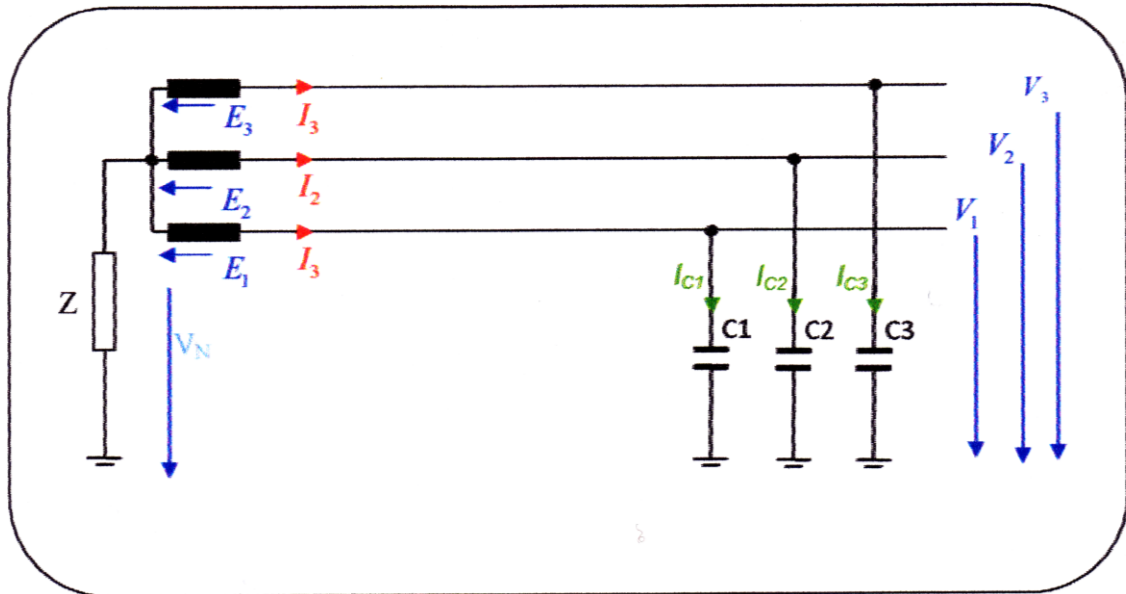


Figure I.5 : Neutre mis à la terre par résistance

I.5.3.1. Technique d'exploitation : [2]

❖ coupure au premier défaut d'isolement

I.5.3.2. Avantages :

- limite de courant de défaut (dégât et perturbations réduits),
- amortit les surtensions d'origine interne,
- n'exige pas l'emploi de matériel et en particulier de câble ayant un niveau d'isolement phase/terre spécial,
- Un bon compromis entre un courant de défaut faible et un bon amortissement de faibles Surtension.

I.5.3.3. Inconvénients : [1]

- déclenchement au premier défaut,
- dimension important de la résistance, compte tenu du courant de défaut admis ; importante puissance thermique dissipée par la résistance.
- Pas de continuité de service ; en cas de défaut de terre, celui-ci doit être éliminé aussitôt.
- Le coût de la résistance de mis a la terre croît avec la tension.

Il y a deux larges catégories de neutre avec résistance: haut résistance et basse résistance. Dans les deux types de neutre, la résistance est connectée entre le point neutre du transformateur secondaire et la terre.

I.5.3.A. Neutre de haute résistance : [4]

La mise à la terre est effectuée à travers une impédance de valeur élevée constituée par une résistance ou par une combinaison résistance/réactance, dans laquelle la résistance est nettement prépondérante ($R > 2X$). La réactance de forte valeur, à cause des surtensions qu'elle peut produire, n'est utilisée que dans le cas particulier de la bobine de Petersen. Le courant de défaut est la somme vectorielle des courants capacitifs de fuite et du courant dans la résistance ($I_u < 8 \text{ A}$ environ). Ils doivent être assez réduits pour que le courant de défaut ne dépasse pas l'intensité permanente admissible. Il faut également respecter la règle $I_r > 2I_C$ pour limiter le niveau des surtensions. Si ces deux conditions ne peuvent pas être réalisées simultanément, il faut séparer le réseau en plusieurs tronçons indépendante ou raccordés par des transformateurs de séparation. Comme dans le cas du neutre non mis intentionnellement à la terre, ce régime ne convient pas pour des réseaux de câbles étendus ou pour des lignes aériennes.

A cause de la présence d'une résistance en parallèle avec l'impédance d'isolement du réseau, celle-ci ne peut pas être mesurée en permanence par un contrôleur d'isolement. La signalisation des défauts et éventuellement le déclenchement sélectif des départs sont assurés par :

- un relais de courant homopolaire dans la connexion de neutre et/ou un relais de tension homopolaire.
- des relais de courant homopolaire sur les départs,
- éventuellement des relais directionnels spéciaux.

On peut aussi mesurer régulièrement le niveau d'isolement à l'aide d'un contrôleur, en isolant temporairement le réseau par un contacteur placé en série dans la connexion du neutre à la terre. La limitation en tension des contacteurs ne permet d'utiliser cette technique que jusqu'à 7.2 KV

Le régime de neutre fortement résistant est, parmi les régimes autorisant le fonctionnement avec un défaut permanent, celui qui présente le plus faible risque de surtension. Pour cette raison, on le préférera chaque fois qu'une raison particulière n'oblige pas à adopter une autre technique.

A. 1. Avantages de neutre à haute résistance : [3]

- Capable limiter la surtension transitoire à un niveau de sécurité élevée.
- Maintient la continuité de service puisque le courant de défaut est faible.
- Il est semblable au système isolé.
- élimine les arcs fugitifs.
- réduction des dommages aux équipements.

A.2. Les inconvénients de neutre à haute résistance : [3]

- Les surtensions élevées quand les résistances utilisées sont très grandes.
- A ne pas utiliser dans le système HT car il pourrait entraîner des dommages au matériel quand le courant de défaut élevé.

A.3. Applications :

Les systèmes de neutre à haute résistance peuvent être avec succès utilisés sur des systèmes avec les redresseurs à C.A. et tout autre courant harmonique produisant les circuits.

- Le plus réussi dans les systèmes de basse tension.
- Habituellement utilisé sur les systèmes industriels de tension moyenne. (Par exemple système 11 kV).

I.5.3.B. Neutre à basse-résistance :

Pour de grands systèmes électriques avec des moteurs directement connectés à la tension de système et pour quel coût est un facteur crucial, le neutre à basse-résistance est choisi. Cette méthode a une résistance à valeur faible insérée entre le neutre de matériel et la terre. [3]

Elle limite le courant de défaut, mais permet toujours laisser le courant suffisant pour actionner les dispositifs de protections.

La mise à la terre du neutre par une résistance de limitation de faible valeur ohmique est souvent considérée comme le meilleur compromis pour les réseaux industriels HT n'exigeant pas une continuité absolue de service.

Lorsque le neutre de la source est accessible, la mise à la terre par résistance est moins coûteuse que par réactance jusqu'à une tension de 15 kV à 20 kV (au-delà, on utilise de préférence une réactance présentant une composante résistive d'autant plus faible que la tension est plus élevée).

Les surtensions sont fortement amorties, à condition de respecter la règle :

$$I_R \geq 2I_C \text{ avec } I_R = \frac{V}{R}$$

$I_R \geq 20A$ courant maximal dans la résistance pendant le défaut.

Les courants capacitifs dépendent de la longueur totale du réseau et surtout des câbles raccordés à un même jeu de barres. [4]

Dans le cas de réseaux alimentant des moteurs ou comprenant des alternateurs, il est particulièrement intéressant de limiter le courant de défaut phase / masse à une valeur de 20 A à 50 A pendant une seconde, car on évite alors, en cas d'amorçage, la destruction du circuit magnétique, rendant ainsi possible la réparation par simple rebobinage. Cette condition ne pourra être réalisée que si $I_C \leq 9$ à 22 A. pour respecter la règle $I_R > 2I_C$

Si le courant capacitif du réseau d'alimentation des moteurs est trop élevé pour permettre la limitation du courant de défaut à 50 A, 1 seconde, on peut diviser le réseau en plusieurs parties alimentées par des jeux de barres distincte, mis à la terre séparément.

Lorsque le réseau n'alimente pas directement des machines tournantes, on fixe la valeur maximale du courant de défaut en fonction de la tenue des écrans de câbles et du coût de la résistance de mise à la terre, lequel croît rapidement avec l'intensité.

Les protections sélectives sont réalisées par des relais de courant différentiel résiduel, simples et robustes, associés à des tores ou des TC. [4]

B.1. Lies avantages de neutre à basse-résistance :

- Contrôle des surtensions produites à un niveau de sécurité élevée dans le générateur par circuits induits capacitifs résonnants si le taux de X_0 /de X_1 n'est pas plus de 10.
- Limite le courant de défaut moins que le courant de défaut triphasé.

B.2. Les inconvénients de neutre à basse-résistance :

- Coût de la résistance neutre fondante.
- N'est pas pratique dans les systèmes HT puisque le courant de défaut reste élevé.

B.3. Applications :

Habituellement utilisé dans les systèmes industriels de basse et moyenne tension.

I.5.3.4. Diagramme vectoriel de neutre résistant dans le cas d'un défaut franc à la terre :

$$I_f = I_N + I_{C2} + I_{C3} \quad (L6)$$

$$I_f = -\frac{V_1}{R_N} \quad (L7)$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C3}$$

$$I_{C2} = jC\omega V_2$$

$$I_{C3} = jC\omega V_3$$

$$I_C = jC\omega V_1$$

$$I_f = -\frac{V_1}{R_N} + 3jC\omega V_1 \quad (L8)$$

$$|I_f| = |V_1| \sqrt{\left(\frac{1}{R_N}\right)^2 + 9C^2\omega^2} \quad (L9)$$

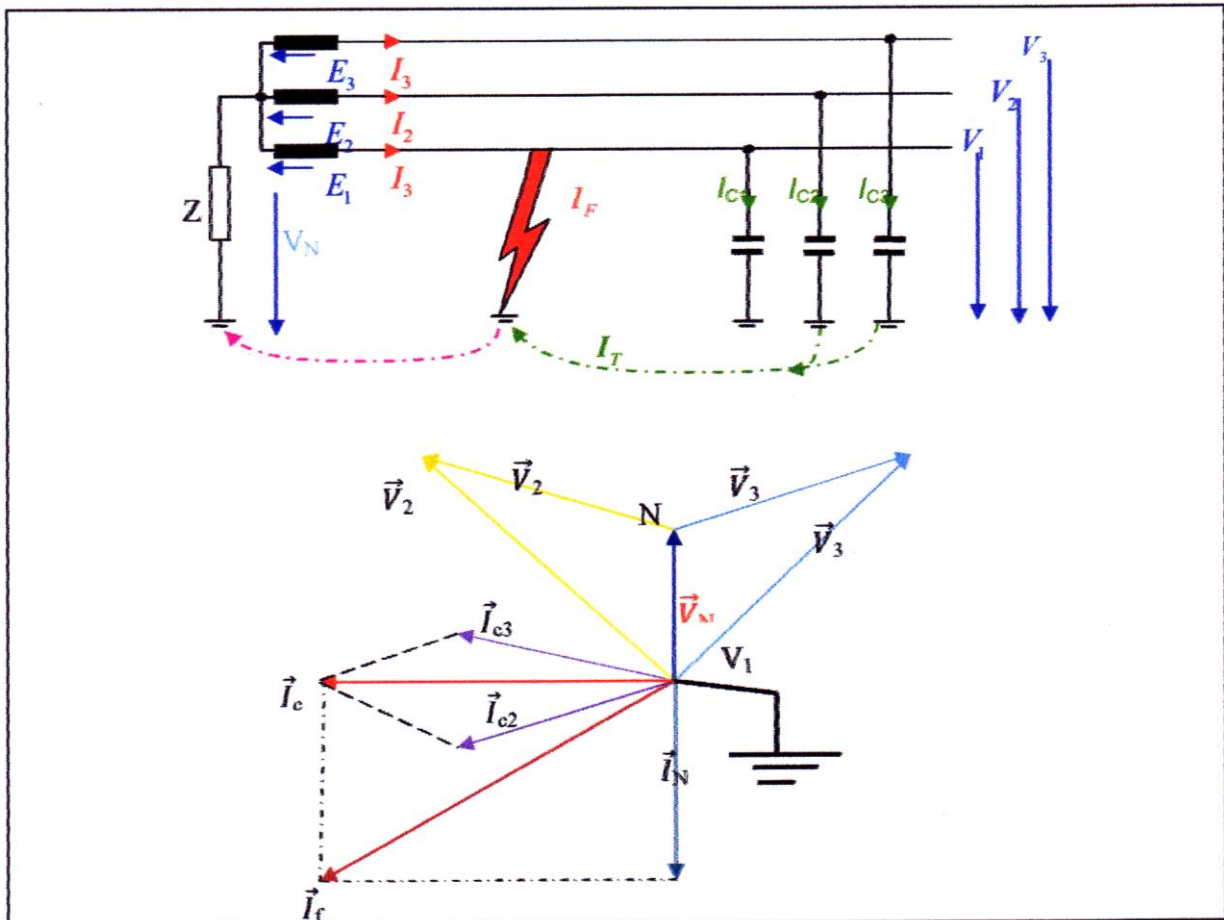


Figure I.6 : Diagramme vectoriel de neutre résistant dans le cas d'un défaut franc à la terre

I.5.4. Neutre compensé : [2], [3]

Le principe consiste à insérer, entre le point neutre du réseau et la terre, une bobine dont la réactance est telle qu'il y ait résonance, à la fréquence industrielle, avec la capacité homopolaire du réseau. Le courant de défaut est donc nul lorsqu'un conducteur est relié accidentellement à la terre (*fig. I.7*).

Il présente, sur le plan de la qualité de service, l'avantage, grâce à l'extinction spontanée des arcs engendrés sur défauts entre phase et terre, de ne pas perturber la distribution comme dans le cas du neutre isolé, Il présente néanmoins les mêmes inconvénients.

Ce système dénommé aussi bobine d'extinction, ou bobine de Petersen repose sur le choix d'une valeur de réactance telle que : $I_d = I_l + I_c = 0$.

Le courant I_l dans la réactance est déphasé de π par rapport au courant I_c dans les capacités des deux phases saines.

La condition d'annulation de I_d correspond à l'accord théorique tel que $3L_n C \omega^2 = 1$

Si le défaut est fugitif (80% des cas en souterrain), d'où continuité de service assurée. Mais s'il est permanent, (20% des cas en aérien, 100% des cas en souterrain), ce courant de défaut rarement nul, mais très faible, peut subsister longtemps sans dommage comme dans le cas neutre isolé. il faut alors procéder à une recherche complexe de l'artère en défaut.

