

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2020



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Electrotechnique

Spécialité: Réseaux électriques

Par: ADJABI Fadia et MERGAG Besma

Thème

**Contribution à l'étude des schémas de liaison à la terre
Etude du cas IT**

Soutenu publiquement, le 03 /10 /2020, devant le jury composé de:

M BOULOUH Messaoud	Professeur	Univ.Guelma	Président\Encadreur
M FERAGA Chams- Eddine	MCA	Univ.Guelma	Examineur principale
M MENDACI Sofiane	MCA	Univ.Guelma	Examineur

Année Universitaire: 2020/2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force d'atteindre notre but et d'accomplir notre travail.

*Que nos remerciements les plus sincères s'adressent tout particulièrement à notre encadreur le professeur **BOULOUM**, qui nous a encadrés durant tout le long de ce travail, pour sa disponibilité, ses conseils, pour sa patience, son soutien permanent et son encouragement qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont aussi à nos examinateurs Messieurs **FERAGA C.E.** et **MENDACT S.**, maîtres de conférences, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

Nous tenons tout particulièrement à remercier les enseignants du département de Génie Électrotechnique et Automatique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma pour leurs disponibilités et encouragements, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin on adresse tous nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Résumé :

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'étude des Schémas des Liaisons à la Terre (SLT) ou le régime du neutre (TT, IT, TN).

La protection des réseaux et de ses équipements (générateurs, transformateurs, lignes, jeux de barres...etc.) nécessite d'une part la connaissance de l'architecture du réseau et d'autre part le régime du neutre. Ce dernier décide fortement quel type de protection à prévoir contre les surintensités ou les défauts d'isolement, car selon le régime du neutre adopté, le réseau aura besoin d'être protégé en premier lieu soit contre les surintensités (courts-circuits) soit contre les défauts d'isolement et assurer la protection des personnes et des biens.

L'étude théorique de ce mémoire a porté sur l'organisation des réseaux électriques et une description succincte des schémas de liaison à la terre.

Dans la partie expérimentale, que malheureusement on n'a pas pu réaliser sur le banc d'essais didactique de SLT avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", de la firme Schneider Electric, suite au confinement dû à la pandémie du COVID'19), nous nous sommes limités à l'étude des résultats expérimentaux du schéma IT, tirés de la documentation du banc d'essais, sus-cité, existant au sein du Centre de Formation Professionnel Abdelhak Benhamouda à Guelma.

Mots clés:

Réseaux électriques. Protection, les schémas de liaisons à la terre (SLT) TN, TT et IT, le dispositif différentiel résiduel (DDR), Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI), détecteur automatique, Courant de défaut, courant différentiel résiduel, tension limite, tension de défaut, continuité de service, disjoncteur magnéto-thermique, interrupteur sectionneur.

Abstract:

This thesis is part of the study of earthing arrangements (TT, IT, TN).

The protection of networks and their equipment (generators, transformers, lines, busbars, etc.) requires knowledge of the network architecture on the one hand and the neutral system on the other. The latter strongly decides what type of protection to provide against overcurrent or insulation faults, because depending on the earthing system adopted, the network will need to be protected in the first place either against overcurrent or against insulation faults and ensure the protection of people and property.

The theoretical study of this thesis focused on the organization of electrical networks and a brief description of the earth connection diagrams.

In the experimental part, which unfortunately could not be carried out on the earthing arrangements didactic test bench with automatic fault search "SLTXM200", from the Schneider Electric firm, following containment due to the COVID'19 pandemic), we limited ourselves to the study of the experimental results of the IT scheme, taken from the documentation of the above-mentioned test bench, existing within the Abdelhak Benhamouda Professional Training Center in Guelma.

Keywords:

Electrical networks. Protection, TN, TT and IT earthing arrangements, residual current device (DDR), Permanent Insulation Controller (CPI), automatic detector, Fault current, residual differential current, limit voltage, voltage fault, continuity of service, magneto-thermal circuit breaker, disconnect switch.

ملخص

يدرس مشروع التخرج المخاطر المرتبطة بأعطال العزل لسلامة الأشخاص والممتلكات. ويؤكد على دور أنواع أنظمة التأريض الكهربائية في حماية الأشخاص و الممتلكات و كذلك في مدى توفير الطاقة الكهربائية في حالة وجود عطب.

هناك أنواع مختلفة لأنظمة التأريض وإختيار أي نظام منها هو ما يحدد نوع أو متطلبات الحماية اللازمة للنظام الكهربائي وكيفية توصيله بالأحمال. وتندرج هذه الأنواع المختلفة تحت ثلاث أنواع رئيسية مختلفة عن بعضها ويقوم مصمم الشبكة بإختيار أي منها أثناء تصميمه لنظام التوزيع الكهربائي حسب إحتياجاته ووفقاً للمعايير والإشتراطات المتبعة في بلاده.

تم التطرق خلال الدراسة النظرية لهذه المذكرة الى أنظمة التأريض الكهربائي الثلاث TT, IT, TN بشكل وجيز ، ثم بعدها تم عرض ومناقشة النتائج التجريبية للدراسة المنجزة لنظام التأريض IT ، على منصة الاختبارات التعليمية لأنظمة التأريض « SLT XM200 » مع البحث التلقائي عن الخطأ، التابعة لشركة Schneider Electric الموجودة داخل مركز التكوين المهني عبد الحق بن حمودة بقالمة.

الكلمات الدالة:

الشبكات الكهربائية، أنظمة التأريض TN، TT و IT ، جهاز التيار المتبقي (DDR) ، وحدة التحكم في العزل الدائم (CPI) ، الكاشف الأوتوماتيكي ، تيار الأعطال ، التيار التفاضلي المتبقي ، الحد من الجهد ، الجهد خطأ ، استمرارية الخدمة ، قاطع دارة مغناطيسي حراري ، مفتاح فصل.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I – Généralité sur les réseaux électriques

Figure I.1: Schéma globale d'un réseau électrique.	03
Figure I.2: Différentes topologies des réseaux électriques.	06
Figure I.3: Jeux de barres de poste 400 KV.	09
Figure I.4: Disjoncteur 800 KV.	10
Figure I.5: Sectionneur HT.	11
Figure I.6: Photo réelle d'un parafoudre HT.	11
Figure I.7: Transformateur de puissance d'un poste électrique HT.	12
Figure I.8: Types usuels de pylônes en treillis pour lignes à deux ou plusieurs ternes.	15

CHAPITRE II – Régimes de neutre

Figure II.1: Signification des deux lettres utilisées en SLT.	22
Figure II.2: La fonction d'un schéma SLT.	24
Figure II.3: Régime TT, lors d'un défaut d'isolement.	25
Figure II.4: La fonction d'un schéma SLT.	26
Figure II.5: Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement.	27
Figure II.6: La fonction d'un schéma SLT.	28
Figure II.7: Régime IT, lors d'un défaut d'isolement.	29
Figure II.8: Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement.	30
Figure II.9: Effets du courant alternatif sur le corps humain.	33
Figure II.10: Comparaison entre les différents SLT.	36

Chapitre III – Résultats expérimentaux

Figure III.1: Face du Schéma TT/TN.	40
Figure III.2: Partie inférieure du banc d'essais.	41
Figure III.3: Protection et commande du banc.	41
Figure III.4: Face d'un schéma SLT IT.	42
Figure III.5: Vigil Ohm XD 301.	43

Figure III.6: Transformateurs.	45
Figure III.7: Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat.	46
Figure III.8: Signalisation au 1 ^{er} défaut, Déclenchement au 2 ^{ème} défaut entre deux phases.	47
Figure III.9: Schéma de montage Manipulation 01 SLT IT.	49
Figure III.10: Schéma équivalent de la figure III.9.	49
Figure III.11: Schéma de montage Manipulation 2 SLT IT.	51
Figure III.12: Schéma équivalent de la figure III.11.	51
Figure III.13: Schéma de Liaison à la Terre IT Manipulation 03.	53
Figure III.14: Schéma équivalent de la figure III.13.	53
Figure III.15: Schéma de montage SLT IT Manipulation 4.	55
Figure III.16: Schéma équivalent de la figure III.15.	56
Figure III.17: Schéma de montage Manipulation 05 SLT IT.	57
Figure III.18: Schéma équivalent de la figure III.17.	58
Figure III.19: Schéma de montage Manipulation 06 SLT IT.	61
Figure III.20: Schéma équivalent de la figure III.19.	61
Figure III.21: Schéma de montage Manipulation 07 SLT IT.	63
Figure III.22: Schéma équivalent de la figure III.21.	64
Figure III.23: Schéma de montage Manipulation 08 SLT IT.	65
Figure III.24: Schéma équivalent de la figure III.23.	65

Sommaire

Introduction générale	01
CHAPITRE I – GENERELITE DES RESEAUX ELECTRIQUES	
I.1. Introduction	02
I.2. Rôle du réseau électrique	02
I.3. Organisation des réseaux électriques	03
I.3.1. Les catégories des réseaux électriques	03
I.3.1.1. Réseau de transport et d'interconnexion	03
I.3.1.1.1. Réseau de transport THT	04
I.3.1.1.2. Réseau de transport HT	05
I.3.1.2. Réseau de réparation	05
I.3.1.3. Réseau de distribution	05
I.3.1.3.1. Le réseau de distribution à moyenne tension (01KV à 50KV)	05
I.3.1.3.2. Le réseau de distribution à basse tension (120V à 600V)	05
I.3.2. La topologie de réseau électrique	06
I.3.2.1. Réseau radial en étoile	06
I.3.2.2. Réseau en boucle	06
I.3.2.3. Réseau en maille	07
I.3.2.4. Réseau arborescent	07
I.4. Les postes électriques	07
I.4.1. Définition d'un poste	08
I.4.2. Types des postes électriques	08
I.4.2.1. Les postes de transformation (poste source)	08
I.4.2.2. Les postes interconnexion	08
I.4.2.3. Les postes mixtes	08
I.4.2.4. Les postes de distribution	08
I.4.3. Les différents éléments du poste	09
I.4.3.1. Jeu de barre	09
I.4.3.2. Disjoncteur	09
I.4.3.3. Les Sectionneurs	10
I.4.3.4. Les parafoudres	11
I.4.3.5. Les transformateurs	12
I.4.3.5.1. Transformateur de courant	12

I.4.3.5.2.Transformateur de tension	13
I.4.3.6.L'autotransformateur	13
I.5.Les lignes électriques	13
I.5.1.Les composants d'une ligne	14
I.5.1.1.Conducteurs	14
I.5.1.2.Isolateurs	14
I.5.1.3.Supports	15
I.5.1.4.Câbles de garde	15
I.5.2.Les différent type des lignes électriques	16
I.5.2.1.Lignes de distribution BT	16
I.5.2.2.Lignes de distribution MT	16
I.5.2.3.Lignes de transport HT	16
I.5.2.4.Lignes de transport THT	16
I.6. Les défauts électriques	17
I.6.1.Organes des défauts	17
I.6.2.Classification des défauts	17
I.6.2.1.Les courts circuits	17
I.6.2.2.Les surcharges	18
I.6.2.3.Les surtensions	18
I.6.2.4.Les perturbation transitoires	19
I.6.2.4.1.Impulsive	19
I.6.2.4.2.Oscillatoire	19
I.6.2.4.3.Déséquilibre	19
I.7.Conclusion	20

CHAPITRE II – REGIMES DE NEUTRE

II.1.Introduction	21
II.2. Quelques rappels	21
II.2.1. Terminologies	21
II.3.Les schémas de liaison à la terre (régime de neutre)	23
II.4. Classification des régimes de neutre	23
II.4.1. Régime de neutre TT	23

II.4.1.1.Etude d'un défaut d'isolement en régime TT	25
II.4.1.1.1. Présentation du défaut	25
II.4.1.1.2. Tension de défaut	25
II.4.2. Régime de neutre TN	25
II.4.2.1.Etude d'un défaut d'isolement en régime TN	26
II.4.2.1.1.Présentation	26
II.4.2.1.2. Courant du défaut	27
II.4.3. Régime de neutre IT	27
II.4.3.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime IT	28
II.4.3.1.1. Présentation	28
II.4.3.1.2. Défaut simple	29
II.4.3.2.3. Double défaut	30
II.5.Causes des défauts d'isolement	31
II.6. Risques liés au défaut d'isolement	32
II.7. Critères de choix des schémas des liaisons à la terre	33
II.7.1. les protections contre les effets de l'électrocution	34
II.7.1.1. Protection contre les chocs électriques	34
II.7.1.2. Protection contre le risque d'incendie d'origine électrique	34
II.7.1.3. Protection contre les surtensions	34
II.7.1.4. Protection contre les perturbations électromagnétiques	35
II.7.2. Choix des Schémas de Liaison à la Terre	36
II.7.3. Méthodologie pour choisir les Schémas de Liaison à la Terre	37
II.8. Conclusion	38

CHAPITRE III – RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1.Introduction	39
III.2.Description de l'ensemble	39
III.3.Manipulation sur le schéma de liaison à la terre IT	46
III.3.1.Programme des manipulations SLT IT	48
III.3.1.1.SLT IT Manipulation 01	48
III.3.1.2.SLT IT Manipulation 02	50
III.3.1.3.SLT IT Manipulation 03	53
III.3.1.4.SLT IT Manipulation 04	55

III.3.1.5.SLT IT Manipulation 05	57
III.3.1.6.SLT IT Manipulation 06	59
III.3.1.7.SLT IT Manipulation 07	62
III.3.1.8.SLT IT Manipulation 08	64
III.4.Conclusion	66
Conclusion générale	68
Références bibliographiques	70
Annexes	71
Annexe 1 : Le Dispositif Différentiel Résiduel DDR	
Annexe 2 : Contrôleur Permanent d'Isolément CPI	
Annexe 3 : Déducteur de défaut XD 301	



***INTRODUCTION
GENERALE***

Introduction générale

L'exploitation du réseau électrique consiste à produire, transporter et distribuer l'énergie demandée par les charges installées. Cette énergie doit être fournie sous tension et fréquence dans de limites acceptables afin de garantir un bon fonctionnement des charges et des équipements du réseau. Pour la tension, en générale une variation de 5% autour de la valeur nominale (parfois 10%) est tolérée. Par ailleurs, la fréquence ne doit pas excéder 0.5% de la fréquence nominale.

La protection des réseaux et de ses équipements (générateurs, transformateurs, lignes, jeux de barres...etc.) nécessite d'une part la connaissance de l'architecture du réseau et d'autre part le régime du neutre (TT, IT, TN). Ce dernier décide fortement des protections à prévoir contre les surintensités ou les défauts d'isolement, car selon le régime du neutre adopté, le réseau aura besoin d'être protégé en premier lieu soit contre les surintensités (courts-circuits) soit contre les défauts d'isolement. En plus de ces protections, les équipements du réseau nécessitent souvent des protections contre les surcharges ou l'échauffement, les surtensions que ce soit fugitives ou permanents, et parfois des protections mécaniques notamment pour les générateurs [2].

Notre mémoire s'inscrit dans le cadre d'étude des SLT, qui a été déjà abordé par Mlle Rehamnia H et M. Merabti Aissa durant leur mémoire de fin d'études en 2019/2020, qui se sont limités à l'étude du cas TT.

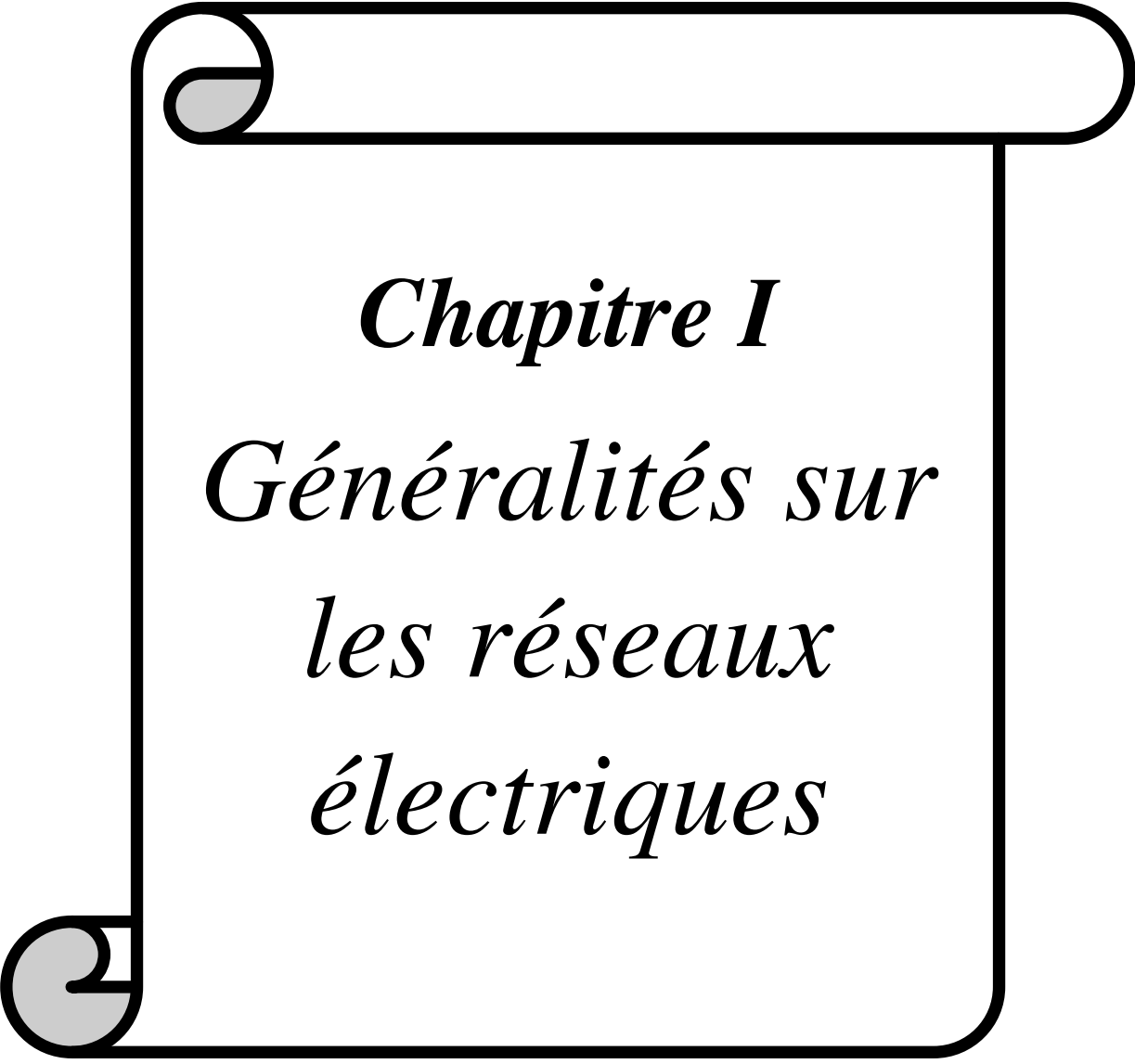
Les points exposés dans cette introduction seront traités de manière détaillée sur trois chapitres :

Dans le premier chapitre des généralités sur les réseaux électriques ainsi qu'une classification des défauts électriques seront exposées.

Le second chapitre décrit une étude générale sur les schémas de liaison à la terre (TT IT et TN) ; Dans un premier lieu, nous exposons les causes et les risques liés aux défauts d'isolement ; puis nous mettons l'accent sur la protection des personnes contre les différents défauts (les chocs électriques, les surtensions, perturbations électromagnétiques,...).

Le troisième chapitre sera dédié aux résultats expérimentaux, que malheureusement on n'a pas pu réaliser sur le banc d'essais, suite au confinement dû à la pandémie du COVID'19. Ces résultats sont tirés de la documentation du banc d'essais didactique de schémas de liaisons à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", de la firme Schneider Electric existant au sein du Centre de Formation Professionnel Abdelhak Benhamouda à Guelma. Dans notre étude nous nous sommes limités juste au régime IT.

Ce mémoire sera achevé par une conclusion générale dans laquelle on résume les principaux résultats obtenus dans ce projet.



Chapitre I
Généralités sur
les réseaux
électriques

I.1. Introduction

Un réseau électrique est un ensemble d'outils destiné à produire, transporter, distribuer l'énergie électrique et veiller sur sa qualité, notamment la continuité de service et la qualité de la tension. L'architecture ou le design du réseau est un facteur clé pour assurer ces objectifs. Cette architecture peut être divisée en deux parties : D'une part, l'architecture du poste, et de l'autre part l'architecture de la distribution.

Dans ce chapitre, on donne une présentation succincte des réseaux électriques qui transfèrent de l'électricité des centres de production vers les centres de consommation, ainsi que les différents types de ces réseaux et leur composants (les postes, les lignes etc...). Nous aborderons ensuite, la classification des défauts, le principe de fonctionnement de chaque protection pour les éliminer et leurs conséquences sur le réseau électrique.

I.2. Rôle du réseau électrique

Le courant alternatif s'est généralisé avec l'évolution technologique qui a permis d'adapter les tensions à des puissances importantes grâce aux transformateurs. Le réseau électrique est hiérarchisé par niveau de tension, celui-ci est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution. Une notion de frontière peut être définie entre les niveaux de tension de réseau électrique ces frontières sont assurées par les postes sources et les transformateurs.

Le réseau électrique est exploité de manière à assurer trois principaux objectifs :

- La distribution d'électricité doit pouvoir être garantie et ce malgré les aléas du réseau. En effet, celle-ci est un enjeu à la fois financier et de sécurité pour les biens matériels et des personnes. Ainsi l'opérateur du réseau doit être capable de faire face à ces aléas et d'éviter les dégâts potentiels ainsi que leurs propagations. Cet enjeu de sureté de fonctionnement en régime normal et en régime perturbé est un des premiers objectifs.
- L'onde de tension fait l'objet d'engagement contractuel que l'opérateur se doit de tenir en respectant une règle d'égalité c'est-à-dire une impartialité entre clients en conservant une continuité de service maximale.

Le dernier objectif d'exploitation est un objectif économique, l'exploitation doit être menée de manière optimale dans le but de réduire les pertes ainsi que les coûts de maintenance et d'investissement. D'autre part l'exploitation doit favoriser l'ouverture du marché de l'électricité [1].

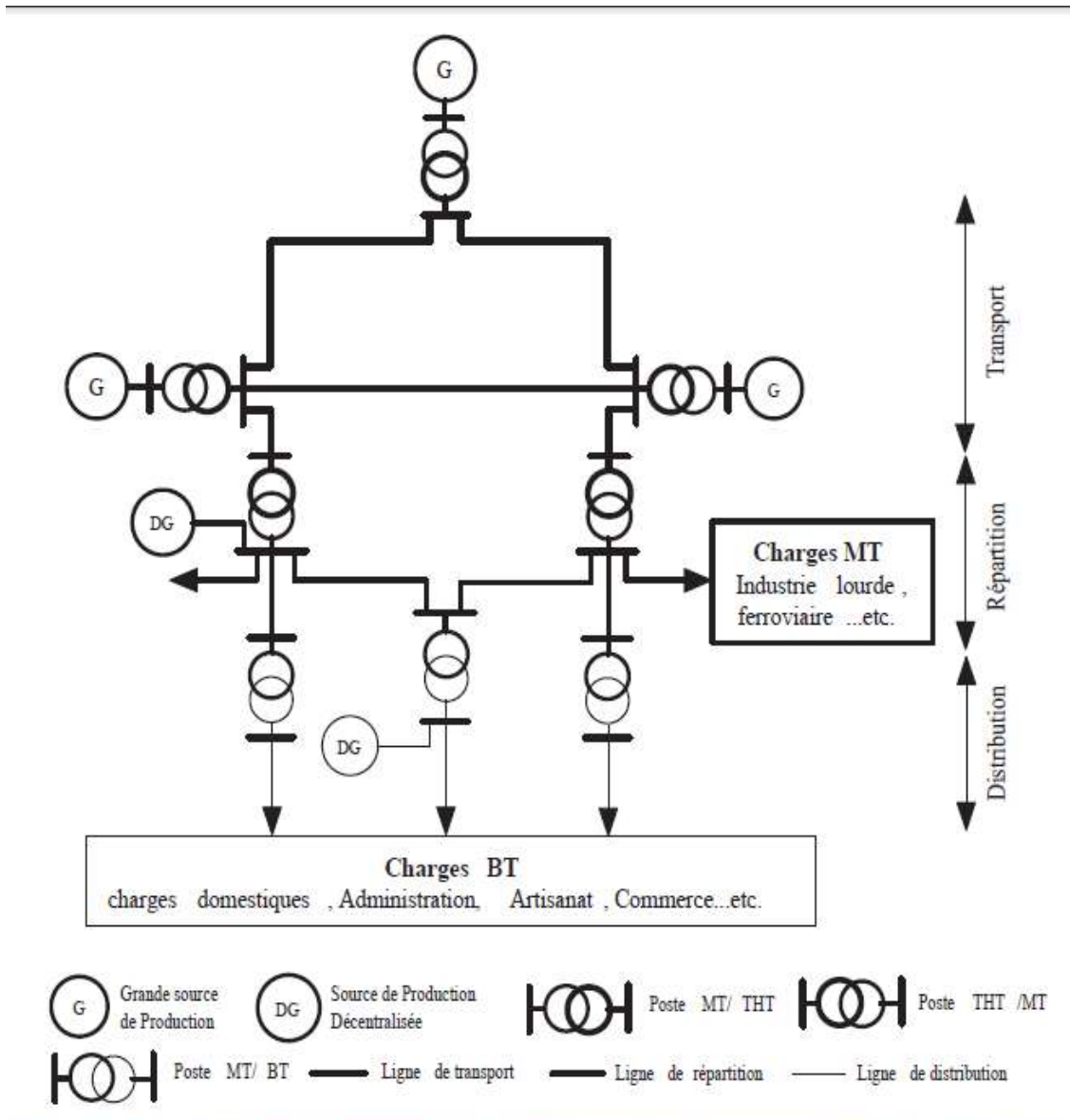


Figure I.1: Schéma globale d'un réseau électrique [2].

I.3. Organisation des réseaux électriques

Pour réaliser la liaison entre la production et la consommation, il est nécessaire d'établir des lignes aériennes et des canalisations souterraines. Les lignes sont raccordées à des nœuds appelés postes. Ces postes particulièrement importants, comportant les transformateurs et les dispositifs de contrôle, de réglage et de protection [3].