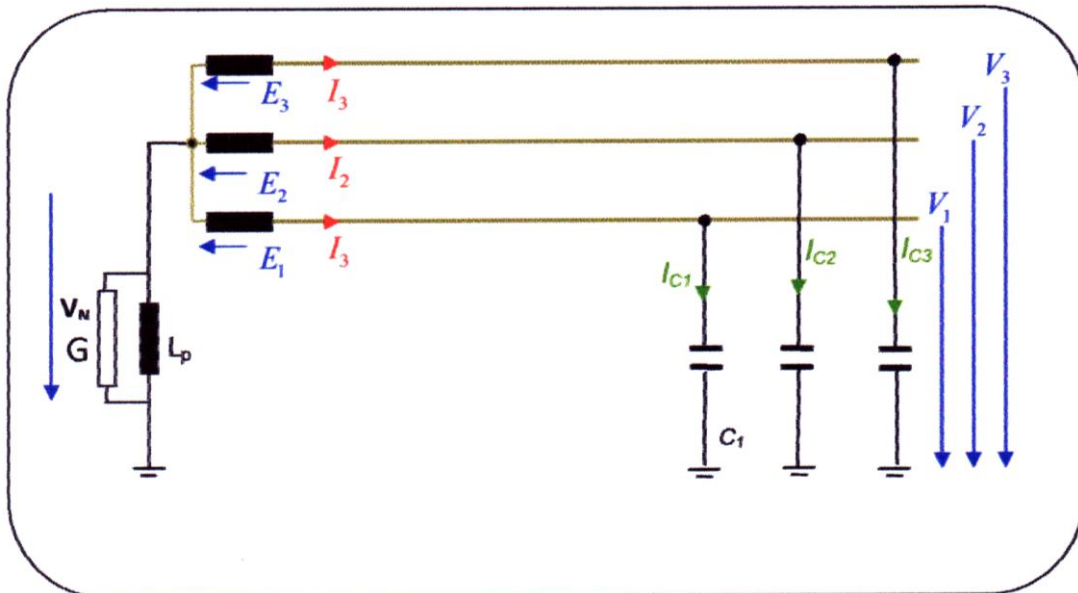


Figure I.7 : Système de neutre compensé

I.5.4.1. Technique d'exploitation :

- ❖ coupure au premier défaut d'isolement

I.5.4.2. Avantages : [1], [2]

- limite de courant de défaut (dégât et perturbations réduits),
- les surtensions transitoires au moment des manœuvres étant toutefois un peu moins élevées.
- si la réactance est telle que condition : $3L_0C_0\omega^2 = 1$

Est respecter, le courant de défaut phase/terre est nul, ceci permet :

- l'extinction spontanée des défauts à la terre non permanents,
- le maintien en service de F installation malgré un défaut permanent, le déclanchement se produisant obligatoirement au deuxième défaut (le respect du décret du 14/11/1962 est obligatoire),
- le premier défaut est signaler par la détection du passage du courant dans la bobine est dimensionnée pour un fonctionnement permanent.

I.5.4.3. Inconvénients : [2]

- difficultés pour réaliser la condition : $3L_0C_0\omega^2 = 1$

En raison de l'incertitude qui existe sur la connaissance de la capacité du réseau : il en résulte que, pendant la durée du défaut, un courant résiduel circule dans le défaut; il faut s'assurer que ce courant ne présente pas danger pour les personnels et les matériels;

- par suite des dérérences de valeur des capacités phase/terre, un courant circule dans la bobine, même en fonctionnement normale,
- les risques de surtension sont importants,
- demande la présence d'un personnel de surveillance,
- protection sélective impossible à réaliser au premier défaut si l'accord: $3L_0C_0\omega^2 = 1$ est réaliser; dans le cas d'un désaccord systématique ($3L_0C_0\omega^2 \neq 1$) la protection sélective au premier défaut est complexe et onéreuse.

I.5.4.4. Applications :

- Réseau de répartition HT (36 à 150kv). [2]
- Habituellement utilisé dans les systèmes industriels de basse et moyenne tension.[3]

I.5.4.5. Diagramme vectoriel de neutre compensé dans le cas d'un défaut franc à la terre :

$$I_f = I_N + I_{C2} + I_{C3} \quad (\text{L6})$$

$$I_f = -\frac{V_1}{R_N} \quad (\text{L7})$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{C2} + \vec{I}_{C3}$$

$$I_{C2} = jC\omega V_2$$

$$I_{C3} = jC\omega V_3$$

$$I_C = jC\omega V_1$$

$$I_f = -\frac{V_1}{R_N} + 3jC\omega V_1 \quad (\text{L8})$$

$$|I_f| = |V_1| \sqrt{\left(\frac{1}{R_N}\right)^2 + 9C^2\omega^2} \quad (\text{L9})$$

$$L_N = -j\frac{V_1}{L\omega} \quad (\text{L10})$$

$$|I_f| = |V_1| \sqrt{9L_N^2 C\omega^2 - \frac{1}{L_N^2 \omega^2}} \quad (\text{L13})$$

$$3C\omega = \frac{1}{L_N\omega} \quad \text{Ou : } 3L_N C\omega^2 = 1 \quad (\text{L14})$$

Le courant dans le défaut est nul, lorsque l'accord est parfait.

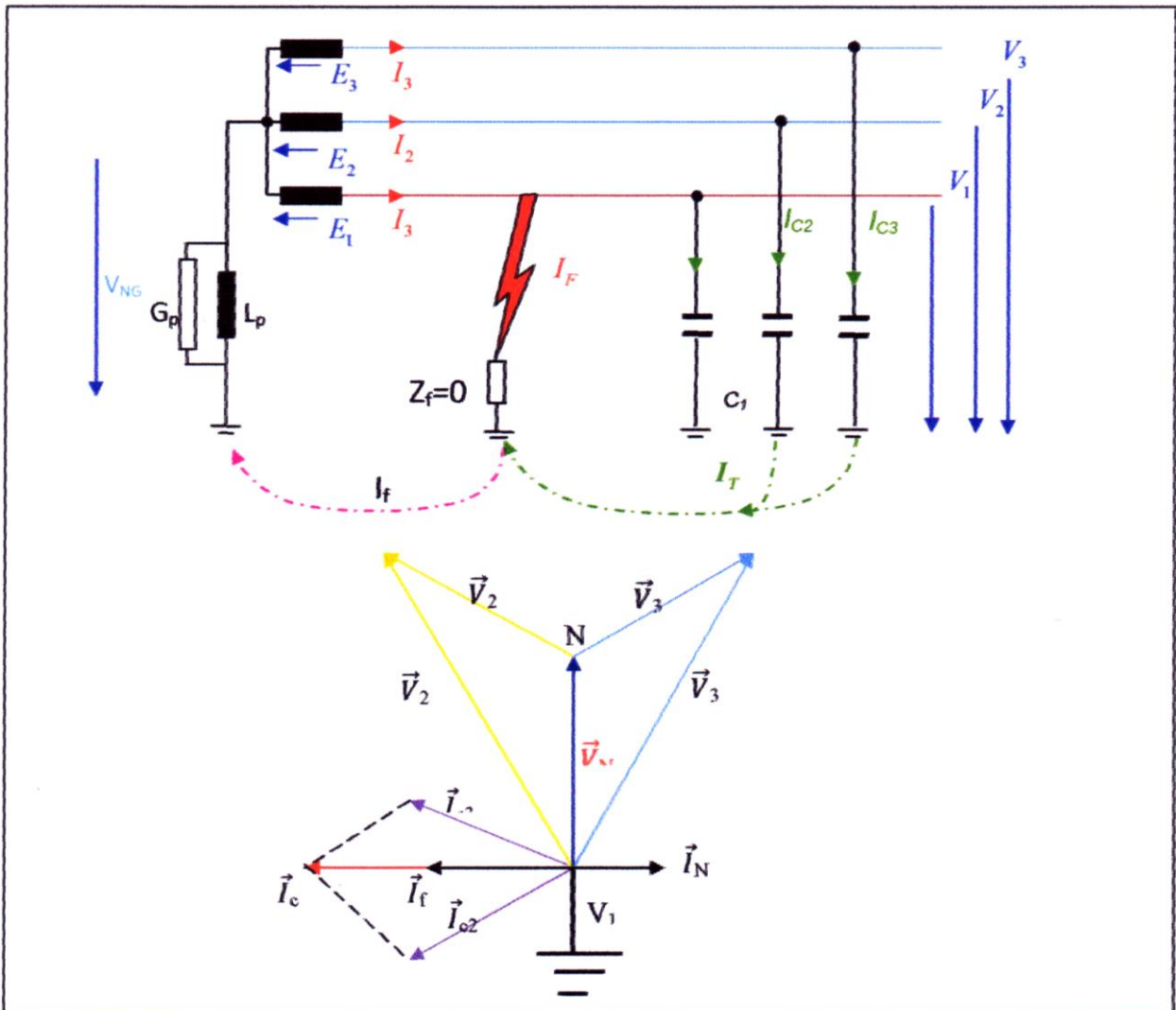


Figure 1.8 : Diagramme vectoriel de neutre compensé dans le cas d'un défaut franc à la terre

1.6. Conclusion :

Il est difficile de donner une opinion à partir de la littérature, extrêmement abondante et parfois contradictoire, consacrée à ce sujet depuis plus d'un demi-siècle.

Le meilleur choix, avec un seul régime de neutre n'existe pas, il convient donc, dans beaucoup de cas de mettre en œuvre plusieurs régimes dans une même installation.

II. 1. Introduction :

Les conséquences d'un défaut électrique sont multiples, parfois non évidentes, à priori difficiles à imaginer, voici quelques exemples :

- ✓ en aval du défaut, le réseau mis hors tension entraîne un arrêt partiel et inopiné de l'exploitation.
- ✓ le siège du défaut est souvent endommagé, d'où démontage, réparation, remplacement, retour en usine, expertise...
- ✓ pendant la durée du défaut, le personnel est confronté à un risque d'électrisation, de brûlures (effets thermiques), voire même de traumatismes (projection ou chute).

Des conséquences peuvent être ressenties également sur les parties saines du réseau, par exemple lors d'un court-circuit :

- chute de tension préjudiciable aux accrochages électriques, aux automates et équipements informatiques.
- perte de stabilité des machines tournantes qui peut, même après élimination du défaut, s'aggraver jusqu'à entraîner l'effondrement total de la distribution et des sources de secours prévues pour assurer la continuité de l'alimentation.

Ainsi donc, dans presque tous les cas, un défaut provoque une interruption d'alimentation et de production.

II.2. Origine et nature de défauts :

La plupart des défauts dans les réseaux de distribution sont provoqués par la foudre pendant un orage. Des surtensions dues à la foudre causent l'amorçage d'un arc électrique dans le réseau. Mais des objets à proximité du conducteur (branches d'un arbre, oiseaux, etc. ...) peuvent également réduire la distance d'isolation de l'air et provoquer de cette manière l'amorçage d'un arc électrique. Une autre cause fréquente de défaut est la détérioration d'un isolateur qui peut entraîner un défaut dû au pouvoir d'isolation affaibli. Une autre cause de défaut plus rare vient des conducteurs rompus ou des lignes tombées à terre.

Pour les câbles, les défauts sont situés, dans la plupart des cas, dans une boîte de jonction défectueuse. Les défauts dans un câble même, sont plus rares, mais existent notamment pour de vieux câbles à cause (Tune dégradation de l'isolant. D'autres causes de défaut sur les câbles sont des endommagements ou coupures pendant des travaux de génie civil, dans les réseaux de distribution nous pouvons distinguer deux classes de défaut :

- Les défauts non permanents (défauts auto-extincteurs ou fugitifs).
- Les défauts permanents.

Les défauts provoquant un arc électrique sont souvent auto-extincteurs lorsqu'il s'agit d'un réseau à neutre compensé. Par contre ils peuvent être réamorçants, c'est-à-dire constitués d'une suite de défauts fugitifs.

II.3. Types de défauts : [3]

Différents types de défauts non équilibrés (asymétriques) qui se produit dans et le milieu industriel peuvent être distingués :

- Défaut phase-terre. (S-L-T)
- Défaut entre deux phases (biphasé). (L-L)
- Défaut biphasés -terre. (L-L-T)
- Défaut triphasés (L-L-L)

II.3.1. Défaut phase-Terre (S-L-T) :

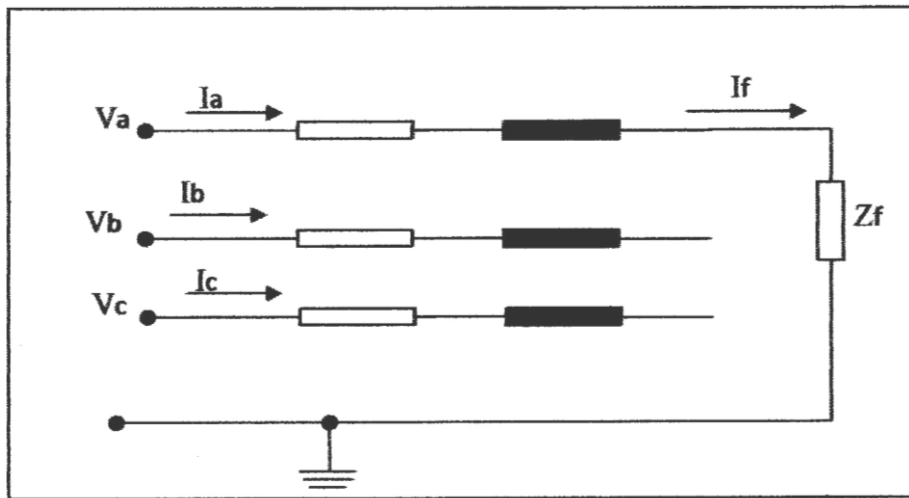


Figure II.1 : Défaut phase-terre

Quand Défaut franc phase-terre se produit, avec $Z_f = 0$, il sera décrit par les équations suivantes :

$$V_a = 0 \quad (\text{II.1})$$

$$I_f = I_a \quad (\text{II.2})$$

$$I_b = I_c = 0, \text{ Où } Z_f = 0, \quad (\text{II.3})$$

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a \quad (\text{II.4})$$

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0 \quad (\text{II.5})$$

Et

$$I_k^{a0} = I_k^{a1} = I_k^{a2} = \frac{V_{k,pre-f}^{a1}}{Z_k^0 + Z_k^1 + Z_k^2 + Z_f} \quad (\text{II.6})$$

$$I_f = I_a = 3I_k^{a0} \quad (\text{II.7})$$

Les équations ci -dessus jouent un rôle important pour déterminer quel le type de la mise à la terre du point neutre à adopter quand le défaut S-L-T se produit.

II.3.2. Défaut entre deux phases (biphasé) (L-L) :

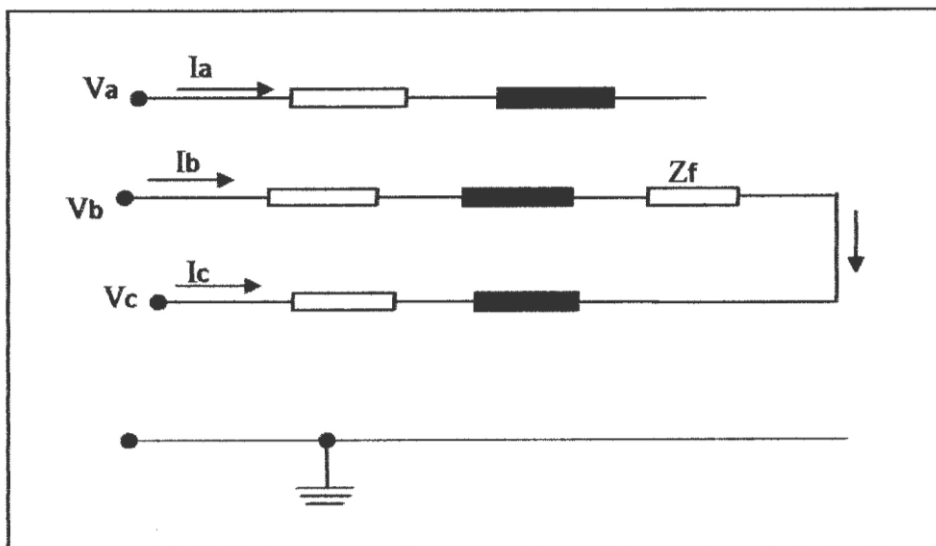


Figure II.2 : Défaut entre deux phases (biphasé)

Quand un défaut franc ($Z_f = 0$), se produit entre deux phases (biphasé), est décrit par les équations suivantes :

$$V_b = V_c = 0 \quad (\text{II.8})$$

$$I_b + I_c = 0 \quad (\text{II.9})$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \quad (\text{II.10})$$

$$I_f = I_b - I_c \quad (\text{II.11})$$

$$I_k^{a1} = -I_k^{a2} = \frac{V_k^a}{Z_k^1 + Z_k^2 + Z_f} \quad (\text{II.12})$$

Les équations ci-dessus jouent un rôle important pour déterminer quel le type de la mise à la terre du point neutre faut-il choisir quand le défaut biphasé (L-L) se produit La vérification des résultats sera faite par l'intermédiaire du power-world simulateur dans cette condition.

II.3.3. Défaut triphasé déséquilibré (L-L-L) :

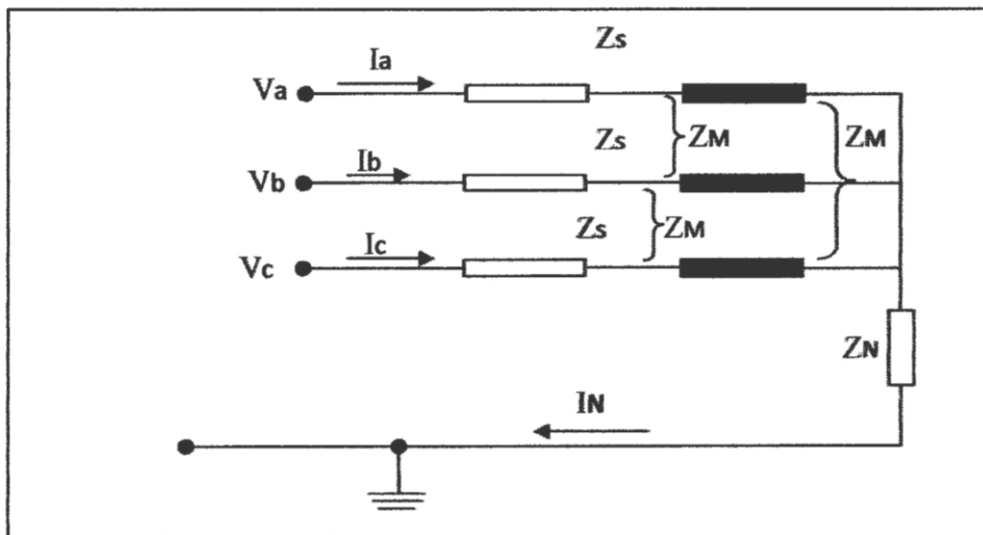


Figure II.3 : Défaut triphasé déséquilibré

Lorsqu'un défaut triphasé déséquilibré se produit avec le défaut franc, c.a.d ($Z_f = 0$), est décrit par les équations suivantes :

$$V_a = V_b = V_c = 0 \quad (\text{II.13})$$

$$I_a = I_b = I_c = 0 \quad (\text{II.13})$$

Les équations ci-dessus jouent un rôle important pour déterminer quel le type de la mise à la terre du point neutre faut-il choisir quand le défaut triphasé déséquilibré (L-L-L) se produit.

II.3.4. Défaut biphasés-terre (L-L-T) :

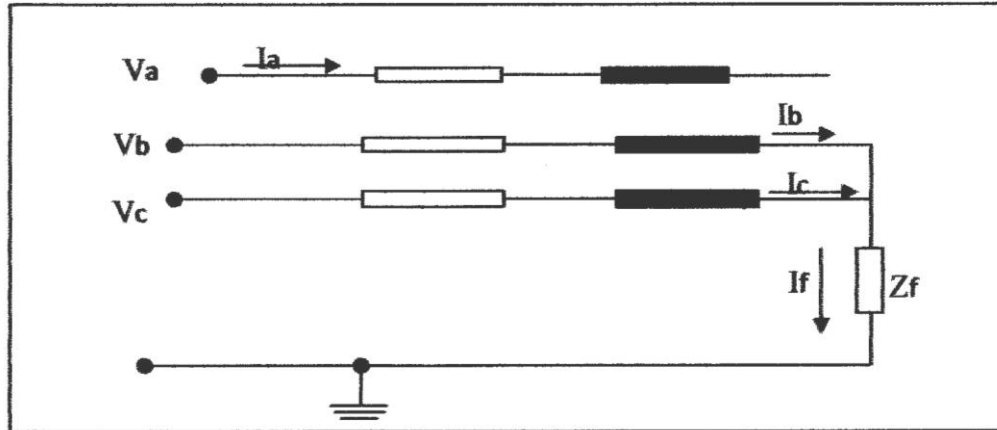


Figure II.4 : Défaut biphasés-terre

Quand un à deux lignes au défaut avec la terre se produit avec le défaut boulonné, c'est $Z_f = 0$, l'état de borne est comme suit :

$$V_b = 0 \quad (\text{II.15})$$

$$V_c = 0 \quad (\text{II.16})$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \quad (\text{II.17})$$

$$I_f = I_b + I_c \quad (\text{II.18})$$

Les équations ci-dessus jouent un rôle important pour déterminer quel le type de la mise à la terre du point neutre faut-il choisir quand le défaut biphasés-terre (L-L-T) se produit. La vérification des résultats sera faite par l'intermédiaire du simulateur power-world dans ces conditions.

II.4. Conclusion :

Le choix d'un régime du neutre dépend de courant de défaut (court-circuit) généralement les courts-circuits peuvent être :

- monophasés : 80 % des cas ;
- biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés ;
- triphasés : 5 % seulement dès l'origine.

Alors il faut respecter ces conditions et nous avons faire le choix selon priorité du défaut phase-terre.

Nous avons cherché, à dégager une idée directrice correspondant aux tendances actuelles en facilitant la recherche d'une solution à ce problème complexe le choix du régime de neutre d'un réseau industriel HT en utilisons le logiciel de simulation Power world simulateur basé sur la méthode des flux de charge (load flow).

III.1. Introduction :

Nous avons une série de charges à alimenter à partir de générateurs. Tous sont dispersés et reliés entre eux par un réseau de liaison maillé. Les capacités de production des différents générateurs étant connues, comment calculer l'état électrique complet du réseau, c'est à dire les courants, tensions et puissances ?

Ce problème général est connu sous le nom de calcul de *répartition de charges ou load flow*.

III.2. Constitution d'un réseau :

III.2.1. Les générateurs :

Les générateurs peuvent fournir une puissance active et fournir ou absorber une puissance réactive dans certaines limites. Les groupes importants tentent de maintenir à leurs bornes un niveau de tension donné.

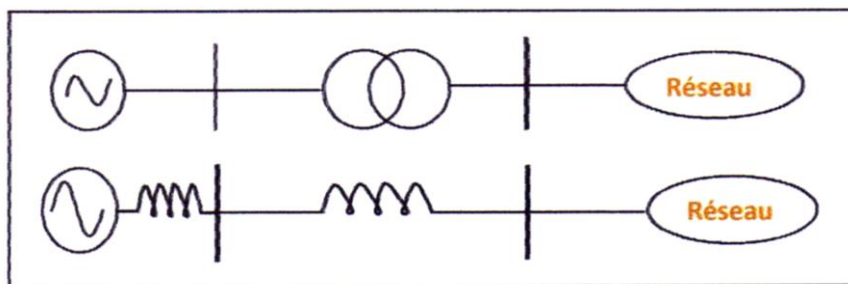


Figure III.1 : Modèle du générateur et du transformateur en système p.u

La machine sera modélisée (très simplement), par une force électromotrice placée derrière une réactance. Pour l'étude d'un régime de fonctionnement 'normal', cette réactance représente la réaction d'induit et est appelée 'réactance synchrone', notée X_s et dont l'ordre de grandeur, dans la base de la machine, est de 1 p.u (100 %).

Pour une étude en régime de court-circuit, la réactance à considérer est la réactance transitoire (ordre de grandeur : 20 à 50 % dans la base de la machines) ou sub-transitoire (10 à 15 %).

III.2.2. Les charges :

La consommation d'énergie électrique est le fait de tous les secteurs de la vie économique: industries, services, ménages. Elle se présente sous des formes très diverses: moteurs synchrones et asynchrones, appareils de chauffage, ...

Au contraire des générateurs, nous ne pouvons individualiser chaque consommation. C'est l'agrégat de consommation en un nœud du réseau qui constitue la « charge » caractérisant ce nœud.

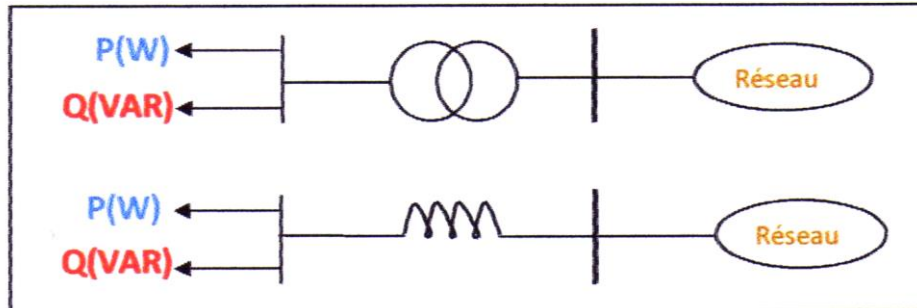


Figure III.2 : Modèle de la charge et du transformateur en système p.u

La puissance appelée par la charge varie avec la tension et la fréquence qui règnent au droit de cette charge. Toutefois, une analyse en régime stationnaire suppose la constance de la fréquence. Dans ce chapitre, nous supposons qu'une charge peut être vue comme consommatrice de puissances active et réactive (P_L , Q_L) constantes. Q_L peut être positive (cas d'une charge inductive) ou négative (cas d'une charge capacitive).

Un nœud intermédiaire (poste d'aiguillage) qui n'est pas relié directement à une charge et/ou un générateur sera considéré comme un nœud « charge » dont les valeurs de P et Q sont nulles.

II 1.2.3. Le réseau proprement dit

Le réseau proprement dit sera constitué des divers éléments de liaison (lignes, câbles, transformateurs) et les dispositifs associés (appareillages de mesure et de protection,...). Sous l'hypothèse de stationnarité et de symétrie triphasée 1, il apparaît que le réseau peut être représenté par un schéma unifilaire. L'utilisation d'un système de grandeurs réduites (per unit) permet de modéliser ce réseau par un circuit composé d'éléments linéaires provenant de l'association des divers schémas équivalents en n des éléments de liaison.

III.3. Bilans de puissances et balancier :

III.3.1. Bilans de puissances :

Le bilan de puissance active du réseau s'écrit :

$$\sum P_G = \sum P_L + \text{Pertes actives du réseau} \quad (\text{III.1})$$

La somme des puissances actives injectées par les générateurs est égale à la somme des puissances actives absorbées par les charges, augmentées des pertes actives du réseau (résistance des lignes, des câbles, etc.). L'ordre de grandeur des pertes est de 5%.

Le bilan de puissance réactive du réseau s'écrit :

$$\sum Q_G = \sum Q_L + \text{Génération ou consommations réactives du réseau} \quad (\text{III.2})$$

La somme des puissances réactives injectées ou absorbées par les générateurs est égale à la somme des puissances réactives consommées/produites par les charges augmentées de la somme des consommations/productions réactives du réseau (réactance des lignes, des câbles, transformateurs, banc de condensateurs etc.). L'ordre de grandeur des consommations/productions réactives du réseau est très variable et peut être relativement élevé.

Le problème qui survient à ce niveau est qu'il n'est pas possible de prédire les termes qui viennent du réseau de manière directe. En effet, ceux-ci dépendent des niveaux réels de tension et de la répartition du transit de puissance dans les lignes et les transformateurs. Or, c'est précisément ce transit que nous cherchons à déterminer.

III.3.2. Le générateur balancier :

Ne connaissant pas les pertes actives en ligne, nous ne pourrions pas imposer P en tous les nœuds (générateurs et charges). Pour résoudre notre problème de «load flow», il faut donc un nœud particulier (dont le rôle est assuré en pratique par un groupe important ou un accès à un réseau important) auquel la puissance active ne pourra être imposée, mais résultera de notre calcul. Nous avons vu qu'à chaque nœud d'un réseau il faut imposer deux des quatre valeurs P, Q, V et δ (phase de V). Vu sa nature, ce nœud particulier se verra également imposé comme référence de tension et de phase $V < \delta$ (δ pris, assez naturellement, à 0).

Nous introduisons donc, dans le schéma équivalent du système étudié, un générateur particulier, dit « *générateur balancier* » ou « *slack bus* ». Celui-ci permettra de faire intervenir dans les calculs les pertes actives du réseau tout en respectant les bilans de puissances décrits au paragraphe précédent.

Considérons le problème élémentaire d'un générateur (V_G, P_G) alimentant une charge (P_L, Q_L) à travers une ligne triphasée. Celle-ci sera modélisée par son schéma équivalent en n. Ce schéma doit répondre à la contrainte (en pu) :

$$\left. \begin{aligned} S_C &= \overline{U_C} \cdot \overline{I_C} = P_L + jQ_L \\ S_G &= \overline{U_G} \cdot \overline{I_G} = P_G + jQ_G \end{aligned} \right\} \quad \text{(III.3)}$$

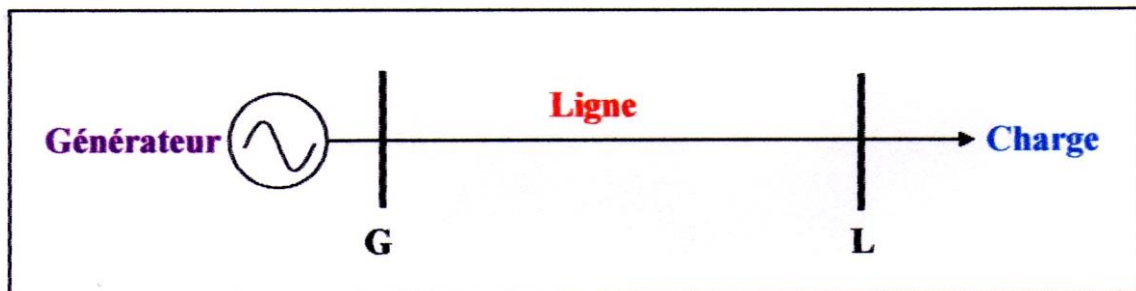


Figure III.3 : Schéma unifilaire d'une transmission de puissance simple

Les inconnues de base 'théoriques' sont $V_G < \delta_G$ et $V_L < \delta_L$, Nous en déduisons aisément courant, puissance de transit, pertes en ligne, etc., soit la résolution complète du calcul de la répartition de charges.

Les éléments connus sont : les caractéristiques du réseau c'est à dire Z ou Y , l'existence d'un générateur (en principe P_G et $|V_G|$) et la charge (P_L, Q_L) Tel quel, ce problème est insoluble si $P_G \neq (P_L + \text{pertes en ligne})$, ce qui est impossible pratiquement. Il importe donc de fixer arbitrairement (mais logiquement) un niveau de tension dans le système. Cette référence de tension s'exprime en module. Il nous faut encore une référence de phase. Il est logique de faire jouer le rôle de référence de tension au générateur balancier. Le générateur de la figure III.3 apparaîtra donc comme un générateur aux bornes duquel nous imposerons le module de la tension et la phase (usuellement $V_G < 0^\circ$). Ce concept de balancier est indispensable au niveau du modèle utilisé et le problème du choix du générateur se pose.

Le schéma III.4. se résout alors directement.

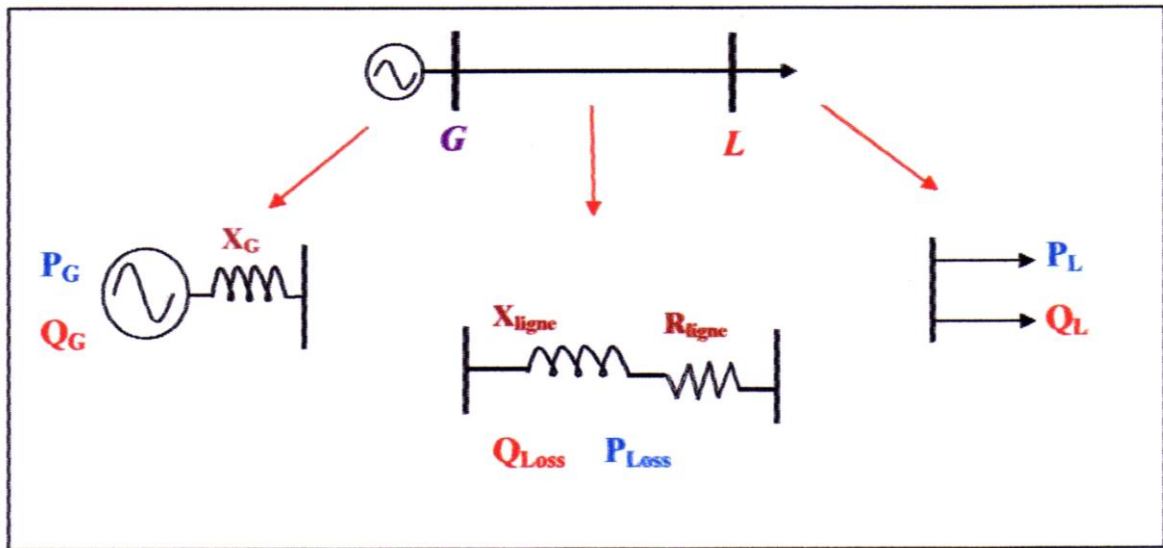


Figure III.4 : Introduction des modèles p.u. à partir du schéma descriptif

En l'absence de transformateurs (ou, à partir d'un modèle simplifié et dans le cas particulier du système per unit lorsque les transformateurs sont modélisés par une simple impédance que l'on peut intégrer dans Z_{Line}), le schéma équivalent suivant se déduit.