I.3.1. Les catégories des réseaux électriques

Les compagnies d'électricité divisent leur réseau en trois grandes catégories :

I.3.1.1. Réseau de transport et d'interconnexion :

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (12 à 15 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être

transmise sous haute ou très haute tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 220 kV (voir 400 kV pour certaines lignes dans le sud notamment), le réseau européen utilise 400 kV, et le réseau nord-américain 735 kV [2].

L'interconnexion du réseau présente principalement trois avantages :

a) La stabilité

Les réseaux interconnectés forment un ensemble qui est plus puissant que les réseaux Individuels. Il s'ensuit que ces réseaux peuvent mieux supportés les perturbations qu'une centrale seule, d'où une plus grande stabilité. Par exemple, si la charge augmente subitement sur l'un des réseaux interconnectés, un transfert d'énergie s'effectue immédiatement de sorte que la charge accrue puisse être supporté par plusieurs centraux sous lieu d'une seule.

b) La continuité de service

Si une des centrales interconnectées tombe en panne ou si on devait la débrancher pour des opérations d'entretien, les autres centrales prendraient immédiatement le relie pour assurer la continuité de service.

c) Economie

Lorsque les réseaux sont reliés, on peut répartir la charge entre différentes centrales afin de minimiser le coût de fonctionnement global : on peut arrêter une centrale et faire fonctionner les autres à leur rendement maximum. L'inconvénient principal de l'interconnexion devient de la nécessité d'une même fréquence pour toutes les centrales interconnectées et des relations très rigides qui relient les tensions de dispositifs. Ainsi, tout incident susceptible peut perturber l'ensemble [3].

Il existe deux types de réseaux de transport :

I.3.1.1.1. Réseau de transport THT

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances (> 300 MW).

Les réseaux de transport constituent une vaste grille couvrant le territoire, à laquelle sont raccordées les sources et les utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud constitue un « poste d'interconnexion ». Ce poste est en général constitué par un collecteur principal appelé « jeu de barres » sur lequel se raccordent les lignes, au moyen d'appareils.

Les protections de ces réseaux doivent être très performantes. Quant à leur exploitation, elle est assurée au niveau national par un centre de conduite ou dispatching à partir duquel l'énergie électrique est surveillée et gérée en permanence.

I.3.1.1.2. Réseau de transport HT

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers Les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA) livrés directement en HT. Il s'agit essentiellement d'industriels tels la sidérurgie, la cimenterie, la chimie, le transport ferroviaire,...

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux [1].

I.3.1.2. Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition sont à haute tension, leur but est d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais aussi par des centrales électriques de moyennes puissances.

Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région et leur structure est essentiellement aérienne. Par contre, lorsqu'ils sont proches des villes, les lignes deviennent des câbles enterrés.

I.3.1.3. Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs tout en réalisant le moins de pertes possibles. Il existe deux sous niveaux de tension :

I.3.1.3.1. Le réseau de distribution à moyenne tension (01KV à50KV)

Ces réseaux sont alimentés par les postes HTA ou HTB et à leurs tours alimentent les postes HTA, BT. Ils peuvent être souterrains avec une structure à un seul ordre de ligne et exploités en boucle ouverte permettant ainsi la continuité de l'alimentation en cas d'incident ; ou bien aériens à structure arborescente et dont les départs des lignes sont protégés par des disjoncteurs.

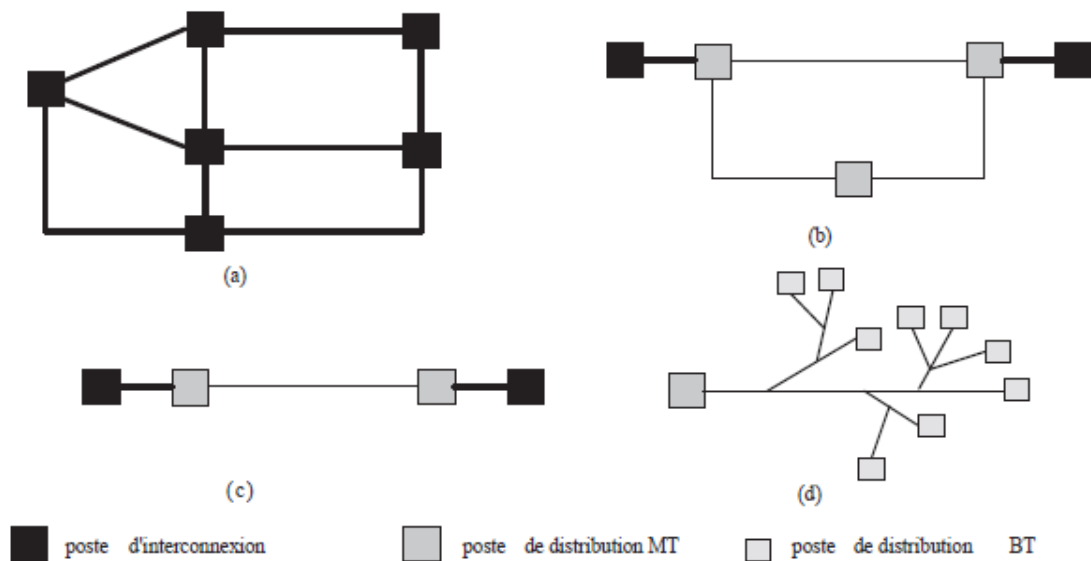
I.3.1.3.2. Le réseau de distribution à basse tension (120V à 600V)

C'est le réseau qui alimente la clientèle en basse tension (220V à380V), il peut être aérien ou souterrain. Contrairement aux réseaux de transport et de répartition, les réseaux de

distribution présentent une grande diversité de solutions techniques à la fois selon les pays concernés, Ainsi que selon la densité de population [3].

I.3.2. La topologie de réseau électrique

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau de fiabilité recherchée, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont illustrées sur la Figure I.2.



a : Réseau maillé b : Réseau bouclé c : Réseau radial d : Réseau arborescent.

Figure I.2: Différentes topologies des réseaux électriques [2].

I.3.2.1. Réseau radial ou en étoile

C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT. Elle est composée d'une ligne alimentée par des postes de distribution MT ou BT alimentés au départ par un poste source HT ou MT [2].

Sont, à partir d'un poste d'alimentation, constituées de plusieurs artères. En pratique si l'on regarde une carte de tel réseau, on aperçoit des points communs. Mais ces réseaux sont en fait « bouclables mais non bouclés » car en ces points est toujours placés un appareil de coupure, ouvert en exploitation normale. Cette disposition, permet en cas d'incident sur une artère de reprendre l'alimentation de certaines dérives par les artères voisines [1].

I.3.2.2. Réseau en boucle

Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT. Les postes de répartition HT ou MT alimentés à partir du réseau THT sont reliés entre eux

pour former des boucles, ceci dans le but d'augmenter la disponibilité. Cependant, il faut noter que les réseaux MT ne sont pas forcément bouclés [2].

I.3.2.3. Réseau maillé

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées. Cette structure nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes, et qu'ils soient munis, à leurs deux extrémités, d'appareils de coupure. On obtient ainsi la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé [1].

Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport. Tous les centres de production sont liés entre eux par des lignes THT au niveau des postes d'interconnexion, ce qui forme un maillage.

Cette structure permet une meilleure fiabilité mais nécessite une surveillance à l'échelle nationale voire continentale.

I.3.2.4. Réseau arborescent

Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain où la charge n'est pas très sensible aux interruptions. Elle est constituée d'un poste de répartition qui alimente plusieurs postes de distribution (BT) grâce à des piquages à différents niveaux des lignes alimentant les postes MT/BT [2].

I.4. Les postes électriques

Selon la commission électrotechnique internationale, un poste électrique est la (partie d'un réseau électrique, qui sert à transporter ou à distribuer ou même à interconnecter les réseaux entre eux).

Donc un poste électrique est un élément du réseau électrique servant à la fois à la transmission et à la distribution d'électricité. Il permet d'élever la tension électrique pour sa transmission, puis de l'abaisser en vue de sa consommation par les utilisateurs (particuliers ou industriels). Donc les postes électriques se trouvent aux extrémités des lignes de transmission ou de distribution.

Pour la transmission de l'énergie électrique, il est économiquement intéressant d'augmenter la tension, afin de limiter les pertes d'énergie par effet joule. En effet à puissance délivrée constante, plus la tension est élevée et plus l'intensité passant dans les câbles est faible, donc moins d'échauffement, ce qui permet de réduire la section des câbles, d'où une économie considérable. Les niveaux utilisés pour les transmissions à grande distance sont généralement entre 400 kV et 800 kV, qualifiés de très haute tension (dénomination actuelle:

haute tension B). La tension est ensuite réduite pour une consommation à un niveau de tension usuelle, en Algérie 220 V [3].

I.4.1. Définition d'un poste

Les postes électriques sont des éléments principaux du réseau électrique. Ils reçoivent l'énergie électrique, la transforment (en passant d'un niveau de tension à une autre) et la répartissent (en assurant la jonction des différents réseaux électriques). On y trouve un certain nombre d'appareils électriques (transformateurs, disjoncteurs, sectionneurs...) qui participent au bon fonctionnement du réseau.

I.4.2. Types des postes électriques

On distingue, suivant les fonctions qu'ils assurent, plusieurs types de postes :

I.4.2.1. Les postes de transformation (poste source) :

Les postes de transformation permettent de passer d'un niveau de tension d'entrée donnée à un niveau de tension de sortie qui peut être supérieur (on parle alors de transformateurs élévateurs) ou inférieur (abaisseur).

En d'autres termes il existe au moins deux jeux de barres à des tensions différentes liées par un ou plusieurs transformateurs.

I.4.2.2. Les Postes d'interconnexion

Ces postes comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés [4].

I.4.2.3. Les postes mixtes

Dans les postes de transformations mixtes; on trouve deux cellules, l'une destinée à la distribution publique et l'autre à la livraison pour la clientèle MT [3].

Les postes mixtes, les plus fréquents, qui assurent une fonction dans le réseau d'interconnexion et qui comportent en outre un ou plusieurs étages de transformation.

Les actions élémentaires inhérentes aux fonctions à remplir sont réalisées par l'appareillage à haute et très haute tension installée dans le poste et qui permet:

- D'établir ou d'interrompre le passage du courant, grâce aux disjoncteurs ;
- D'assurer la continuité ou l'isolement d'un circuit grâce aux sectionneurs ;
- De modifier la tension de l'énergie électrique, grâce aux transformateurs de puissance [1].

I.4.2.4. Les poste de distribution

Le but est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels [4].

I.4.3. Les différents éléments du poste

La plupart des postes de transformations, y compris ceux affectés aux réseaux de transport, comprennent les parties suivantes:

I.4.3.1. Jeu de barre

Le terme officiel est barre omnibus, mais il n'est guère employé selon la définition donnée par la commission électrotechnique internationale.

Tous les transformateurs de puissances d'un poste et toutes les lignes de même tension sont raccordés à un circuit triphasé appelé « jeu de barres ». Un jeu de barres est constitué de trois tubes creux en alliage d'Aluminium (Almélec) supportés par des colonnes isolantes (en céramique vernie). Chaque jeu de barres omnibus règne sur toute la longueur du poste. Ils peuvent être découpés en tronçons équipés chacun de réducteur de tension (contrôle de la tension de référence lors des manœuvres de synchronisation) [3].

Un jeu de barres est un ouvrage électrique triphasé dominant sur la longueur du poste. Il permet de relier entre eux les départs de même tension qui y aboutit. Un poste électrique peut être doté de un, deux, voire trois jeux de barres pour une tension donnée.

Les jeux de barres sont typiquement soit des barres plates, soit des tubes.



Figure I.3: Jeux de barres de poste 400 KV [4].

I.4.3.2. Disjoncteur

Le disjoncteur est un appareil qui peut interrompre des courants importants, qu'il s'agit du courant normal ou des courants de défauts [4].

En revanche, ce sont des appareils mécaniques de connexion capables d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions anormales spécifiées du circuit telles qu'un court-circuit [3].

Le disjoncteur peut donc être utilisé comme un gros interrupteur, commandé sur place par un bouton poussoir ou télécommandé. De plus, le disjoncteur ouvre un circuit automatiquement dès que le courant qui le traverse dépasse une valeur prédéterminée. Quand il sert à interrompre les forts courant de court - circuit, il joue le même rôle qu'un fusible, mais il a un fonctionnement plus sûr pas besoin de le remplacer après chaque interruption.



Figure I.4: Disjoncteur 800 KV [1].

Les disjoncteurs les plus répandus sont :

- Les disjoncteurs à air comprimé.
- Les disjoncteurs à vide.
- Les disjoncteurs à l'huile.
- Les disjoncteurs au SF6.

Dans les disjoncteurs à gaz, le courant est coupé lorsqu'un soufflage suffisant est exercé sur l'arc électrique pour le refroidir et l'interrompre.

I.4.3.3. Les sectionneurs

Les sectionneurs sont des appareils destinés à ouvrir ou fermer un circuit électrique à vide, ne possèdent aucun pouvoir de coupure, ils ne permettent d'ouvrir un circuit qu'en l'absence de tout courant, La fonction principale d'un sectionneur haute tension est de pouvoir

séparer un élément d'un réseau électrique (ligne à haute tension, transformateur, portion de poste électrique, ...) afin de permettre à un opérateur d'effectuer une opération de maintenance sur cet élément sans risque de choc électrique [4].