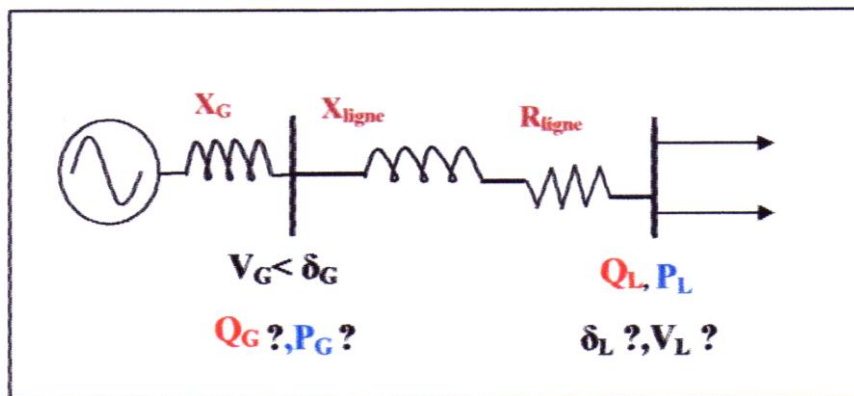


Figure III.5 : Schéma simplifié équivalent par phase du circuit (en p.u.)

Pour rendre ce cas réel, il faut imaginer que nous devons alimenter une charge « P_L, Q_L » à partir d'un générateur qui joue en fait le rôle de balancier ! En effet, il va devoir s'adapter à la demande du réseau.

Les expressions des puissances actives et réactives injectées aux nœuds G et L sont données par les formules suivantes. Elle font intervenir les tensions et phases de chaque nœud.

La connaissance des tensions et phases en chaque nœud nous permet de déterminer toutes les puissances complexes injectées ainsi que les transits (S et I complexes) entre chaque nœud.

Selon les conventions de la figure III.5 et notant $Z_{\text{ligne}} = Z \angle \gamma$, nous avons :

$$P_G = \frac{V_G^2}{Z} \cos \gamma - \frac{V_G V_L}{Z} \cos(\delta_G - \delta_L + \gamma) \quad (\text{III.4})$$

$$Q_G = \frac{V_G^2}{Z} \sin \gamma - \frac{V_G V_L}{Z} \sin(\delta_G - \delta_L + \gamma) \quad (\text{III.5})$$

$$P_L = \frac{V_L^2}{Z} \cos \gamma - \frac{V_L V_G}{Z} \cos(\delta_L - \delta_G + \gamma) \quad (\text{III.6})$$

$$Q_L = \frac{V_L^2}{Z} \sin \gamma - \frac{V_L V_G}{Z} \sin(\delta_L - \delta_G + \gamma) \quad (\text{III.7})$$

Les deux dernières équations (III.6) et (III.7) du système consistent en un jeu de deux équations à autant d'inconnues (V_G et δ_G). Sa résolution permet de déterminer les valeurs de l'ensemble des tensions nodales complexes !

En supposant que les tensions et phases sont connues en chaque nœud (donc que le précédent système a été résolu), les deux premières lignes du système (III.4), (III.5) permettent ensuite le calcul P_G et Q_G .

En résumé, le problème de la répartition de charge d'un réseau donné est correctement posé si nous considérons, en chaque nœud du réseau, un des types de contraintes ci-dessous :

❖ *P et Q imposés :*

Nœud où est connecté une charge (avec le cas particulier P et $Q = 0$), représentent environ 80% des nœuds.

❖ *P et V imposés :*

Nœud où est connecté un générateur destiné à soutenir la tension, (environ 20% des nœuds).

❖ *V et δ imposés :*

Nœud où est connecté un générateur qui joue le rôle de balancier. H n'y en a qu'un seul.

III.4. Programme de Load Flow :

Nous allons utiliser un des logiciels de load flow pour déterminer la meilleure méthode de mise à la terre du neutre (logiciel : 'Power World'), ce dernier est un logiciel très facile et utile de faire simulation des régimes. Il peut calculer dehors le courant de défaut pour chaque bus. Il calcule également dans la ligne la tension de défaut dedans n'importe où du réseau.

III.5. Procédures :

Premièrement, avant que tous les modèles de système soient établis en power-world, identifier la tâche et le nécessaire objectif de gagner et réaliser de créer le système.

Deuxièmement, recueillir toutes les données appropriées requises pour accumuler la caisse (un terme utilisé dans le power-world simulateur).

Troisièmement, accumuler le système (cas) et commencer la simulation au besoin (par exemple analyse des défauts). Pour finir, obtenir les résultats appropriés de la simulation et analyser les résultats.

Cinq méthodes de mise à la terre du neutre (utilisés dans les industries) ont été adoptés comme suit :

- a) neutre direct.
- b) neutre à haute résistance.
- c) neutre à basse-résistance.
- d) neutre isolé.
- e) neutre compensé.

Quatre types de défaut utilisés pour chacune de ces derniers au-dessus des régimes de neutre:

- a) Défaut phase-terre.
- b) Défaut entre deux phases (biphasé).
- c) Défaut déséquilibré triphasé.
- d) Défaut des deux phases et terre.

III.6. Représentation du circuit :

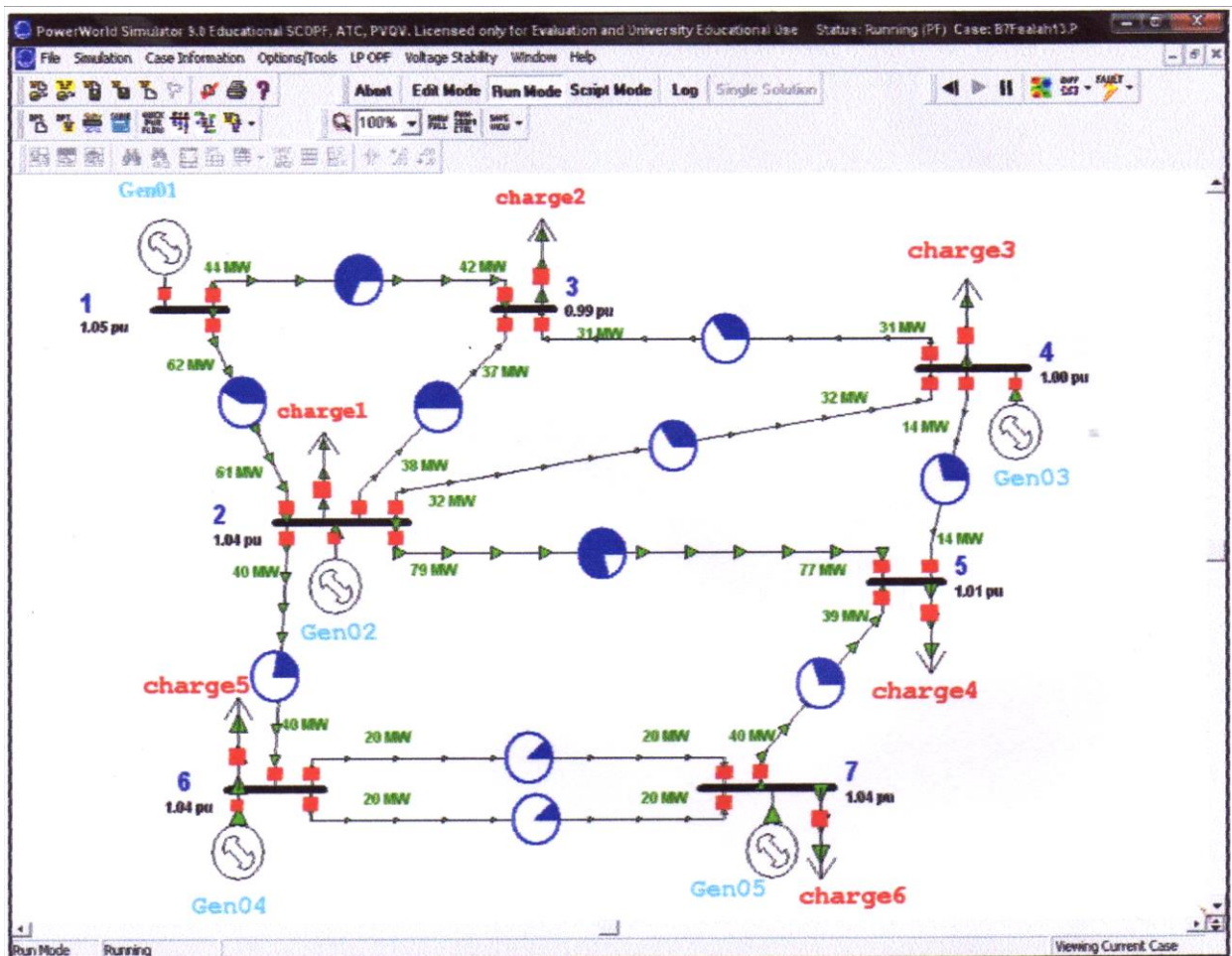


Figure III.6 : L'interface de logiciel « power world » simulateur

La simulation est faite à ce circuit est basé sur ces derniers au-dessus des méthodologies, des données obtenues à partir du power-world Simulator seront compilées et analysées complètement.

III.7. Caractéristiques de réseau utilisé :

III.7. Les générateurs :

Pour donner les valeurs des générateurs le logiciel « power world » permet de charger ces valeurs comme montré dans la figure III.7;

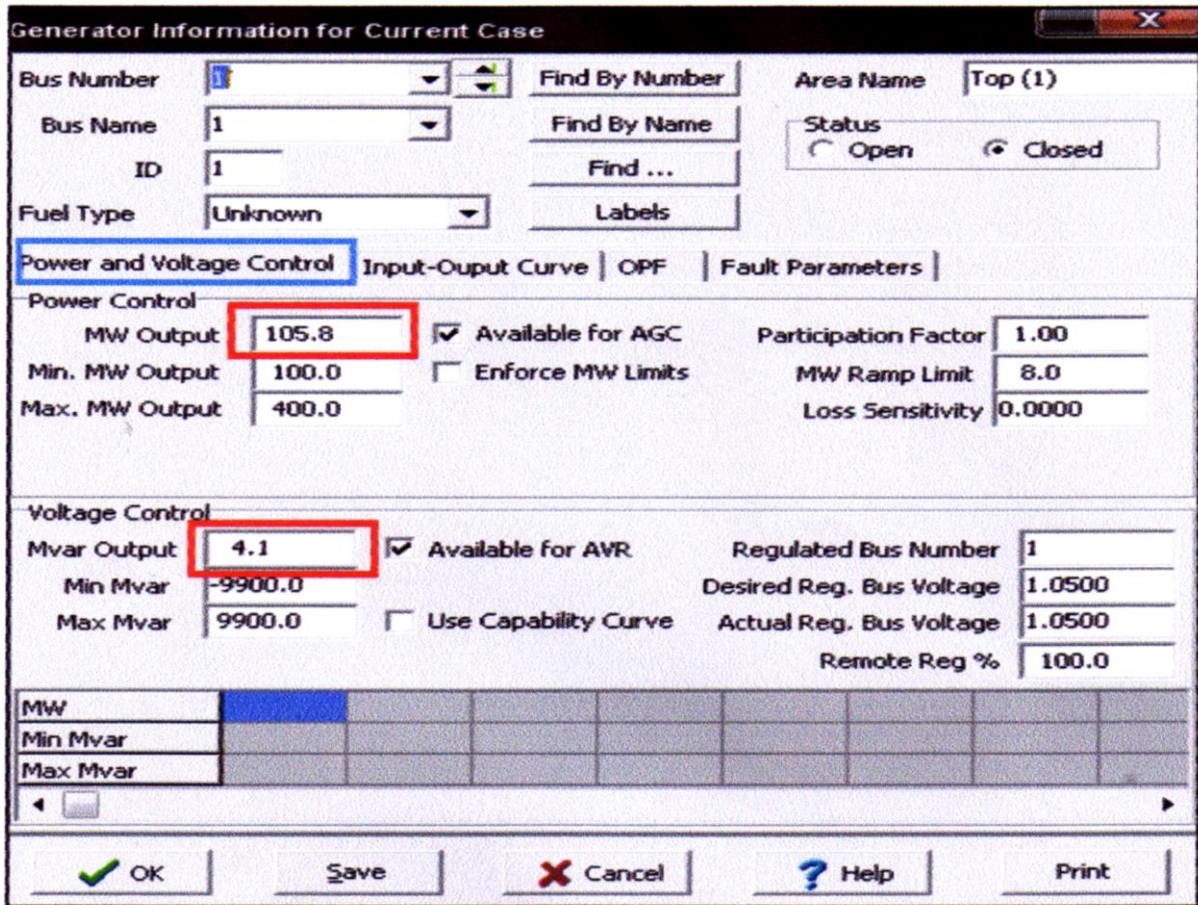


Figure III.7 : Chargement les paramètres de générateurs

	<i>Puissance active (MW)</i>	<i>Puissance réactive (MVAR)</i>
<i>Générateur 1</i>	105.8	4.1
<i>Générateur 2</i>	167.8	34.2
<i>Générateur 3</i>	93.8	20.5
<i>Générateur 4</i>	200.3	-6.6
<i>Générateur 5</i>	200.4	51.4

Tableau III.1 : La puissance active et réactive des générateurs

III.7.2. Les paramètres des charges :

De même façon pour les charges : load option / load information / base load model / constant power.

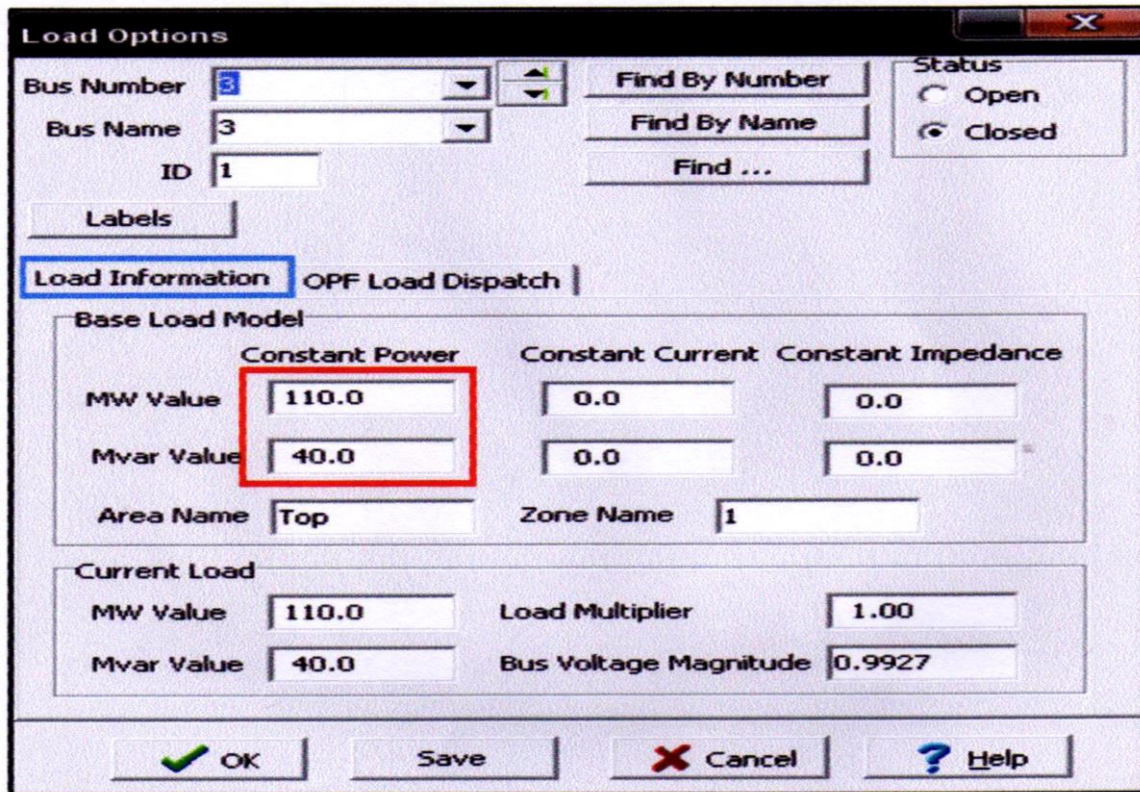


Figure III.8 : Chargement les paramètres de la charge

	<i>Puissance active (MW)</i>	<i>Puissance réactive (MVAR)</i>
<i>Charge 1</i>	40	20
<i>Charge 2</i>	110	40
<i>Charge 3</i>	80	30
<i>Charge 4</i>	130	40
<i>Charge 5</i>	200	0
<i>Charge 6</i>	200	0

Tableau III.2 : La puissance active et réactive des charges

III.7.3. Les paramètres des lignes :

The screenshot shows a software interface for configuring transmission line parameters. The 'Parameters' tab is active, and the 'Series Resistance (R)' field is highlighted with a red box, showing a value of 0.06000. Other parameters include Series Reactance (X) at 0.18000, Shunt Charging (B) at 0.0400, and three MVA limits (A, B, C) all set to 80.00. The status is set to 'Closed'.

Figure III.9 : Chargement les paramètres des lignes

Les lignes	jeu de barre du départ	jeu de barre d'arrive	Résistance (R) en p.u	Réactance (X) en p.u	Substance (B) en p.u
Ligne 1	1	2	0.02	0.06	0.06
Ligne 2	1	3	0.08	0.24	0.05
Ligne 3	2	3	0.06	0.018	0.04
Ligne 4	3	4	0.01	0.03	0.02
Ligne 5	2	4	0.06	0.18	0.04
Ligne 6	2	5	0.04	0.12	0.03
Ligne 7	7	5	0.04	0.06	0.04
Ligne 8	2	6	0.02	0.06	0.05
Ligne 9	6	7	0.08	0.24	0.05

Tableau III.3 : Les paramètres des lignes

III.7.4. Les paramètres des jeux de barres :

The screenshot shows the 'Bus Information for Current Case' dialog box. The 'Voltage (p.u.)' field is set to 1.0000 and the 'Voltage (kV)' field is set to 138.00. Other parameters include Bus Number 4, Bus Name 4, Area Number 1, Area Name Top, Zone Number 1, and Angle (deg) 1.317. The 'Status' is set to 'Connected'. The 'Load Information' section shows Current MW 80.0 and Current Mvar 30.0. The 'Generator Information' section shows Total MW 89.8 and Total Mvar 21.9. The 'Shunt Admittance' section shows G (MW) 0.0 and B (Mvar) 0.0. The 'View All Flows at Bus' button is visible at the bottom.

Figure III.10 : Chargement les paramètres des jeux de barres

La tension de barre de systèmes est égale à 138 KV = 1 p.u.

<i>Les jeux de barres</i>	<i>La tension en p.u</i>	<i>La tension en KV</i>
1	1.05	144.9
2	1.04	143.52
3	0.9926	136.98
4	1	138
5	1.0066	138.92
6	1.04	143.52
7	1.04	143.52

Tableau III.4 : Les paramètres des jeux de barres

Ces valeurs ont été calculées à partir de la fiche technique, et ces valeurs sont utilisées pour différents régimes de neutre (tableau III.5).

Les régimes du neutre	Les valeurs de R et X en p.u.
Neutre avec haute résistance	R = 9.388 p.u.
Neutre avec basse résistance	R = 0.56 p.u.
Neutre isolé	R = X = 0
Neutre direct	R = X = 1×10^9 p.u.
Neutre compensé	X = 9.347 p.u.

Tableau III.5 : Les valeurs des résistances et réactances de chaque régime

Pour effectuée ces régimes dans les transformateurs et les générateurs on a choisie «fault parameters» et modifié les valeurs de R et X dans la case « neutral-to-Ground impédance » correspondant le régime choisie (figure III.11).

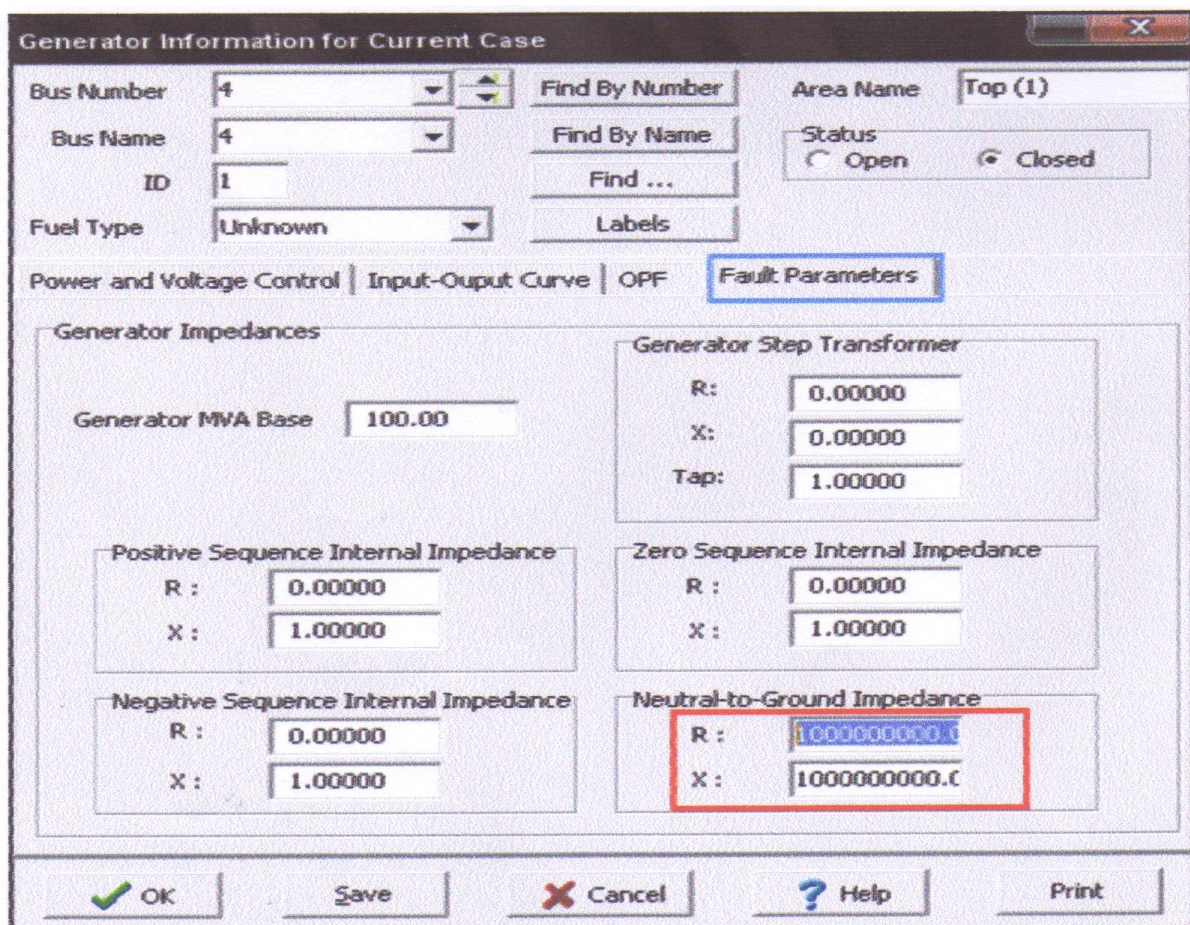


Figure III.11 : Chargement des valeurs de régime utilisé

III.8. Conclusion :

Le logiciel de Simulation PowerWorld™ (version 9) résout le flux de puissance et les problèmes économiques d'expédition. C'est un module interactif de simulation de système d'alimentation conçu pour simuler le fonctionnement à haute tension de système d'alimentation sur une trame de temps s'étendant de plusieurs minutes à plusieurs jours. Des techniques puissantes de visualisation sont utilisées sur une base interactive, ayant pour résultat une interface graphique utilisateur extrêmement intuitive et facile à utiliser (GUI). Le GUI inclut l'animation des diagrammes d'une ligne avec le soutien du panoramique, du changement de plan et de l'affichage conditionnel des objets.

Discussion générale :

A partir des résultats en chapitre IV, les tableaux suivantes de divers systèmes du neutre peuvent être faites.

Puisque les résultats des défauts déséquilibrés triphasés n'affichent aucune différence avec aucune de 5 stratégies de neutre. Par conséquent nous l'ignorons.

<i>Neutre isolé</i>	= <i>NI</i>
<i>Neutre mis directement à la terre</i>	= <i>ND</i>
<i>Neutre de haute résistance</i>	= <i>HR</i>
<i>Neutre de basse-résistance</i>	= <i>BR</i>
<i>Neutre compensé</i>	= <i>NC</i>

V.1. Défaut de courant du système :

Type de défaut	Stratégie du neutre	
	<i>meilleure</i>	<i>mauvaise</i>
Défaut phase-terre	<i>NC, BR</i>	<i>NI, ND</i>
Défaut du deux phases et terre	<i>NC, HR, NI</i>	<i>ND</i>

Tableau V.1 : La meilleur stratégies du neutre dans le système

Dans ce cas nous avons ignorer le défaut biphasé puisque aucune déférence entre les régimes du neutre.

V.2. Les défauts de courant dans les générateurs :

En prendre le défaut de phase-terre puisque aucune déférence entre les régimes du neutre dans le cas d'un défaut de déséquilibre triphasé.

Le tableau suivant représente la meilleur et/ou mauvaise stratégie du neutre dans les Cinq générateurs dans le cas d'un défaut phase-terre.

Les générateurs	Stratégie du neutre	
	<i>meilleure</i>	<i>mauvaise</i>
<i>Générateur 1</i>	<i>ND, NC</i>	<i>HR</i>
<i>Générateur 2</i>	<i>NC, ND</i>	<i>BR</i>
<i>Générateur 3</i>	<i>NC</i>	<i>BR</i>
<i>Générateur 4</i>	<i>NC</i>	<i>NI, ND, BR, HR</i>
<i>Générateur 5</i>	<i>ND, NC</i>	<i>BR</i>

Tableau V.2 : La meilleur stratégies du neutre dans les générateurs

V.3. Les tensions des phases dans le cas d'un défaut de courant :

Les générateurs	Stratégie du neutre	
	<i>meilleure</i>	<i>mauvaise</i>
<i>Défaut phase-terre</i>	<i>NC, BR</i>	<i>NI, HR</i>
<i>Défaut biphasé</i>	<i>Néant</i>	<i>Néant</i>
<i>Défaut du deux phases et terre</i>	<i>Néant</i>	<i>Néant</i>

Tableau V.3 : La meilleur stratégies du neutre à partir des tensions

La recherche sur le système de 7 jeux de barres en ce concerné le courant de défaut et la tension a prouvé le choix de deux régimes de neutre (*neutre compensé* et *neutre a faible résistance*). si en tient comptes d'autre paramètres non étudié dan ce travaille en pourra choisir un des deux. Ainsi en appliquant différentes techniques du neutre dans n'importe quel système électrique, la continuité de service et la sûreté des équipement doivent toujours être une priorité.

IV.1. Introduction :

Les courbes suivantes sont les résultats obtenus à partir du calcul de power world dans tout les cas des types des défauts de courant (phase-terre ; biphasé ; deux phases et terre ; triphasé déséquilibré).

Se sont des courbes du courant de défauts et des tensions de chaque régime de neutre.

IV.2. Défaut de courant dans les jeux de barres :

A. Défaut phases-terre :

<i>Jeu de barre</i>	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	1580.44	1876.97	1398.48	1491.05	1432.57	1683.96	1533.19
If (Compensé) (A)	828.53	728.847	759.654	763.49	749.811	774.79	801.266
If (Haut R) (A)	980.87	857.1	898.91	902.68	885.71	912.85	945.414
If (Isolé) (A)	999.226	862.737	917.215	919.316	919.316	902.226	966.047
If (Basse R) (A)	1746.29	1923.41	1594.8	1655.52	1622.92	1786.68	1123.01

Tableau IV.1 : Le courant de défaut phase-terre dans chaque régime

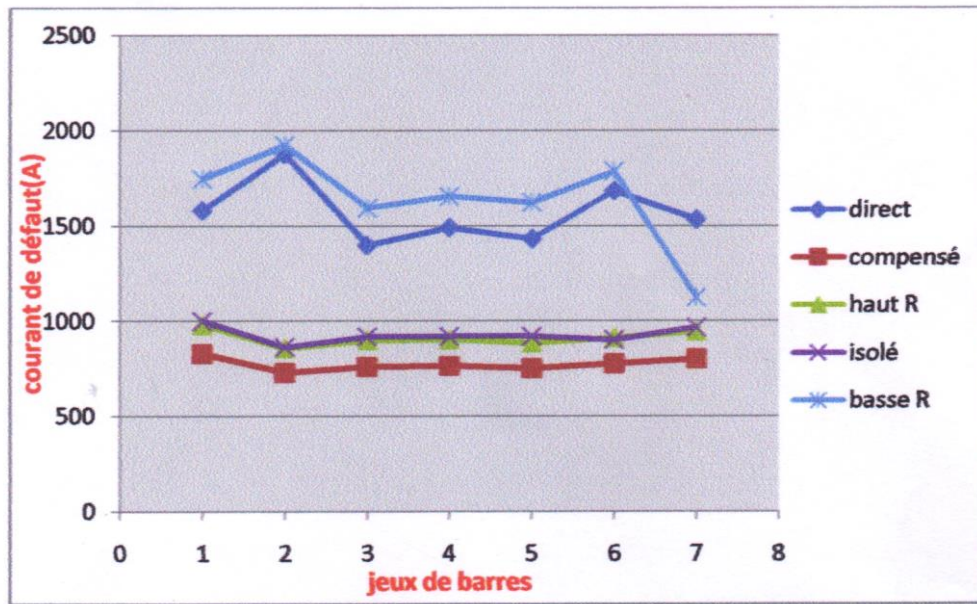


Figure IV.1 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut phase-terre

- Le jeu de barre 2 produit une grande courant de défaut dans le système direct.
- Le courant de défaut dans les systèmes : haute résistance, isolé et direct est grande.
- le système compensé produit un courant de défaut faible par rapport les autres systèmes.

Dans ce cas la meilleur stratégie c'est le système de neutre compensé.