La commande de ces derniers peut être manuelle directe, ou bien manuelle à distance par exemple une perche; il est muni d'un dispositif de verrouillage qui l'empêche de s'ouvrir sous l'action des forces électromagnétiques intenses produites par les courants de Court-circuit [3].



Figure I.5: Sectionneur HT [4].

I.4.3.4. Les parafoudres

Sont des appareils destinés à limiter la surtension imposée aux transformateurs, instruments et machines électriques par la foudre et par les manœuvres de commutation. La partie supérieure du parafoudre est reliée à un des conducteurs de la ligne à protéger et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance.



Figure I.6: Photo réelle d'un parafoudre HT [4].

I.4.3.5. Les transformateurs

Un transformateur de puissance est un appareil électrique essentiel dans l'exploitation des réseaux électriques. Sa définition selon la commission électrotechnique internationale est la suivante : « Appareil statique à deux enroulements ou plus qui fonctionne par induction électromagnétique [4].

Il permet le transfert de puissance avec un rendement élevé d'un niveau de tension vers un autre. La puissance transmise au secondaire est à peu près celle du primaire et en conséquence le produit tension courant ($V.I$) au secondaire est approximativement égal à celui du primaire. Ainsi, dans un transformateur élévateur, toute élévation de tension au secondaire, s'accompagne d'une diminution dans le même rapport, du courant du secondaire, ce qui entraîne la diminution des pertes dans les lignes et rend possible l'acheminement de l'énergie électrique sur de longues distances. Des contraintes d'isolation, ainsi que d'autres liées à des problèmes techniques de conception ne permettent pas pour l'heure de générer au niveau des alternateurs, des tensions supérieures à 30KV. Ainsi, un transformateur élévateur est nécessaire pour pouvoir transporter l'énergie électrique. Aux extrémités réceptrices des lignes, un transformateur abaisseur est utilisé pour ramener la tension à un niveau acceptable pour la distribution et l'utilisation [1].



Figure I.7: Transformateur de puissance d'un poste électrique HT [4].

I.4.3.5.1. Transformateur de courant

Selon la définition de la Commission électrotechnique internationale, 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 voisin de zéro pour un sens approprié des connexions ». La caractéristique la plus importante d'un transformateur de courant est donc son rapport de transformation, exprimé par exemple sous la forme 400A /1A. L'équipement de mesure connecté à son secondaire est en général un ampèremètre, mais on peut également brancher un wattmètre ou des relais de protection.

I.4.3.5.2. Transformateur de tension

Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, un transformateur de tension 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 » [4].

I.4.3.6. L'autotransformateur

L'autotransformateur est un appareil statique à induction électromagnétique destiné à transformer un système de courant alternatif en un système de courant alternatif de même fréquence, d'intensité et de tension efficaces généralement différents, sans assurant un isolement galvanique. L'autotransformateur présente des avantages et des inconvénients par rapport au transformateur. A performances égales, l'autotransformateur présente un encombrement moindre et une masse inférieure (moins de cuivre et moins de fer), ainsi que des pertes plus petites (pertes par effet Joule et pertes ferromagnétiques). Le principal inconvénient de l'autotransformateur est l'absence d'isolation galvanique entre primaire et secondaire, ce qui l'élimine de certaines applications [1].

I.5. Les lignes électriques

Une ligne de transport se compose de conducteurs, d'isolateurs et de supports. Le rôle fondamental d'une ligne est de transporter une puissance active. Si elle doit également transporter une puissance réactive, celle-ci doit être faible par rapport à la puissance active. Elle doit posséder les caractéristiques de base suivantes :

- La tension doit demeurer constante sur toute la longueur de la ligne et pour toutes les charges entre zéro et la charge nominale.
- Les pertes doivent être faibles afin que la ligne possède un bon rendement.
- Les pertes joules ne doivent pas surchauffer les conducteurs.

Le genre de ligne utilisé est imposé par les facteurs suivants :

- Puissance à transporter, distance de transport et le coût.

- Esthétique, encombrement et facilité d'installation [3].

I.5.1. Les Composants d'une ligne

Une ligne de transport se compose de conducteurs, d'isolateurs, de supports et de câbles de garde.

I.5.1.1. Conducteurs

Les conducteurs des lignes aériennes à très haute tension sont toujours nus. On emploie presque exclusivement des câbles en cuivre et des câbles en aluminium avec âme en acier, ces derniers sont généralement les plus économiques. Pour le domaine de la THT, le mode d'utilisation des conducteurs est identifié selon des causes technico-économiques pour remédier à plusieurs phénomènes, qu'ils sont souvent rencontrés en vue le transport de l'énergie électrique, comme les pertes par effet couronne, les pertes réactives de la ligne, les pertes par effet Joules...etc.

Afin de réduire l'effet couronne par exemple, il est préférable d'utiliser la technologie des lignes en faisceau de conducteurs. Le faisceau est composé de 2, 3 ou 4 conducteurs. Parmi les effets de l'utilisation des faisceaux, l'augmentation de rayon équivalent de la phase et la réduction de l'intensité du champ électrique aux alentours du conducteur. « L'avantage le plus important de l'utilisation du faisceau de conducteurs est la réduction de la réactance de la ligne et des pertes par effet couronne ».

Les conducteurs hautes tensions sont aériens ou souterrains (et parfois-marins).

Les conducteurs aériens sont soumis à l'action des facteurs atmosphériques : température, vent, pluie, verglas etc. Ces facteurs interviennent de façon importante dans le choix des paramètres d'une ligne haute-tension : type de conducteur, hauteur et distance des pylônes, tension mécanique maximale sur le conducteur afin de maintenir une garde au sol suffisante, etc. Le choix de ces paramètres a une grande influence sur les coûts de construction et d'entretien d'une ligne de transport, ainsi que sur sa fiabilité et sur sa longévité. Pour toutes choses égales par ailleurs la position des conducteurs influe sur l'intensité et la disposition du champ électromagnétique.

I.5.1.2. Isolateurs

Les isolateurs servent à supporter et à amarrer les conducteurs et à les isoler entre eux et de la terre. Ils sont presque toujours en porcelaine. Au point de vue électrique, les isolateurs doivent offrir une grande résistance d'isolement afin qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter normalement. Afin d'augmenter leur distance de contournement, on leur donne une forme de jupe. Au point

de vue mécanique, ils doivent être assez résistants pour supporter les forces énormes dues au poids et à la tension mécanique des conducteurs. Les isolateurs sont de deux types principaux : rigides et à chaîne. La partie supérieure des isolateurs rigides sur laquelle est fixé le conducteur est constituée d'une ou de plusieurs jupes en porcelaine. Une tige vissée à l'intérieur des isolateurs permet de les fixer à un support.

Pour des tensions supérieures à 70 kV, on emploie toujours des chaînes d'isolateurs constituées d'un certain nombre d'éléments en porcelaine réunis par des pièces métalliques.

I.5.1.3. Supports

Pour les lignes aériennes, des pylônes, généralement réalisés en treillis d'acier supportent et maintiennent les conducteurs à une distance suffisante du sol et des obstacles : ceci permet de garantir la sécurité et l'isolement par rapport à la terre, les câbles étant nus (non isolés) pour en limiter le poids et le coût. L'inconvénient est leur exposition aux intempéries (embruns salés, tempêtes, poids de la glace qui peut les endommager).

La distance entre les fils conducteurs doit être suffisante pour empêcher leur contact, même sous l'action d'un vent violent. L'écartement entre les fils doit être d'autant plus grand que la distance entre les pylônes est plus grande et que la tension de la ligne est plus élevée. Par exemple, l'écartement entre les phases est habituellement de 12 m sur les lignes à 735 kV.

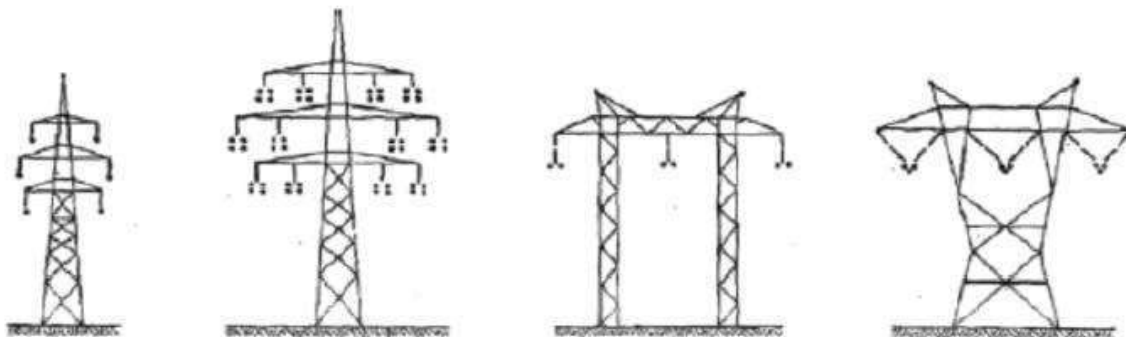


Figure I.8: Types usuels de pylônes en treillis pour lignes à deux ou plusieurs lignes [1].

I.5.1.4. Câbles de garde

Les câbles de garde sont posés au sommet des pylônes en treillis. Ces câbles de gardes protègent les conducteurs d'électricité de la foudre. Ils relient en outre les pylônes isolés les uns avec les autres et améliorent ainsi la mise à la terre globale de l'ensemble des lignes aériennes.

Malgré leur faible section, ils doivent présenter une sécurité mécanique équivalente à celle des conducteurs en cas de vent violent ou de surcharge de givre ou de neige. Il est donc impératif qu'ils soient calculés avec les mêmes hypothèses climatiques que les conducteurs et

que les efforts qu'ils génèrent dans les supports soient pris en compte dans leur totalité. Cette condition est contraignante car la faible longueur des suspensions sur les supports d'alignement ne permet qu'un faible amortissement, dans les portées adjacentes, d'une surtension mécanique provoquée par une surcharge localisée.

Electriquement, ils doivent assurer l'interconnexion des mises à terre des supports et tolérer les échauffements provoqués par les courants de court-circuit et les courants générés par la foudre.

Pour satisfaire à ces conditions, les câbles de garde comportent toujours une section importante d'acier et, autour de l'âme d'acier, une couche ou exceptionnellement deux couches de fils d'aluméc.

Deux types de câbles de garde sont utilisés :

- ✓ des câbles aluméc-acier normaux;
- ✓ des câbles aluméc-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication [1].

I.5.2. Les différents types des lignes électriques

On distingue quatre types de lignes :

I.5.2.1. Lignes de distribution BT

Ce sont des lignes installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, les cuisinières,... etc. Les lignes sont habituellement des câbles ou des barres fonctionnant à des tensions inférieures à 400V.

I.5.2.2. Lignes de distribution MT

Ce sont des lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie de l'électricité. Leur tension est comprise entre 1 kV et 50 kV.

I.5.2.3. Lignes de transport HT

Ce sont les lignes relient les postes de transformation principaux aux centrales de production d'énergie. Les lignes fonctionnent généralement à des tensions inférieures à 400 kV.

Dans cette catégorie, on trouve aussi des lignes servant à échanger de l'énergie entre deux grands réseaux et à augmenter la stabilité de l'ensemble.

I.5.2.4. Les lignes de transport THT

Ce sont des lignes qui relient les centrales éloignées aux centres de consommation ou d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs allant jusqu'à 1000km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 750 kV [3].

I.6. Les défauts électriques**I.6.1. Origines des défauts**

Un défaut peut être défini comme un évènement qui provoque une violation des limites d'un équipement ou d'une partie du réseau électrique, par rapport aux niveaux de tension, de courant, de puissance, ou d'isolation. Un défaut est caractérisé par son amplitude et sa durée. Dans le cas général, plus la durée d'un défaut est longue, plus les dommages sur les équipements augmentent.

Les défauts peuvent être engendrés par des phénomènes externes au réseau comme le climat, ou par des défaillances des équipements suite à des surcharges excessives et répétées, au vieillissement de l'isolation...etc. Les défauts qui surviennent le plus dans un réseau électrique sont des violations de l'isolement des phases entre elles ou à la terre [2].

I.6.2. Classification des défauts

Tout phénomène qui engendre une modification, plus ou moins grande, des valeurs nominales des grandeurs : tension, courant, est une perturbation. Ces perturbations sont :

I.6.2.1. Les courts circuits

Le courant de court-circuit de nature instantanée est une surintensité produite par un défaut d'impédance dont la valeur devient négligeable entre deux points du même circuit.

Sur un réseau triphasé, les courts-circuits peuvent être de plusieurs types :

- Court- circuit monophasé : une phase est reliée au neutre ou à la terre.
- Court- circuit biphasé : deux phases sont raccordées ensemble.
- Court- circuit triphasé : les trois phases sont réunies ensemble.

Les causes susceptibles de produire un courant de court-circuit sont:

- Rupture de conducteurs.
- Coup de foudre.
- Contact intempestif.
- Claquage d'isolant.
- Fausse manœuvre.

Les Conséquences engendrées par un courant de court-circuit sont :

- Surintensité.
- Chute de tension.
- Déséquilibre.
- Echauffement.

- Chute de fréquence.
- Perte de synchronisme.

I.6.2.2. Les Surcharges

Le courant de surcharge est une surintensité de nature progressive qui se produit dans un circuit sain suite à une augmentation de la charge.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais thermiques.
- Fusibles.

Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge sont :

- Appareil utilisé au-delà de sa puissance nominale (volontaire ou accidentelle).
- Mauvais fonctionnement.

Les conséquences occasionnées par un courant de surcharge sont :

- Surintensité.
- Echauffement.
- Déséquilibre.
- Chute de fréquence.

I.6.2.3. Les surtensions

Une surtension est toute tension entre un conducteur de phase et la terre, ou entre conducteurs de phase, dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel.

Une surtension est dite de mode différentiel si elle apparaît entre conducteurs de phase ou entre circuits différents. Elle est dite de mode commun si elle apparaît entre un conducteur de phase et la masse ou la terre.

Les surtensions peuvent être d'origine externe ou d'origine interne :

- ❖ Surtension interne.
- ❖ Surtension externe

Les conséquences peuvent être très diverses suivant la nature des surtensions, leur amplitude et leur durée. Elles sont résumées dans ce qui suit :

- Claquage du diélectrique isolant des équipements dans le cas où la surtension dépasse leur tenue spécifiée.
- Dégradation du matériel par vieillissement, causé par des surtensions non destructives mais répétées.

- Contraintes électrodynamiques (destruction ou déformation de matériel) et thermiques (fusion d'éléments, incendie, explosion) causées essentiellement par les chocs de foudre danger pour l'homme et les animaux suite aux élévations de potentiel et à l'apparition de tensions de pas et de toucher.

I.6.2.4. Les perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

- a- impulsive.
- b- oscillatoire.

I.6.2.4.1. Impulsive

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces types d'événements peuvent être catégorisés selon leur vitesse (Rapide, moyenne, et lente). Les perturbations Impulsives peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes).

I.6.2.4.2. Oscillatoire

Une perturbation oscillatoire est un changement soudain dans la condition d'état stable de la tension ou du courant ou les deux signaux en même temps aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. En simple terme, la perturbation oscillatoire cause un fort signal de puissance qui disparaît très rapidement.

La perturbation oscillatoire se produit à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitatives car elles résistent au changement.

I.6.2.4.3. Déséquilibre

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de 120° . Le degré de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes de Fortescue par le rapport de la composante inverse (U_{1i}) du fondamental à celui de la composante directe du fondamental (U_{1d}).

La tension inverse (ou homopolaire) est provoquée par les chutes de tension le long des impédances du réseau dues aux courants inverses (ou homopolaire) produits par les charges déséquilibrées qui conduisent à des courants non identiques sur les trois phases (charges basse tension BT connectées entre phase et neutre, charges monophasées ou biphasées moyenne tension MT telles que machines à souder et fours à induction).

Les défauts monophasés ou biphasés provoquent des déséquilibres jusqu'au fonctionnement des protections.

Les dispositifs de détection réservés à cette perturbation sont :

- Relais électromagnétiques.

Les causes susceptibles de produire un déséquilibre tension sont :

- ↪ Courant de court-circuit.
- ↪ Rupture de phases.
- ↪ Mauvais fonctionnement du disjoncteur.

Les conséquences occasionnées par un déséquilibre tension sont :


- Echauffement.
- Diminution du flux lumineux.
- Vibration des moteurs [5].

II.7. Conclusion

A notre époque sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu construire des centrales électriques capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur.

L'objectif poursuivi dans ce chapitre, est bien entendu connaître les différentes parties composantes le réseau électrique ainsi que toute la chaîne d'appareillages qui entre dans le transport entre les centrales électriques et les lieux de consommation. D'autre part le réseau électrique doit répondre à certaines exigences, telles que la stabilité du courant et la continuité de l'alimentation électrique aux consommateurs [1].

Dans le chapitre qui suit nous allons traiter les schémas des liaisons à la terre (régime du neutre), en mettant l'accent sur le schéma IT.



Chapitre II
Régimes de
neutre

II.1. Introduction

Dans un système triphasé, il y a trois tensions simples mesurées par rapport à un point commun dit point neutre, dont le potentiel est normalement nul. Ce point neutre est d'habitude le point commun entre trois enroulements montés en étoile, et il peut être sorti ou non, distribué ou non.

En général, le neutre est toujours distribué en basse tension, mais rarement en moyenne tension. Le point neutre peut être relié ou non à la terre. On parle alors de régime du neutre. La mise à la terre du neutre est souvent réalisée au niveau des postes.

En plus de l'architecture du réseau, le régime du neutre est un facteur déterminant pour la sécurité d'alimentation (continuité de service), la protection du réseau et le personnel.

Le régime du neutre est un facteur déterminant dans l'exploitation d'un réseau, car il est en lien direct avec la sécurité d'alimentation et la protection. Ceci fera l'objet du deuxième chapitre, qui aura comme objectif l'analyse des fonctions, les critères de choix des différents Schémas de Liaison à la Terre (SLT). Ensuite, nous traitons les défauts d'isolation avec les causes et les risques qui y sont liés.

A la fin, une méthodologie pour choisir le schéma de liaison à la terre qui convient le mieux pour assurer la protection nécessaire d'une installation électrique sera donnée.

II.2. Quelques rappels

II.2.1. Terminologies

Les risques d'électrisation, voire d'électrocution sont, dans ce paragraphe, précisés pour les différents schémas des liaisons à la terre, tels que définis par le Comité Electrotechnique International dans la norme CEI 364.

Le Schéma de Liaison à la Terre en BT caractérise le mode de raccordement à la terre du secondaire du transformateur HT/BT et les manières de mettre à la terre les masses de l'installation.

L'identification des types de schémas est ainsi définie au moyen de 2 lettres:

- La première pour le raccordement du neutre du transformateur:
 - T pour raccorder à la terre ;
 - I pour isoler de la terre.
- La deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation:
 - T pour raccorder directement à la terre,

- N pour raccorder au neutre à l'origine de l'installation, le quel est raccordé à la terre.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles:

- **TT** « Si le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé directement à la terre ».
- **TN** « Si le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé au neutre à l'origine de l'installation ».
- **IT** « Si le neutre du transformateur isolé à la terre et la masse raccordé directement à la terre »

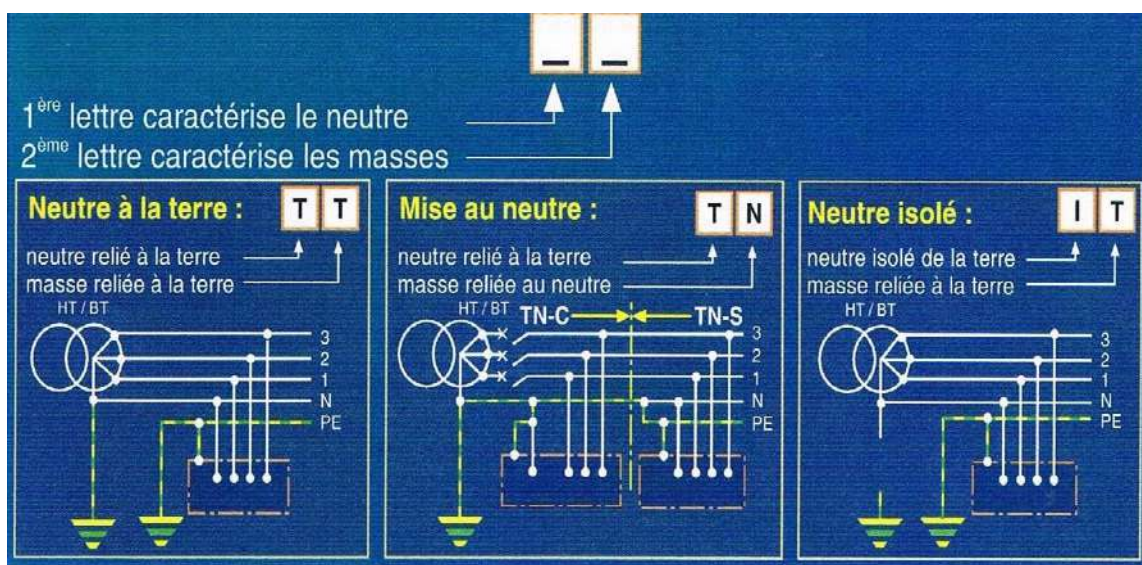


Figure II.1: Signification des deux lettres utilisées en SLT [6].

Remarque 1 : Le schéma TN, selon la CEI 364 et la norme NFC15-100, comporte plusieurs sous- schémas:

- TN-C: si les conducteurs du neutre N et du PE sont confondus (PEN);
- TN-S: si les conducteurs du neutre N et du PE sont distincts;
- TN-C-S: utilisation d'un TN-S en aval d'un TN-C,(l'inverse est interdit).

A noter que le TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section $\leq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

Remarque 2: Chaque Schéma de Liaison à la Terre peut s'appliquer à l'ensemble d'une installation électrique BT; mais plusieurs Schéma de Liaison à la Terre peuvent coexister dans une même installation.

II.3. Les schémas de liaison à la terre (régime de neutre)

Tous les schémas des liaisons à la terre (SLT) sont équivalents pour la protection des personnes et des biens. Par contre ils ont des avantages et des inconvénients qu'il faut adapter aux besoins de l'installation.

Que ce soit dans le tertiaire ou l'industrie, les besoins évoluent et il devient fondamental de faire le choix du bon Schéma de Liaison à la Terre, dans la stricte application des règles de l'art, pour assurer la coexistence "courant forts/courant faible" et la satisfaction de l'exploitant.

Après avoir rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations portant atteinte à la sécurité des personnes et des biens, ce paragraphe présente les trois Schémas de Liaison à la Terre définis par les normes CEI 364 et NF C 15-100.

Chaque Schéma de Liaison à la Terre, encore appelé régime de neutre, est examiné en terme de sécurité et de disponibilité, ainsi que vis-à-vis de la protection contre les surtensions les perturbations électromagnétiques.

Aujourd'hui les trois Schémas de Liaison à la Terre, longtemps appelés régimes de neutre tels que définis par la CEI 364 et la norme NF C 15-100, sont :

- La mise au neutre TN ;
- Le neutre à la terre TT ;
- Le neutre isolé (ou impédant) IT.

Ces trois schémas ont une même finalité en termes de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. Ils sont considérés comme équivalents sur le plan de la sécurité des personnes contre les contacts indirects.

Il n'en est pas nécessairement de même pour la sûreté de l'installation électrique BT en ce qui concerne :

- La disponibilité de l'énergie ;
- La maintenance de l'installation.

Ces grandeurs chiffrables font l'objet d'exigences de plus en plus fortes dans les usines et les immeubles tertiaires.

II.4. Classification des régimes de neutre

II.4.1. Régime de neutre TT

TT Subir le " défaut terre " mais limiter les conséquences, en mettant en œuvre des dispositifs différentiels détectant le défaut terre avant que ce dernier ne dégénère

en court-circuit. C'est le principe des réseaux à "neutre à la terre" TT qui permet l'adjonction de départs supplémentaires en leur associant simplement un DDR (voir l'annexe 1). C'est le champion de la sécurité.

Dans ce cas, comme pour les courts-circuits, la seule contribution que l'on peut apporter à la disponibilité consiste à l'amélioration de la sélectivité, en installant plusieurs étages de protection différentielle, afin de réduire la coupure à la plus petite partie du réseau.

Remarque : les DDR sont:

- Intégrés ou adaptables au disjoncteur et interrupteur avec la gamme Multi 9 de 0,5 à plus de 100A.
- Intégrés au disjoncteur avec le bloc Vigie de 100 à 630A.
- Intégrés au disjoncteur avec le bloc de surveillance d'isolement,
- A tore séparé avec les Vigirex de 100 à 6300 A qui permettent de signaler une absence de source auxiliaire sans provoquer le déclenchement (évite le réarmement) mais aussi de prévenir la baisse d'isolement sans provoquer le déclenchement, avec un contact préalarme qui agit à la moitié du seuil affiché.

Exemple : réglé à 300 mA, il préviendra à 150 mA [6].

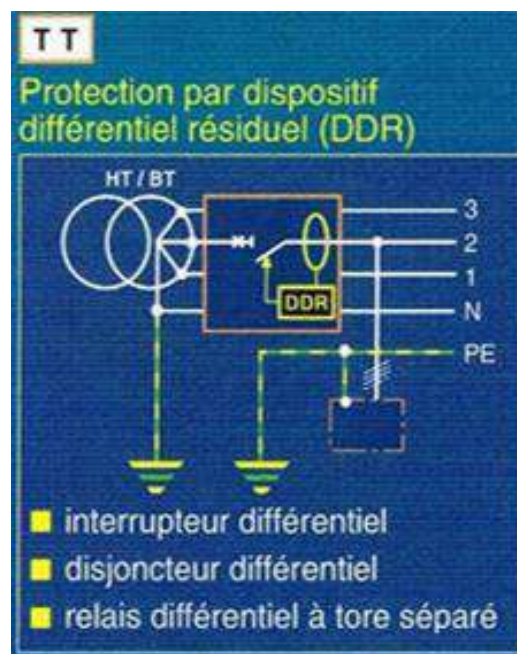


Figure II.2: La fonction d'un schéma SLT [6].