B. Défaut biphasé :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Compensé) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Isolé) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Haut R) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Direct) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Basse R) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64

Tableau IV.2 : Le courant de défaut biphasé dans chaque régime

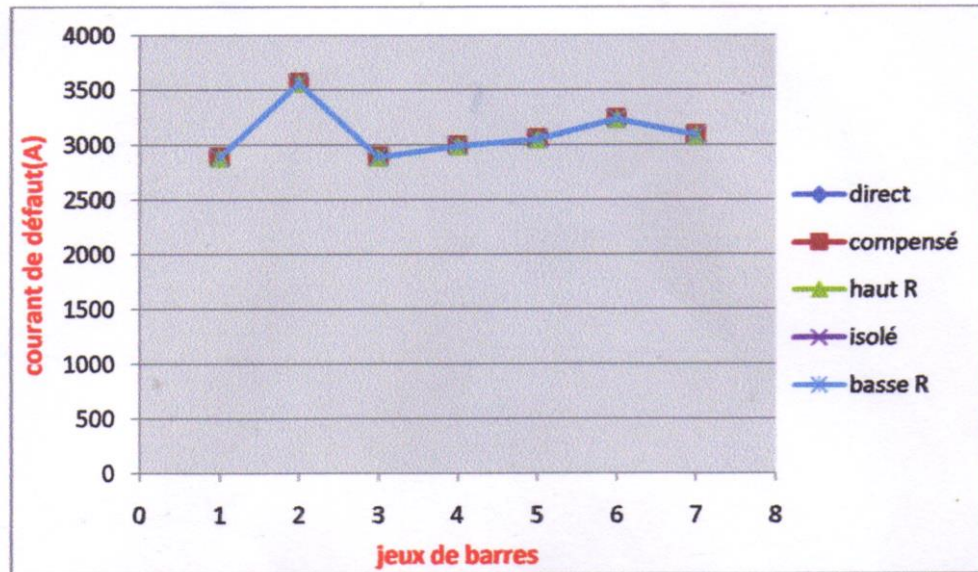


Figure IV.2 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut entre deux phase

- Le jeu de barre 2 produit une grande courant de défaut.

Aucune déférence entre les stratégies des régimes de neutre.

C. Défaut déséquilibre :

<i>Jeu de barre</i>	1	2	3	4	5	6	7
If (Compensé) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Isolé) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Haut R) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Direct) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64
If (Basse R) (A)	2887.1	3564.45	2890.61	2991.67	3055.61	3237.44	3088.64

Tableau IV.3 : Le courant de défaut déséquilibre dans chaque régime

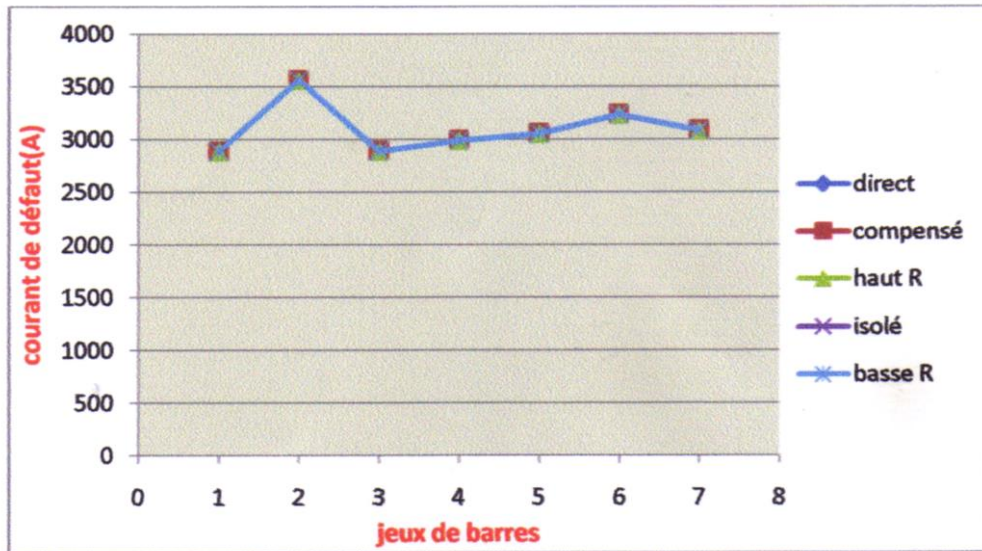


Figure IV.3 : Courant de défaut dans le cas d'un déséquilibre triphasé

- Le jeu de barre 2 produit une grande courant de défaut.

Aucune différence entre les stratégies des régimes de neutre.

D. Défaut de deux phases et terre :

<i>Jeu de barre</i>	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	1580.44	1876.97	1398.48	1491.05	1432.57	1683.96	1533.19
If (Compensé) (A)	828.53	728.847	759.654	763.49	749.811	774.79	801.266
If (Haut R) (A)	980.87	857.1	898.91	902.68	885.71	912.85	945.414
If (Isolé) (A)	999.226	862.737	917.215	919.316	919.316	902.226	966.047
If (Basse R) (A)	1182.25	1253.7	1062.51	1100.08	1076.53	1192.17	1123.01

Tableau IV.4 : Le courant de défaut de deux phase-terre dans chaque régime

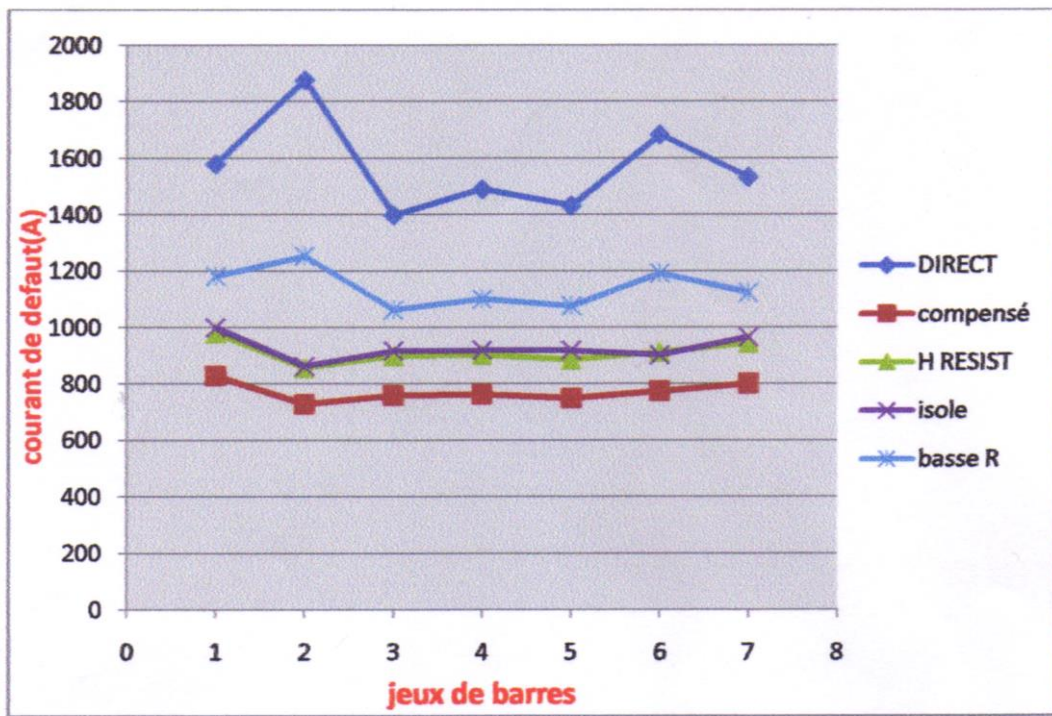


Figure IV.4 : Courant de défaut dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre

- Le système direct produit un grand courant de défaut.
- Le système compensé produit un courant de défaut faible par rapport les autres systèmes.

Le système direct est une mauvaise stratégie.

IV.3. Les défauts de courant sur les générateurs :

A.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur1 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	620.66	578.86	497.08	497.4	478.63	512.64	474.94
If (Compensé) (A)	592.1	489.48	534.19	529.97	520.62	525.53	522.47
If (Haut R) (A)	665.61	576.97	583.35	579.16	563.44	572.55	564.7
If (Isolé) (A)	655.9	558.32	575.17	569.16	555.11	560.26	557.82
If (Basse R) (A)	670.03	640.35	564	566.3	546	579.39	539.98

Tableau IV.5 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur1 (phase a)

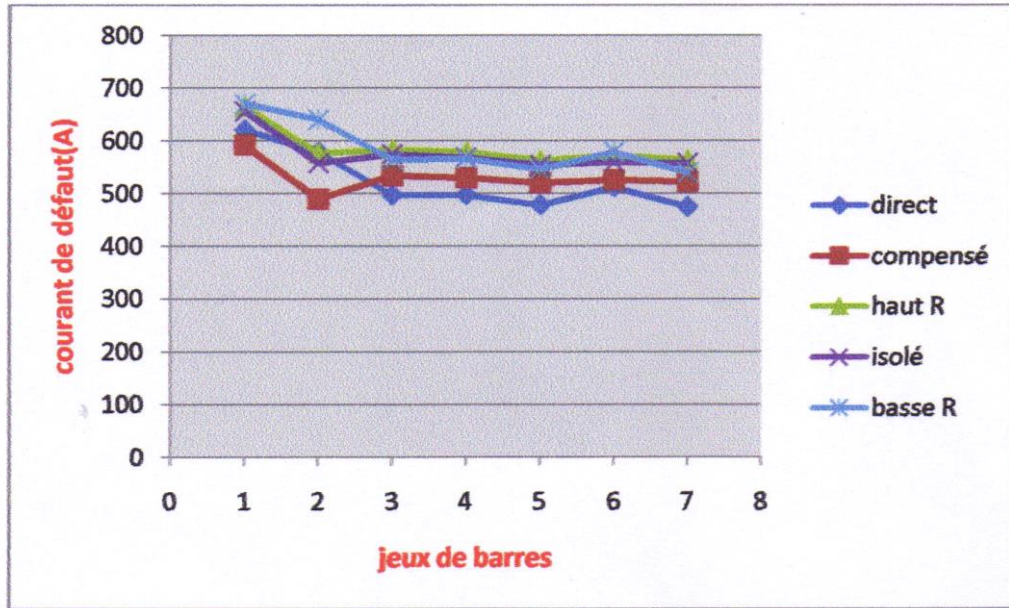


Figure IV.5 : Défaut de courant phases et terre dans le générateur1 (phase a)

- Le jeu de barre 1 produit un grand courant de défaut.

La meilleur stratégie aux systèmes dans ce cas c'est le neutre directe.

A.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	620.66	584.57	488.69	485.54	468.29	504.37	457.84
If (Compensé) (A)	620.64	584.55	488.67	485.52	468.27	504.35	457.84
If (Haut R) (A)	620.66	584.57	488.69	485.54	468.29	504.37	457.84
If (Isolé) (A)	620.66	584.57	488.69	485.54	468.29	504.37	457.84
If (Basse R) (A)	624	588.52	492.74	489.41	472.78	508.83	462.49

Tableau IV.6 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a)

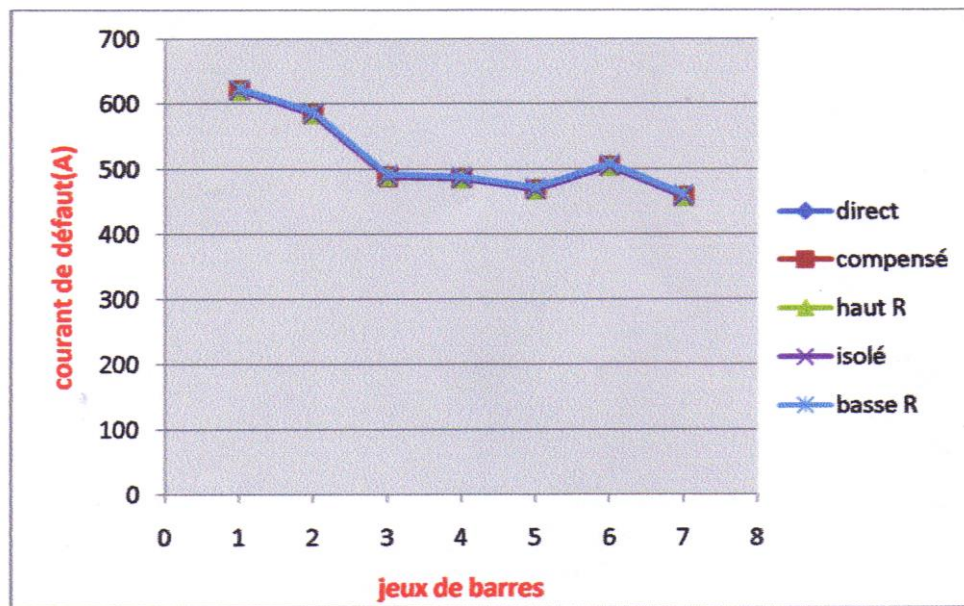


Figure IV.6 : Défaut de déséquilibre dans le générateur1 (phase a)

- Les jeux de barres 3,5 et 7 produit une faible courant de défaut.
- Le jeu de barre 1 produit un grand courant de défaut.

Aucune déférence entre les stratégies des régimes de neutre ce cas la.

B.1. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	816.43	884.89	777.32	781.54	773.76	813.89	771.94
If (Compensé) (A)	808.82	789.01	794.1	791.95	790.7	794.56	794.66
If (Haut R) (A)	874.33	843.71	845.38	843.57	837.16	845.4	845.4
If (Isolé) (A)	854.19	818.57	830.89	827.39	823.69	827.44	828.86
If (Basse R) (A)	885.73	944.59	845.36	851.75	842.3	880.1	837.16

Tableau IV.7 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur2 (phase a)

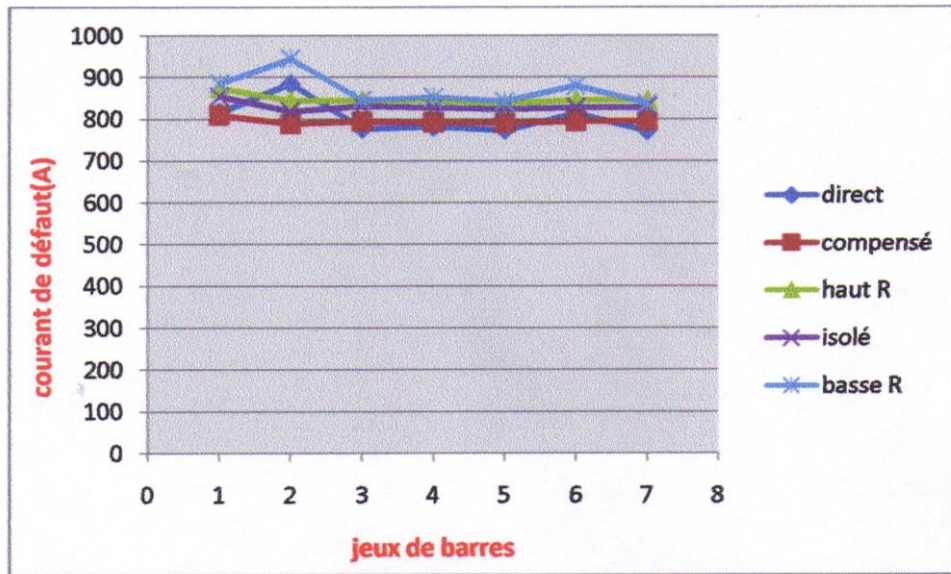


Figure IV.7 : Défaut de courant phases et terre dans le générateur2 (phase a)

- Les jeux de barres 3,5 et 7 produit une faible courant de défaut.

La meilleur stratégie aux systèmes dans ce cas c'est le neutre directe.