II.4.1.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TT

II.4.1.1.1. Présentation du défaut

Soit l'installation suivante présente un défaut d'isolement qui peut être dangereux en cas de contact avec un organe d'un être humain.

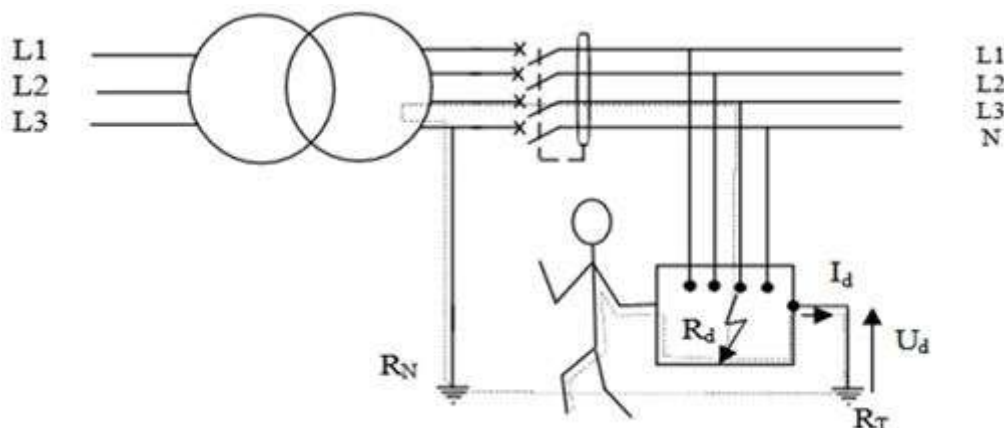


Figure II.3: Régime TT, lors d'un défaut d'isolement [7].

Où :

R_T : Résistance de prise des masses.

R_N : Résistance de la prise de terre neutre.

R_d : Résistance de défaut (cas le plus défavorable $R_d = 0\Omega$).

I_d : Courant de défaut.

U_d : Tension de défaut.

II.4.1.1.2. Tension de défaut

La tension de défaut U_d , c'est la différence de potentielle appliquée à une personne.

$$U_d = R_d I_d$$

Exemple :

Soient :

$$R_T = 20 \Omega, R_N = 15 \Omega, R_d = 0 \Omega \text{ et } U_n = 220 \text{ V}$$

$$I_d = \frac{U_n}{\sum R_i} = \frac{220}{20+15+0} = 6,28 \text{ A} \tag{II.1}$$

Cette tension peut être dangereuse pour les personnes, donc il faut prévoir un appareillage de déclenchement différentiel au premier défaut, on utilise généralement le DDR [7].

II.4.2. Régime de neutre TN

TN Subir le défaut...mais provoquer le déclenchement pour se protéger

Ce défaut est analogue à un court-circuit, donc violent et destructeur et c'est alors le disjoncteur qui déclenche au 1^{er} défaut.

- C'est le principe des réseaux "raccordés" au neutre TN qui permettent de ne pas mettre de protections complémentaires du type différentiel ou CPI (voir l'annexe2). De ce fait, c'est le champion de l'économie à l'installation! Ce principe s'avère très vite coûteux en cas de modifications ou d'extensions. De plus, il met à rude épreuve les installations par les effets de court-circuit sur les câbles et les récepteurs, ainsi que les chutes de tension pouvant perturber les ordinateurs, etc...
- Pour minimiser les conséquences du défaut à la seule partie du réseau concernée, il faut mettre en place les méthodes de Sélectivité ampèremétrique, chronométrique ou énergétique.
- Une autre possibilité est offerte avec la mise en place du TNS directement en aval du transfo, ce qui donne l'avantage de déclencher par les DDR du fait de la détection avant le court-circuit.
- Un vaste choix de disjoncteur mono / tri / tétra permet de répondre parfaitement de 1 à plus de 6300A avec les gammes Multi 9, Compact, Masterpacte [6].

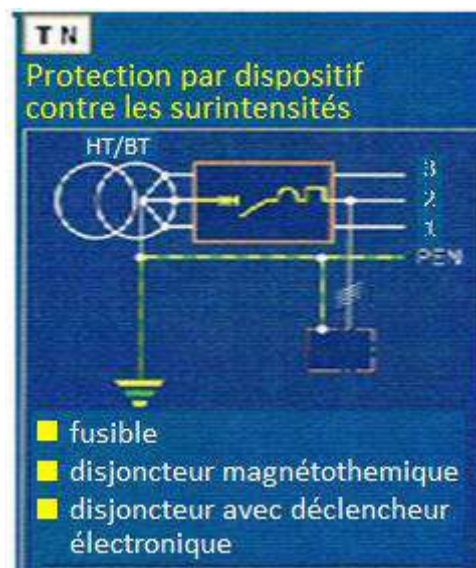


Figure II.4: La fonction d'un schéma SLT [6].

II.4.2.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TN

II.4.2.1.1. Présentation

Dans ce régime le neutre est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre par un conducteur de protection.

On distingue les régimes TNC et TNS :

- le régime TNS (Conducteur Terre et conducteur Neutre Séparé) est choisi lorsque les conducteurs sont inférieurs à 10mm² ;
- le régime TNC (Conducteur Terre et Neutre Confondus) est choisi lorsque les conducteurs sont supérieures à 10 mm² en cuivre et 16 mm² en aluminium, lors d'un défaut d'isolement le courant suit le sens de parcours comme l'indique la figure suivante ;

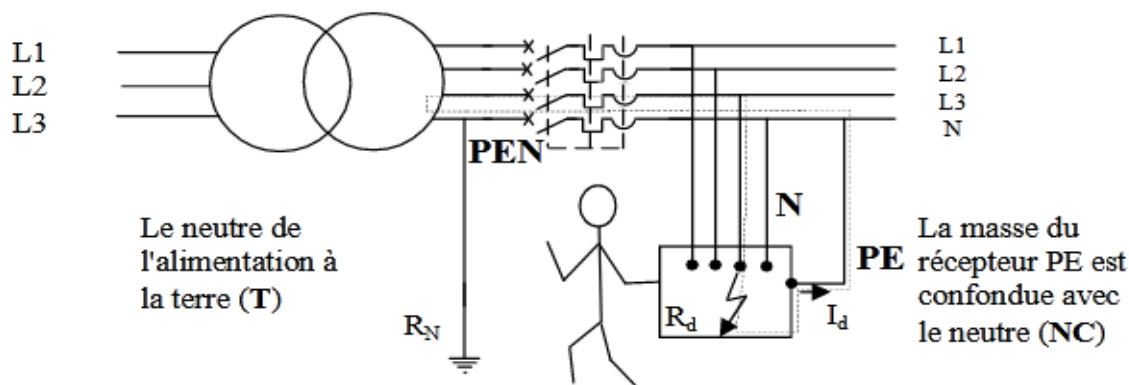


Figure II.5: Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement [7].

II.4.2.1.2. Courant du défaut

Dans les deux cas cités ci-dessus le courant de défaut n'est plus limité que par l'impédance des câbles et de la source de tension, ce qui donne un courant de défaut très élevé :

$$I_d = \frac{U_n}{Z_d} \quad (II.2)$$

Où :

Un : Tension simple.

Id : Courant de défaut.

Zd : Impédance des câbles et de la source, telle que Zd est la somme de :

- ♣ La résistance de défaut d'isolement.
- ♣ La résistance du câble du circuit.
- ♣ L'impédance de l'enroulement secondaire du transformateur [7].

II.4.3. Régime de neutre IT

IT rendre le défaut inoffensif en utilisant des réseaux à neutre isolé IT

Cette solution consiste à s'attaquer non pas à l'effet, mais à la cause, en limitant le courant de défaut à quelques mA.

Dans un réseau à neutre isolé IT ou impudent, le défaut n'étant pas dangereux, il n'est pas nécessaire de déclencher et l'exploitation peut continuer.

C'est le champion de la disponibilité!

- Par contre laisser un défaut terre sur un tel réseau, revient à laisser une liaison directe entre le réseau et la terre, comme précédemment.
- Dans ce cas, l'apparition d'un 2^{ème} défaut crée un courant dangereux qui doit provoquer un déclenchement de même nature que dans les réseaux à la terre TT ou TN.
- C'est pourquoi, ce type de réseau à neutre isolé ne prend tous on intérêt que si l'on détecte les vrais défauts d'isolement dès leur apparition grâce à la gamme Vigil ohm System qui permet de détecter automatiquement et immédiatement les départs en défauts, y compris les défauts fugitifs (la bête noire des utilisateurs). C'est ce que fait le CPI XM200 avec les détecteurs XD 301 (1départ) ou XD312 (12départs) (voire l'annexe 3) associés à des tores A fermés ou OA ouvrants.
- Pour satisfaire les sites les plus exigeants en disponibilité, nous offrons des produits qui permettent de mesurer la résistance et la capacité départ par départ et de communiquer ces informations en locale et en supervision pour aller vers la maintenance préventive, afin de ne jamais subir le défaut terre avec les appareils suivants: XM300C, XD308C, XL308, XL316, et interfaces XAS local, XL1200, XL1300, XTU300 suivant la configuration de l'installation [6].

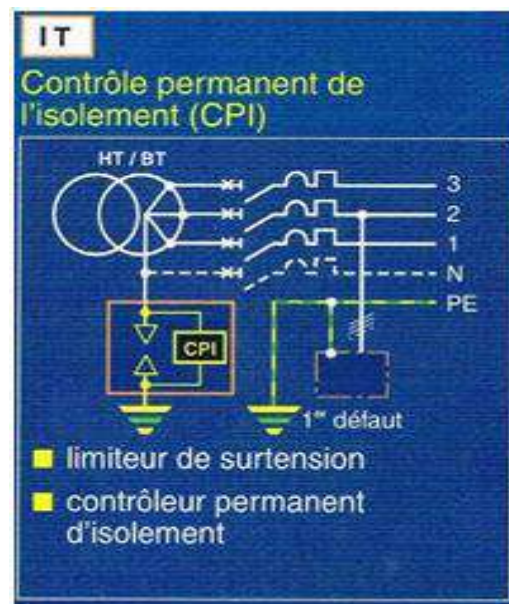


Figure II.6: La fonction d'un schéma SLT [6].

II.4.3.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime IT

II.4.3.1.1. Présentation

Dans ce régime le neutre est isolé, les masses sont reliées à la terre, c'est le cas de certaines installations où l'utilisateur possède son propre transformateur HT/BT, puisque le neutre

isolé. Il faut prévoir un appareil de contrôle et d'écoulement de toute sorte de surtension ou de coup de foudre. Ce dispositif est un limiteur de surtension d'impédance Z .

II.4.3.1.2. Défaut simple

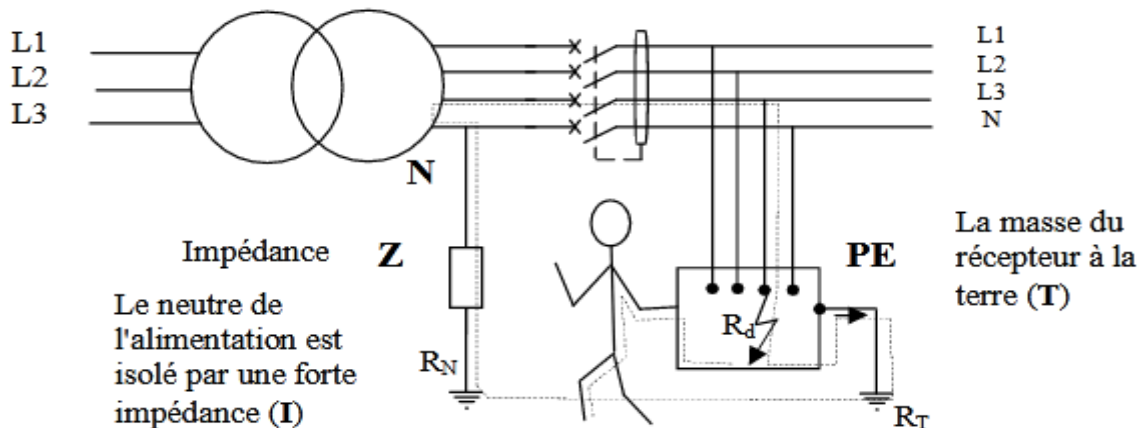


Figure II.7: Régime IT, lors d'un défaut d'isolement [7].

On constate que le courant de défaut I_d est faible, en effet ;

$$I_d = \frac{V_n}{R_T + R_N + R_d + Z_I} \tag{II.3}$$

R_T : Résistance de prise des masses.

R_N : Résistance de la prise de terre neutre.

R_d : Résistance de défaut (cas le plus défavorable $R_d = 0\Omega$).

Z_I : Impédance d'isolement.

I_d : Courant de défaut.

V_d : Tension de défaut telle que : $V_d = I_d R_d$.

Notons que, R_d peut être nulle, R_T est très faible ; $R_N \ll Z_i$, avec Z_i (impédance du câble + impédance de la sortie du transformateur et la capacité de ceux entre phase et terre).