B.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	788.2	884.89	755.79	758.43	757.64	799.89	748.35
If (Compensé) (A)	788.2	884.89	755.79	758.43	757.64	799.89	748.35
If (Haut R) (A)	788.2	884.89	755.79	758.43	757.64	799.89	748.35
If (Isolé) (A)	788.2	884.89	755.79	758.43	757.64	799.89	748.35
If (Basse R) (A)	793.94	889.98	760.94	763.36	763.06	805.32	753.89

Tableau IV.8 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur2 (phase a)

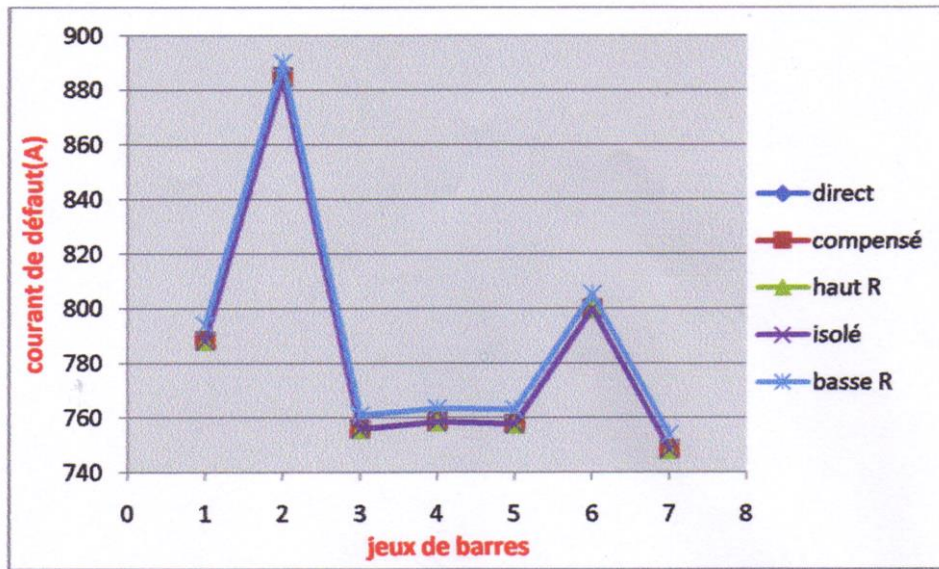


Figure IV.8 : Défaut de déséquilibre dans le générateur1 (phase a)

- Les jeux de barres 3 et 7 produit une faible courant de défaut.
- Le jeu de barre 2 produit un grand courant de défaut.

Aucune déférence entre les stratégies des régimes de neutre ce cas la.

C.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	552.31	601.44	595.52	638.6	523.99	539.07	511.75
If (Compensé) (A)	512.51	525.53	525.93	532.7	498.61	495.06	499.67
If (Haut R) (A)	573.87	538.5	584.28	595.02	544.15	541.77	544.15
If (Isolé) (A)	554.39	515.09	569.85	578.77	529.9	523.76	531.17
If (Basse R) (A)	583.92	620.24	605.44	635.09	552.86	569.66	542.79

Tableau IV.9 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a)

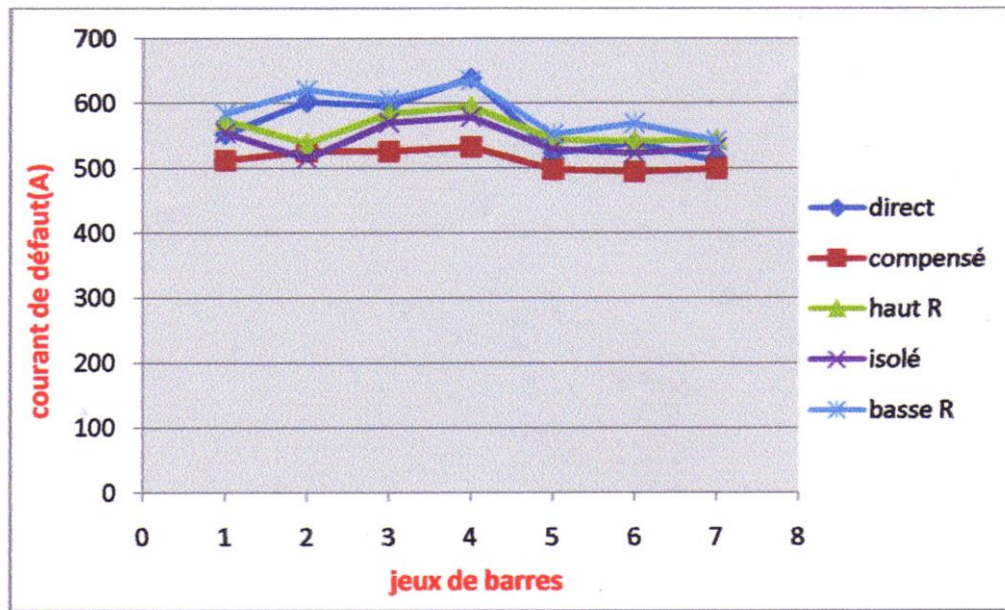


Figure IV.9 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur3 (phase a)

- Le neutre compensé produit un faible courant de défaut.
- Le neutre à basse résistance produit un grand courant de défaut.

La meilleure stratégie aux systèmes dans ce cas c'est le neutre compensé.

C.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur1 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Haut R) (A)	522.32	587.01	592.39	638.39	510.25	510.25	489.95
If (Isolé) (A)	522.32	587.01	592.39	638.39	510.25	510.25	489.95
If (Direct) (A)	522.32	587.01	592.39	638.39	510.25	510.25	489.95
If (Compensé) (A)	522.32	587.01	592.39	638.39	510.25	510.25	489.95
If (Basse R) (A)	522.32	587.01	592.39	638.39	510.25	510.25	489.95

Tableau IV.10 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur3 (phase a)

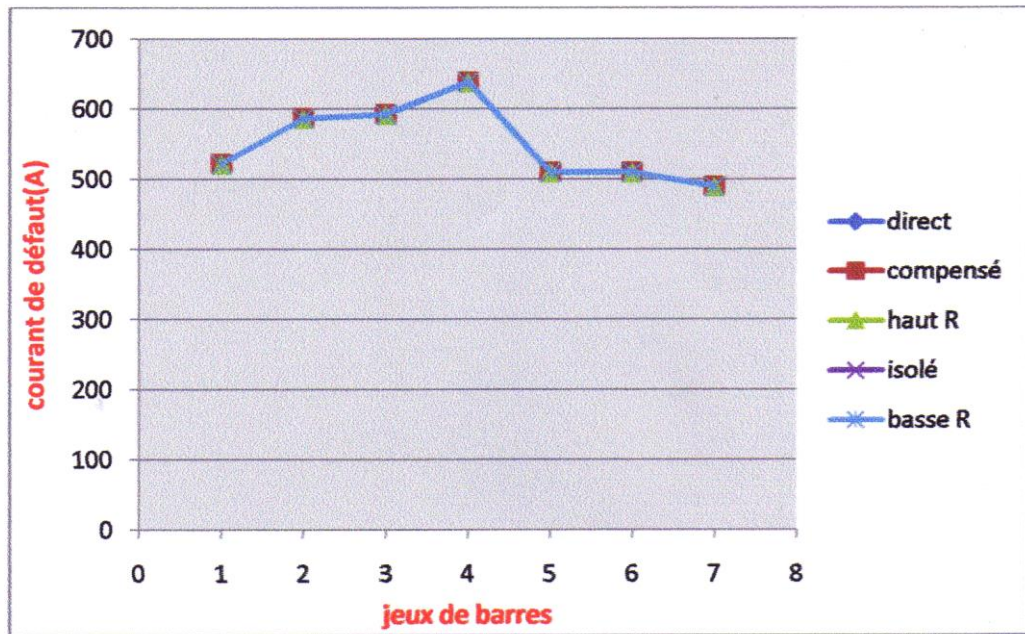


Figure IV.10 : Défaut de déséquilibre dans le générateur3 (phase a)

- Le jeu de barre 4 produit un grand courant de défaut.

Aucune différence entre les stratégies des régimes de neutre.

D.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Isolé) (A)	790.46	846	770.25	771.7	785.97	903.44	800
If (Direct) (A)	790.46	846	770.25	771.7	785.97	903.44	800
If (Haut R) (A)	790.46	846	770.25	771.7	785.97	903.44	800
If (Compensé) (A)	790.46	846	770.25	771.7	785.97	903.44	800
If (Basse R) (A)	790.46	846	770.25	771.7	785.97	903.44	800

Tableau IV.11 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a)

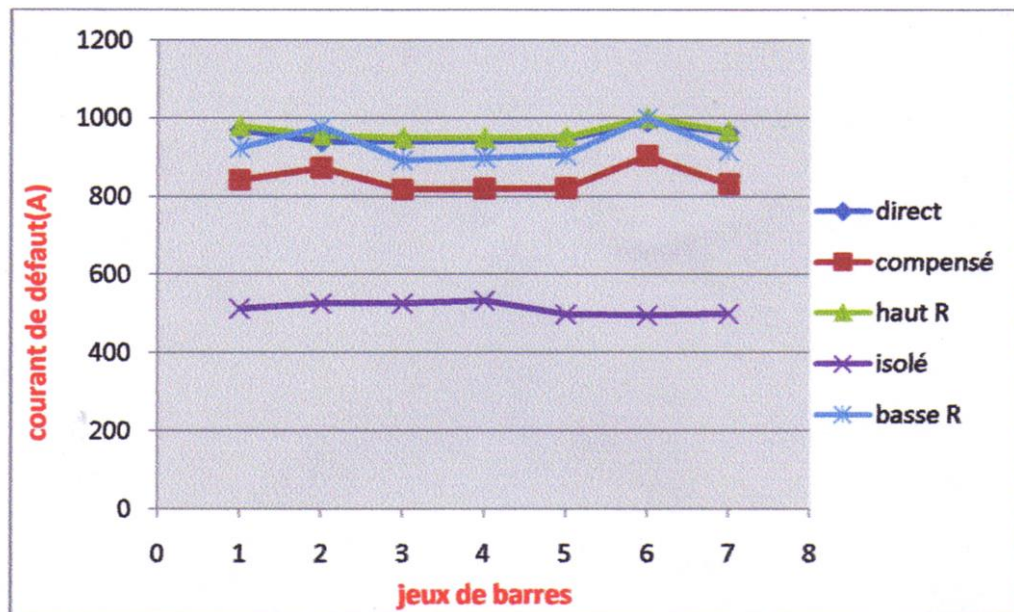


Figure IV.11 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur4 (phase a)

- Le neutre compensé produit un faible courant de défaut.
- Le neutre à basse résistance produit un grand courant de défaut.

La meilleure stratégie aux systèmes dans ce cas c'est le neutre compensé.

D.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur4 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Isolé) (A)	969.7	939.68	943.22	941.66	946.89	990.19	962.53
If (Direct) (A)	841.93	872.86	817.68	819.79	821.08	903.46	831.2
If (Haut R) (A)	980.37	957.21	950.02	950.17	953.04	1001.13	966.56
If (Compensé) (A)	512.51	525.53	525.93	532.7	498.61	495.06	499.67
If (Basse R) (A)	924.37	978.31	892.98	899.34	906.11	999.29	916.86

Tableau IV.12 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur4 (phase a)

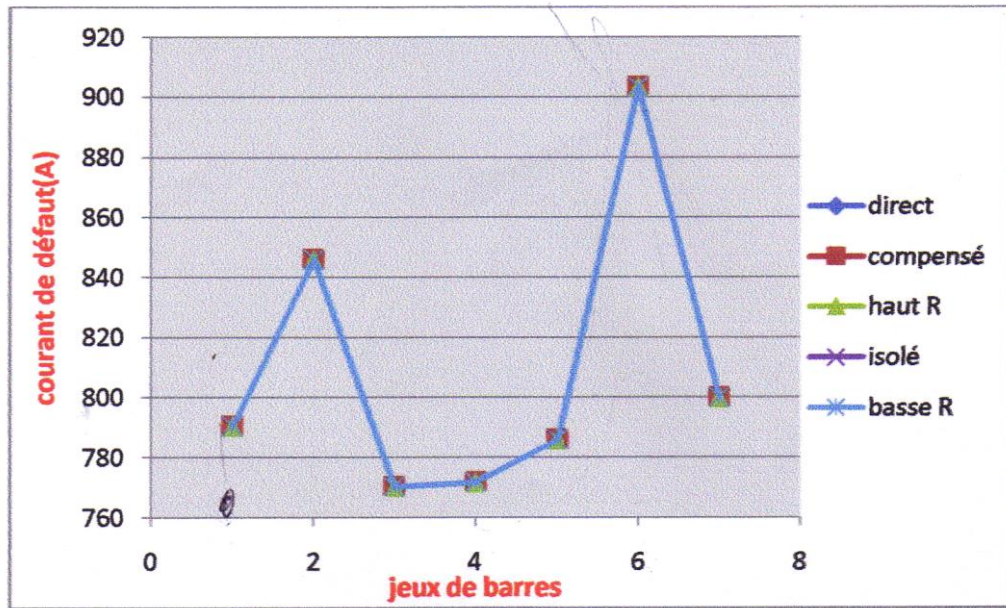


Figure IV.12 : Défaut de déséquilibre dans le générateur4 (phase a)

- Les jeux de barres 2 et 6 produit une grand courant de défaut.
- Les jeux de barre 3 et 4 produit un faible courant de défaut.

Aucune déférence entre les stratégies des régimes de neutre ce cas la.

E.1. Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	930.96	975.51	911.24	917.68	966.03	970.45	1031.06
If (Compensé) (A)	936.36	919.39	927.22	926.95	947.43	947.17	974.66
If (Haut R) (A)	992.26	965.42	973	973.63	997.7	986.89	1033.39
If (Isolé) (A)	970.75	940.92	956.86	955.91	981.84	967.49	1018.63
If (Basse R) (A)	992.58	1041.37	968.2	977.59	1021.04	1026.57	1069

Tableau IV.13 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a)

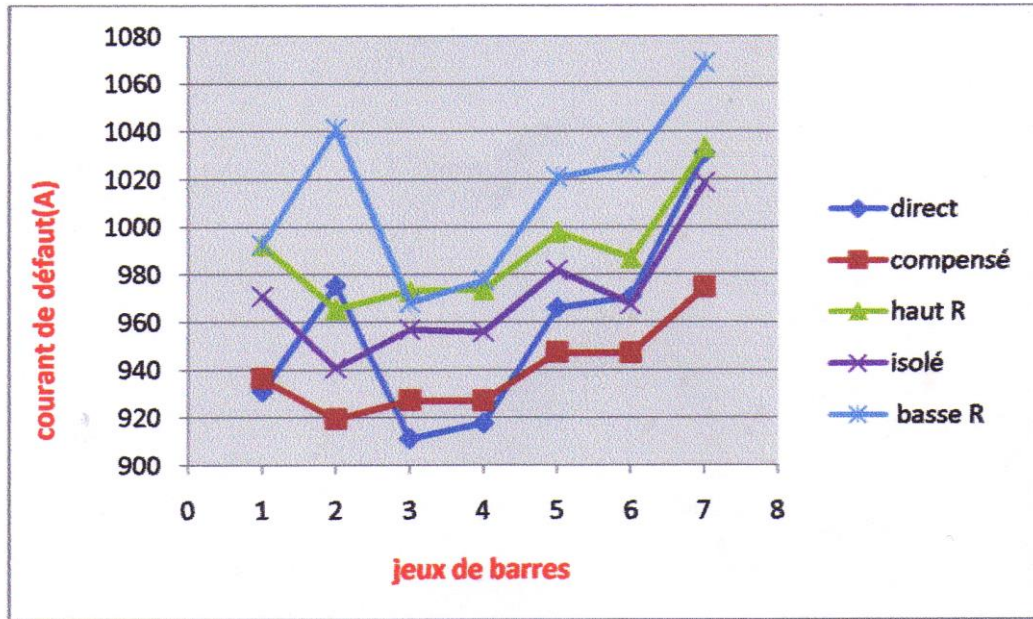


Figure IV.13 : Défaut de courant phase-terre dans le générateur5 (phase a)

- Le jeu de barre 4 produit un grand courant de défaut dans le neutre a basse résistance.
- Le courant de défaut dans les neutres a haut résistance, isolé est grande.
- Le neutre directe produit un faible courant de défaut par rapport les autres liaisons de neutre.

Dans ce cas la meilleur stratégie c'est le neutre directe.

E.2. Défaut de courant déséquilibre dans le générateur5 (phase a) :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
If (Direct) (A)	878.2	940.56	865.68	872.13	950.69	941	1031.06
If (Compensé) (A)	878.21	940.63	865.75	872.2	950.77	941.07	1030.42
If (Haut R) (A)	878.2	940.56	865.68	872.13	950.69	941	1031.06
If (Isolé) (A)	790.48	940.56	865.68	872.13	950.69	941	1031.06
If (Basse R) (A)	878.21	940.63	865.75	872.2	950.77	941.06	1031

Tableau IV.14 : Défaut de courant déséquilibre dans le générateur5 (phase a)

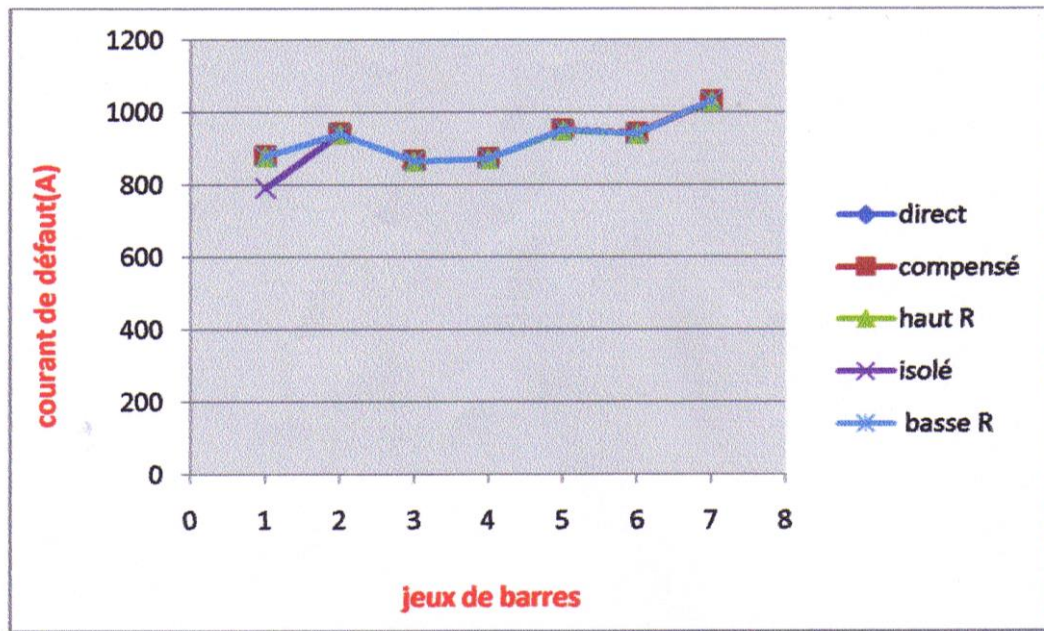


Figure IV.14 : Défaut de déséquilibre dans le générateur5 (phase a)

- Le jeu de barres 7 produit un grand courant de défaut.
- Le jeu de barre 1 produit un faible courant de défaut dans le neutre isolé.

Aucune déférence entre les stratégies des régimes de neutre.

IV.4. Les valeurs des tensions :

A.1. La tension (phase b) dans cas d'un défaut phase-terre :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
U (Direct) <i>pu</i>	1.47525	1.50375	1.40763	1.41711	1.41796	1.46054	1.42952
U (Compensé) <i>pu</i>	0	0.08981	0.38012	0.38622	0.4506	0.36461	0.57914
U (Haut R) <i>pu</i>	1.8374	1.78363	1.67638	1.71099	1.63648	1.74771	1.67752
U (Isolé) <i>pu</i>	2.01909	1.88562	1.85407	1.87907	1.8019	1.89754	1.8665
U (Basse R) <i>pu</i>	0	0.22198	0.17613	0.21711	0.24511	0.3086	0.32798

Tableau IV.15 : La tension en p.u (phase b) dans le cas d'un défaut phase-terre

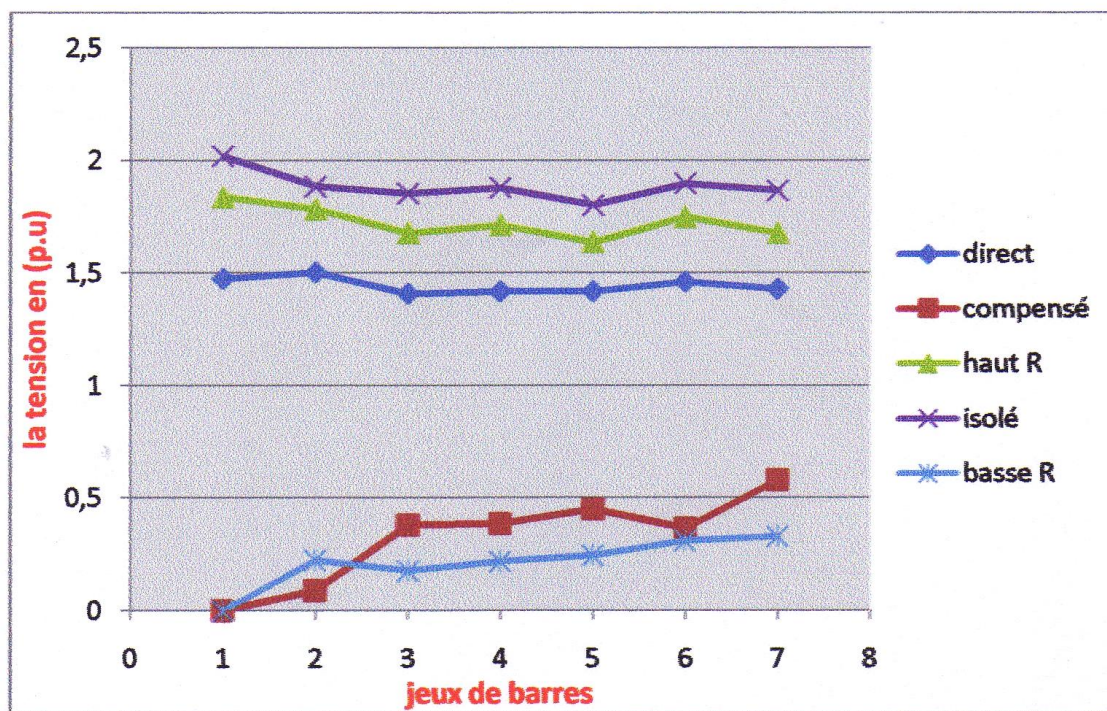


Figure IV.15 : La tension (phase b) dans le cas d'un défaut phase-terre

- Les neutres : isolé et à haute résistance produit des surtensions.
- Les tensions de neutre compensé et neutre à basse résistance sont très faibles.

A.2. La tension dans le cas d'un défaut déséquilibre :

Jeu de barre	1	2	3	4	5	6	7
U (Direct) <i>pu</i>	0	0.09236	0.345	0.35091	0.39493	0.30745	0.42597
U (Compensé) <i>pu</i>	0.51395	0.09237	0.345	0.35091	0.39494	0.30745	0.42598
U (Haut R) <i>pu</i>	0.09237	0	0.345	0.35091	0.39494	0.30745	0.42597
U (Isolé) <i>pu</i>	0	0.09237	0.345	0.35091	0.39494	0.30745	0.42598
U (Basse R) <i>pu</i>	0	0.27686	0.26625	0.30381	0.36936	0.3928	0.44967

Tableau IV.16 : La tension en p.u dans le cas d'un défaut déséquilibre

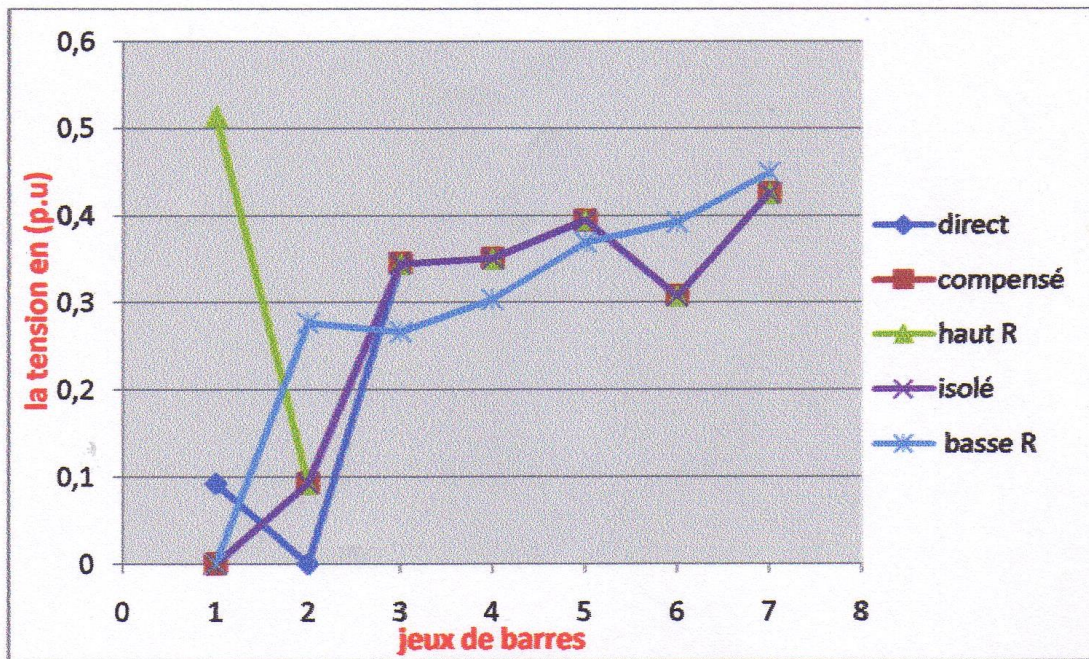


Figure IV.16 : La tension dans le cas d'un défaut déséquilibré

- Le jeu de barre 1 produit une tension nulle dans les régimes direct et neutre à basse résistance.

B. La tension dans le cas d'un défaut de deux phases et terre :

<i>Jeu de barre</i>	1	2	3	4	5	6	7
U (Compensé) <i>pu</i>	0	0.10634	0.39158	0.39791	0.46404	0.35722	0.52298
U (Direct) <i>pu</i>	0	0.08308	0.29196	0.29188	0.33148	0.25203	0.35059
U (Haut R) <i>pu</i>	0	0.11167	0.4157	0.42221	0.49133	0.37933	0.55737
U (Isolé) <i>pu</i>	0	0.10938	0.40772	0.41437	0.48315	0.37228	0.54917
U (Basse R) <i>pu</i>	0	0.30198	0.28068	0.32521	0.3799	0.4183	0.46525

Tableau IV.17 : La tension en p.u dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre

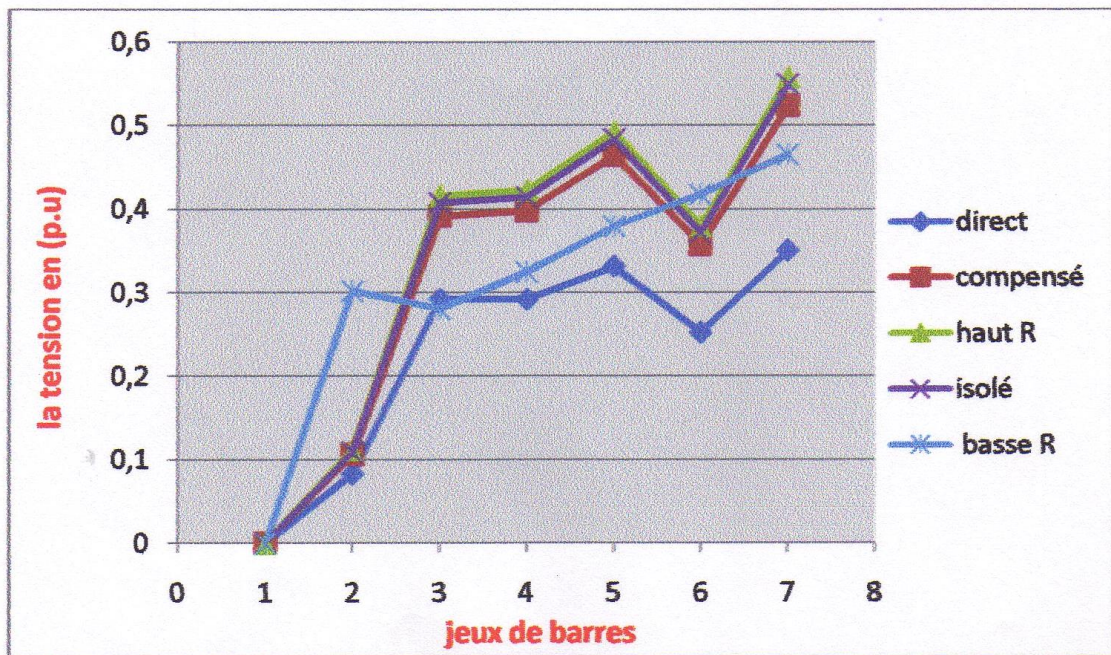


Figure IV.17 : La tension dans le cas d'un défaut entre deux phases et terre

- Le jeu de barre 1 produit une tension nulle.
- Le jeu de barre 7 produit une tension faible.

Dans ce cas le système produit une tension faible.

IV.5. Conclusion :

Ce chapitre emploie la zone du courant de défaut, de la tension de défaut, pour classer qui est les systèmes de neutre meilleurs dans ce système de 7 jeux de barres.

Cependant, ce système de 7 jeux de barres n'est pas un vrai système industriel. C'est un exemple dans le répertoire du logiciel « power world simulator ».

Conclusion générale :

Le présent travail traite la compréhension des différentes mises à la terre du point neutre utilisés dans les industries aujourd'hui, en étudiant essentiellement les différents régimes de neutre en ce qui concerne les courants de défaut et les tensions, on a également montré qu'un choix approprié de système peut de manière significative améliorer la fiabilité et la sûreté des matériels et l'exploitation du système. Les défauts affectant le système de réseau électrique sont également identifiés. Les résultats obtenus ont été réalisés par simulations du réseau considéré à l'aide du logiciel power world Simulator.

La recherche sur le système de 7 jeux de barres en ce qui concerne le courant de défaut et la tension a prouvé le choix de deux régimes de neutre (neutre compensé et neutre à faible résistance). Si on tient compte d'autres paramètres non étudiés dans ce travail, on pourra choisir un des deux. Ainsi en appliquant différentes techniques du neutre dans n'importe quel système électrique, la continuité de service et la sûreté des équipements doivent toujours être une priorité.

Le perspectives :

Parmi les perspectives escomptées nous envisageons d'effectuer :

- a) Recherche sur grand système industriel peut donner plusieurs évaluations réalistes.
- b) Obtenir des valeurs plus pratiques de l'impédance de défaut, Z_f .

Le défaut d'arc se produit fréquemment sur un défaut franc du réseau en utilisant des valeurs réelles de Z_f , amélioreraient certainement l'exactitude des résultats.

- c) Exigence d'une recherche plus détaillée par :

Saisir les données réelles d'un système industriel afin d'obtenir des résultats plus réalistes.

Les valeurs industrielles pratiques de l'impédance neutre à la terre sont essentielles.

- d) Application des appareils de protections :

Les appareils de protection jouent un rôle important dans l'évaluation du régime de neutre, tels que des parafoudres et des disjoncteurs, le temps de réponse des appareils de protection, la tolérance de tels dispositifs, peuvent être ajoutés dans la phase de recherche.

ABSTRACT

The aim of this thesis project is to investigate and understand the different grounding schemes used in an industrial environment by identifying the type of faults, analyzing the changes affecting the power Systems with respect to faults currents and voltages. Five different grounding schemes will be used to test and analyze the three power System models constructed. The five grounding schemes found in the industries are solidly grounded, ungrounded, high-resistance grounding, low-resistance grounding, low inductance grounding, and resonant grounding. Four types of System faults (manly single-line to ground, line to line, three-phase balanced and double-line to ground) will be emulated on the power System models that are constructed based on each of the five grounding methods used and the results will be compiled and analyzes.

ملخص

هناك طرق مختلفة لربط الحيادي مع للأرض في وسط صناعي، وفي معظم الحالات يكون

حيادي مع الأرض مباشرة، حيادي منعزل، حيادي بمقاومة صغيرة وكبيرة، حيادي متوازن، كل

طريقة لها خصائص، مزايا وعيوب.

والهدف الرئيسي من هذا البحث هو معرفة خصائص كل طريقة لربط الحيادي وبعد ذلك

استخدام برنامج محاكاة لمعالجة كل طريقة، ومقارنة النتائج لإيجاد طريقة لربط الحيادي مع للأرض.