Exemple :

Soient ;

$V_n=220V$, $R_d=0\Omega$, $R_T=0\Omega$, $R_N=0\Omega$ et $Z_i=10K\Omega$;

$$I_d = \frac{V_n}{R_T + R_N + R_d + Z_i} = \frac{220}{10000} = 2,2mA \quad \text{et} \quad V_d = I_d R_d \approx 0V \tag{II.4}$$

Conclusion : dans ce cas, il se présente un courant de défaut très faible. Ce dernier n'est pas dangereux pour l'utilisateur, mais il faut être vigilant devant un deuxième défaut.

II.4.3.2.3. Double défaut

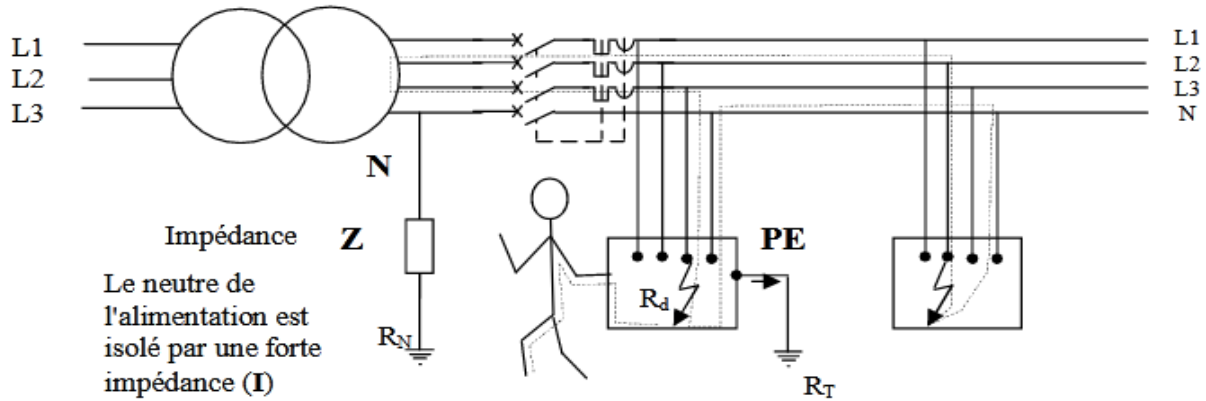


Figure II.8: Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement [7].

Le courant de défaut dans ce cas :

$$I_d = 0,8 \frac{U_n}{2Z_L} \quad (II.5)$$

Z_L : Impédance d'une ligne.

U_n : Tension composée.

I_d : Courant de défaut.

Notons que $Z_L = \rho \frac{l}{S}$ (II.6)

Où :

ρ : Résistivité du conducteur.

S : Section du conducteur.

l : Longueur du conducteur.

Exemple :

Soient ;

$U_n=380V, Z_L=27 \text{ m}\Omega$

$$I_d = \frac{0,8U_n}{2Z_L} = \frac{0,8 \cdot 380}{2 \cdot 0,027} = 5629 \text{ A} \quad (II.7)$$

Conclusion : dans ce cas, il se présente un courant de défaut très fort, d'où une coupure obligatoire de l'alimentation dans un temps inférieur à celui prescrit par les courbes de sécurité [7].

II.5.Causes des défauts d'isolement

Pour assurer la protection des personnes et les continuités d'exploitation, les fils conducteurs et les pièces sous-tensions d'une installation électrique sont " isolés " par rapport aux masses reliées à la Terre.

L'isolement est réalisé par:

- L'utilisation de matériaux isolants.
- L'éloignement qui nécessite des distances d'isolement dans les gaz (par exemple dans l'air) et des lignes de fuite (concernant l'appareillage par exemple, chemin de contournement d'un isolateur).

Un isolement est caractérisé par des tensions spécifiées qui, conformément aux normes, sont appliqués aux produits et aux équipements neufs :

- Tension d'isolement (plus grande tension du réseau).
- Tension de tenue au choc de foudre.

Exemple pour un tableau BT de type Prisma:

- Tension d'isolement:1000V.
- Tension de choc:12kV.

Lors de la mise en service d'une installation neuve, réalisée selon les règles de l'art avec des produits fabriqués selon les normes, le risque de défaut d'isolement est très faible : l'installation vieillissant, ce risqué augmente.

En effet, celle-ci est l'objet de diverses agressions qui sont à l'origine de défauts d'isolement.

Citons à titre d'exemple:

- Durant l'installation.
- La détérioration mécanique de l'isolant d'un câble.
- Pendant l'exploitation.
- Les poussières plus ou moins conductrices.
- Le vieillissement thermique des isolants dû à une température excessive ayant pour causes:
 - Le climat
 - Un nombre de câbles trop important dans un conduit
 - Une armoire mal ventilée
 - Les harmoniques
 - Les surintensités

- Les forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit qui peuvent endommager un câble ou diminuer une distance d'isolement.
- Les surtensions de manœuvre, de foudre.
- Les surtensions 50Hz en retour résultant d'un défaut d'isolement en MT.

C'est généralement une combinaison de ces causes primaires qui conduit au défaut d'isolement.

Celui-ci est:

- Soit de mode différentiel (entre les conducteurs actifs) et de vient un court-circuit.
- Soit de mode commun (entre conducteurs actifs et masse ou terre). Un courant de défaut-dit le mode commun, ou homopolaire(MT)-circule alors dans le conducteur de protection(PE) et/ou dans la terre.

Les Schéma de Liaison à la Terre en BT sont essentiellement concernés par les défauts de mode commun dont l'occurrence la plus forte se situe au niveau des récepteurs et des câbles.

II.6.Risques liés au défaut d'isolement

Un défaut d'isolement, présente des risques pour la vie des personnes, la conservation des biens, la disponibilité de l'énergie électrique, tout ceci relevant de la sûreté.

a) Risque d'électrisation des personnes

Une personne (ou un animal) soumise à une tension électrique est électrisée.

Protéger l'homme des effets dangereux du courant électrique; le risque d'électrisation est donc le premier à prendre en compte.

b) Risque d'incendie

Ce risque, lorsqu'il se matérialisé, peut avoir des conséquences dramatiques pour les personnes et les biens. Bon nombre d'incendie ont pour origine un échauffement important et ponctuel ou un arc électrique provoqué par un défaut d'isolement. Le risque est d'autant plus important que le courant de défaut soit élevé. Il est également fonction du degré du risque incendie ou explosion des locaux.

c) Risque de non disponibilité de l'énergie

La maîtrise de ce risque prend de plus en plus d'importance. En effet si, pour éliminer le défaut, la partie en défaut est déconnectée automatiquement, il en résulte:

- Un risque pour les personnes, par exemple:
 - manque subit d'éclairage.
 - mise hors service d'équipements utiles à la sécurité.

- Un risque économique du fait de la perte de production. Ce risque doit être particulièrement maîtrisé dans les industries à procès pour les quelles le redémarrage peut être long et coûteux.

De plus, si le courant de défaut est élevé:

- Les dégâts, dans l'installation ou dans les récepteurs, peuvent être importants et augmenter les coûts et les temps de réparation.
- La circulation de forts courants de défaut en mode commun (entre réseau et terre) peut également perturber des équipements sensibles, surtout si ceux-ci font partie d'un système "courants faibles" géographiquement réparti avec des liaisons galvaniques.

Enfin, à la mise hors tension, l'apparition de surtensions et / ou de phénomènes de rayonnement électromagnétique peuvent entraîner des dysfonctionnements, voire des dégradations d'équipements sensibles.

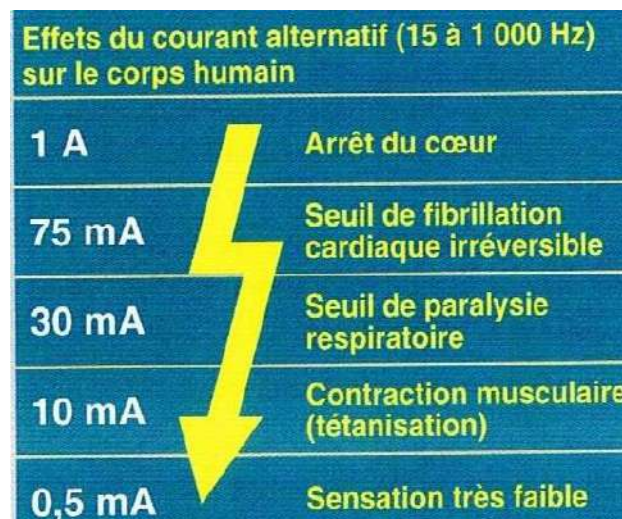


Figure II.9: Effets du courant alternatif sur le corps humain [6].

II.7. Critères de choix des schémas des liaisons à la terre

Leurs performances s'apprécient selon les cinq critères énumérés ci-après:

- la protection contre les chocs électriques.
- la protection contre l'incendie d'origine électrique.
- la continuité d'alimentation.
- la protection contre les surtensions.
- la protection contre les perturbations électromagnétiques.

La synthèse des propriétés de chaque schéma des liaisons à la terre aboutit à la comparaison technique exprimée ci-après.

II.7.1. les protections contre les effets de l'électrocution

II.7.1.1. Protection contre les chocs électriques

Tous les Schéma de Liaison à la Terre permettent d'assurer une égale protection contre les chocs électriques, dès lorsqu'ils sont mis en œuvre et utilisés en conformité avec les normes.

II.7.1.2. Protection contre le risque d'incendie d'origine électrique

Dans le schéma TT, et IT lors du premier défaut d'isolement, l'intensité du courant entraîné par défaut est respectivement faible ou très faible, et le risque d'incendie est faible.

En revanche:

- en cas de défaut franc, l'intensité du courant entraîné par le défaut d'isolement est élevée dans les schémas de type TN, et les dommages occasionnés sont importants.
- en cas de défaut impédant, les schémas TN réalisés sans dispositifs différentiels ne présentant pas une protection suffisante, le passage au schéma TN-S associé à l'emploi de dispositifs différentiels est recommandé.
- En exploitation normale, le schéma TN-C présente un risque d'incendie plus élevé que les autres. En effet, le courant de déséquilibre des charges parcourt en permanence non seulement le conducteur PEN, mais aussi les éléments qui y sont raccordés: charpentes métalliques, masses, blindages,etc. Pendant un court-circuit, les énergies dissipées dans ces trajets non prévus augmentent considérablement. C'est pourquoi le schéma TN-C est interdit dans les locaux à risque d'explosion ou d'incendie.
- Le choix du schéma IT évite toutes les conséquences néfastes du défaut d'isolement:
 - le creux de tension.
 - les effets perturbateurs du courant de défaut.
 - les dommages aux équipements.
 - l'ouverture du départ en défaut.

Son exploitation correcte rend le second défaut réellement improbable.

Remarque : c'est toujours une association de dispositions qui concourent à la continuité d'alimentation: doublement des sources, ASI (onduleurs), sélectivité des protections, schéma IT, service d'entretien, etc

II.7.1.3. Protection contre les surtensions

Dans tous les schémas des liaisons à la terre, une protection peut être nécessaire. Pour la choisir, il est nécessaire de prendre en compte l'exposition du site, la nature de l'établissement

et des on activité.

Puis il faut décider le nombre et la qualité des zones équipotentielles pour mettre en œuvre les protections nécessaires (parafoudres, etc....) sur les lignes des différents systèmes électriques entrants ou sortants.

Remarque :

- Le schéma TT nécessite plus souvent l'emploi de parafoudres.
- Aucun schéma ne dispense de ces mesures.
- En schéma IT, la protection contre les surtensions dues aux défauts MT doit être réalisée par un limiteur de surtension.

II.7.1.4. Protection contre les perturbations électromagnétiques

Le choix du schéma est indifférent:

- Pour toutes les perturbations de mode différentiel.
- Pour toutes les perturbations (mode commun ou mode différentiel) de fréquence supérieure au MHz.

Les schémas TT, TN-S et IT peuvent donc satisfaire à tous les critères de compatibilité électromagnétique.

On notera seulement que le schéma TN-S amène davantage de perturbations pendant la durée du défaut d'isolement, car le courant de défaut est plus élevé.

En revanche les schémas TN-C ou TN-C-S sont déconseillés:

Dans ces schémas, le conducteur PEN, les masses des matériels et les blindages des câbles sont parcourus par un courant permanent lié au déséquilibre des charges.

Ce courant permanent crée des chutes de tension perturbatrices entre les masses des matériels sensibles reliés au PEN.

La présence d'harmoniques de rang multiple de trois à amplifié nettement ce courant dans les installations modernes.

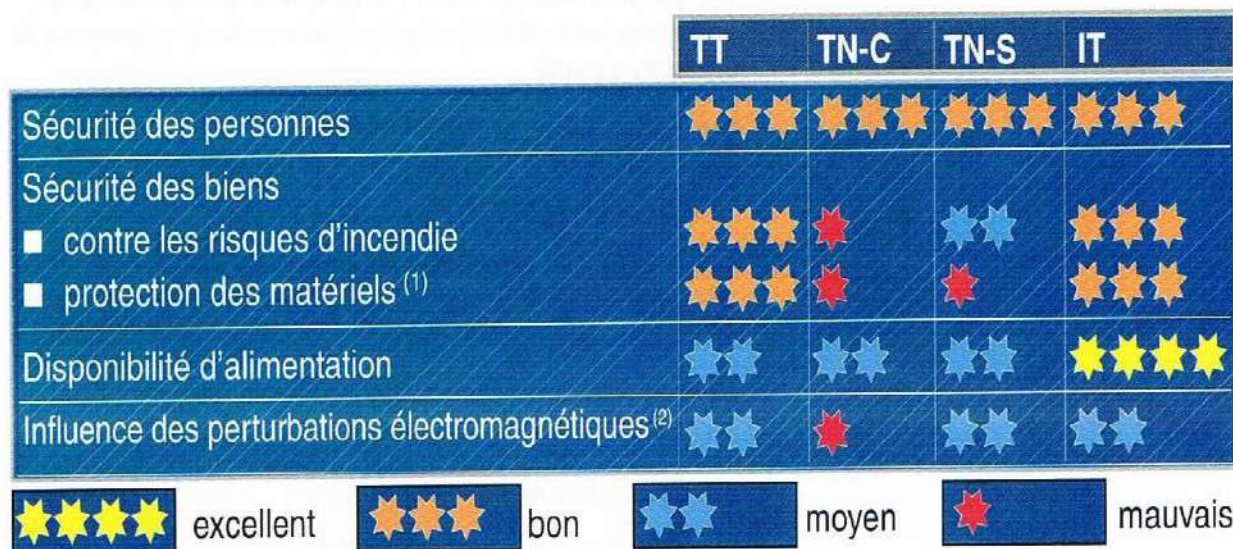


Figure II.10: Comparaison entre les différents SLT[6].

(1) : cas de défaut d'isolement.

(2) : ensemble des perturbations électromagnétiques:

- externes: défaut sur réseau de distribution HT, surtensions de manoeuvre , surtensions d'origine atmosphérique ..
- interne : courant de défaut d'isolement, harmoniques sur réseau BT.

II.7.2.Choix des Schémas de Liaison à la Terre

Les trois Schémas de Liaison à la Terre mondialement utilisés et normalisés par la CEI364 ont pour objectif commun la recherche de la meilleure sûreté.

Sur le plan de la protection des personnes, les trois Schémas de Liaison à la Terre sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.

Etant données les caractéristiques spécifiques à chaque Schémas de Liaison à la Terre, il ne peut donc être question de faire un choix a priori.

Ce choix doit résulter d'une concertation entre l'utilisateur et le concepteur de réseau (Bureaux d'études installateur...) sur:

- Les caractéristiques de l'installation.
- Les conditions et impératifs d'exploitation.

Il est illusoire de vouloir exploiter un réseau à neutre isolé dans une partie d'installation qui, par nature, possède un niveau d'isolement faible (quelques milliers d'ohms):installations anciennes, étendues, avec lignes extérieures...De même, il serait contradictoire, dans une

industrie où la continuité de service ou de productivité est impérative et les risques d'incendie importants, de choisir une exploitation en mise au neutre.

II.7.3.Méthodologie pour choisir les Schémas de Liaison à la Terre

- Tout d'abord, ne pas oublier que les trois Schémas de Liaison à la Terre peuvent coexister dans une même installation électrique, ce qui est une garantie pour obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.
 - En suite, s'assurer que le choix n'est pas recommandé ou imposé par les normes ou la législation (décrets, arrêtés ministériels).
 - Puis dialoguer avec l'utilisateur pour connaître ses exigences et ses moyens:
 - besoin de continuité de service.
 - service d'entretien ou non.
 - risque incendie.

Globalement:

-Continuité de service et service d'entretien: la solution est l' IT.

-Continuité de service et pas de service d'entretien: pas de solution totalement satisfaisante, préférer le TT pour le quel la sélectivité au déclenchement est plus facile à mettre en œuvre et qui minimise les dégâts par rapport au TN.

Les extensions sont simples à réaliser (pas de calcul).

-Continuité de service non impérative et service d'entretien compétent : préférer le TN-S (réparation et extensions rapides et exécutées selon les règles).

-Continuité de service non impérative et pas de service d'entretien: préférer le TT.

- Risque d'incendie: IT si service d'entretien et emploi de DDR 0,5 A ou TT.

- Tenir compte de la spécificité du réseau et des récepteurs:
 - Réseau très étendu ou à fort courant de fuite: préférer le TN-S.
 - Utilisation d'alimentations de remplacement ou de secours: préférer le TT.
 - Récepteurs sensibles aux forts courants de défaut (moteurs): préférer le TT ou l'IT.
 - Récepteurs à faible isolement naturel (fours) ou avec filtre HF important (gros ordinateurs): préférer le TN-S.
 - Alimentation des systèmes de contrôle-commande: préférer l' IT (continuité de service) ou le TT (meilleure équipotent alité des appareils communicants) [6].

II.8. Conclusion


Dans ce chapitre nous avons présenté les schémas de liaison possible exploités actuellement dans les installations électriques.

Le régime du neutre est un facteur déterminant pour la sécurité d'alimentation ; en terme de continuité de service, la protection du réseau et le personnel.

N'utiliser qu'un seul Schéma de Liaison à la Terre n'est pas toujours le meilleur choix. Il convient donc, dans beaucoup de cas de mettre en œuvre plusieurs Schéma de Liaison à la Terre dans une même installation.

En règle générale, une installation "en râteau", en distinguant bien les prioritaires, en utilisant des sources de secours ou des alimentations sans interruption, est préférable à une installation monolithique arborescente.

Le troisième chapitre sera dédié aux résultats expérimentaux des différentes manipulations du SLT : cas du schéma IT.



Chapitre III
Résultats
expérimentaux

III.1. Introduction

Cette partie expérimentale a été réalisée sur un banc d'essais didactique de Schémas de Liaisons à la Terre avec recherche automatique de défaut «SLTXM200», de la firme Schneider Electric. Dans cette étude, nous nous sommes limités juste au régime IT.

Dans ce qui suit nous donnons une description détaillée du banc d'essais utilisé, suivi des résultats expérimentaux de huit manipulations et leurs discussions.

III.2. Description de l'ensemble

- L'ensemble pédagogique «SLTXM200» a été développé pour l'étude, la compréhension, et la mise en évidence des normes et règles de sécurité concernant le choix et la mise en application des différents régimes de neutre appelés **schémas de liaison à la terre (SLT)**.
- L'équipement comporte deux faces de travail totalement indépendantes et isolées entre elle qui permet le travail à deux groupes d'apprenants d'effectuer simultanément des exercices de travaux pratiques.
- Une face permet l'étude des schémas de liaison à la terre **TT/TN** et l'autre face celle du schéma de liaison à la terre IT XM200.
- L'équipement comprend sur sa partie supérieure les deux faces de travail. Pour la compréhension et la réalisation des travaux pratiques chacune représente une installation de distribution d'équipements et de machines dans différents locaux. Le câblage est réalisé avec des cordons souples munis de fiches pour un raccordement sur des douilles sécurisées (figure III.1).
- Dans la partie inférieure se trouvent les organes de commande et de protection de l'ensemble ainsi que des résistances de puissance de différentes valeurs pour simuler les défauts et mettre en évidence la valeur du courant et l'utilisation de différents types de disjoncteur (figure III.2), qui seront décrits dans ce qui suit.
- **Protection et commande** : chaque face a son ensemble de commande et de protection totalement indépendant.

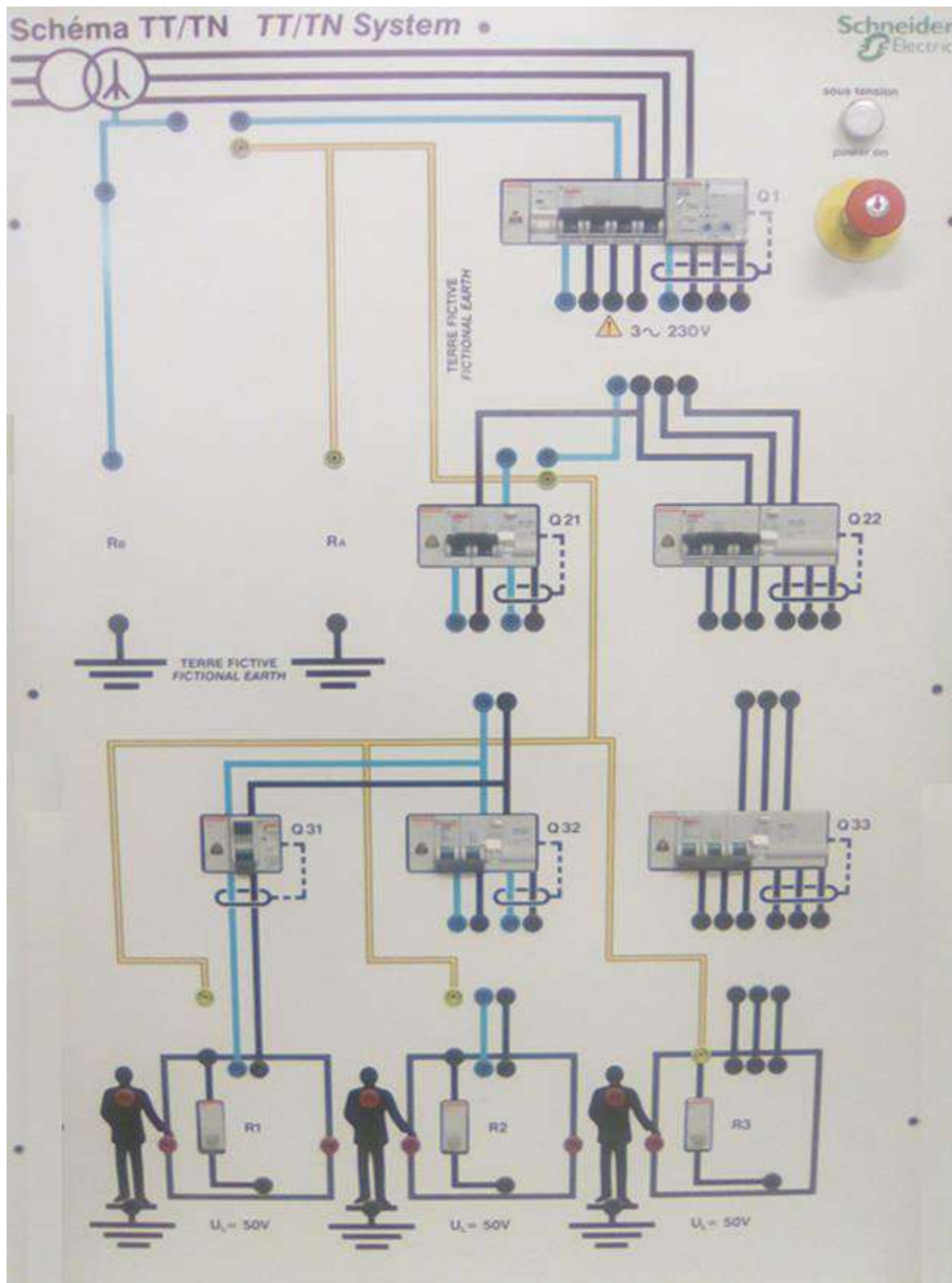


Figure III.1:Face du Schéma TT/TN.



Figure III.2: Partie inférieure du banc d'essais.

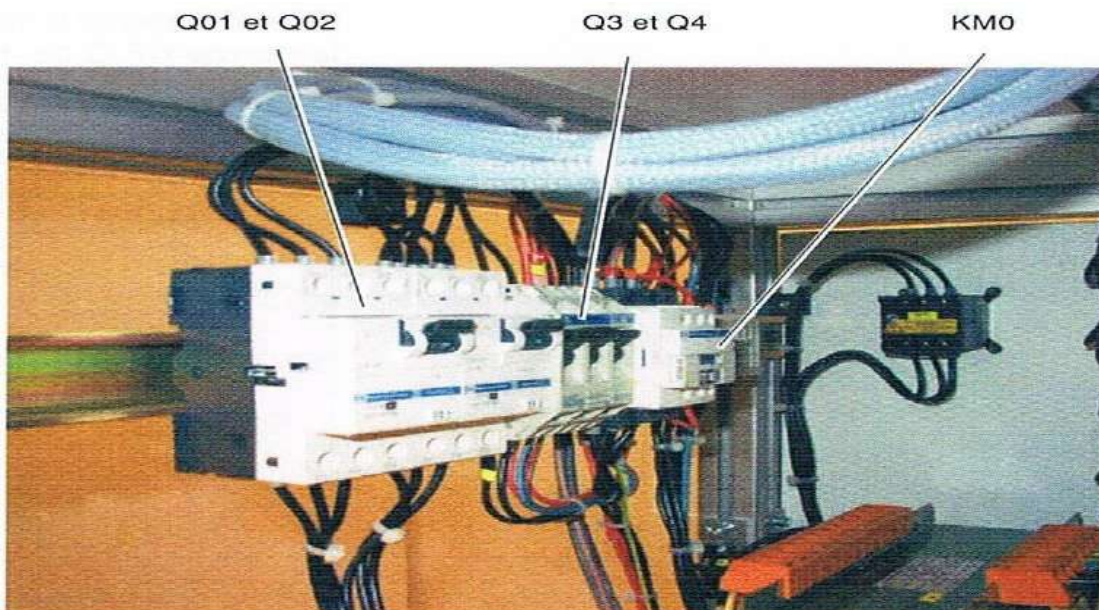


Figure III.3: Protection et commande du banc.

Face du Schéma IT

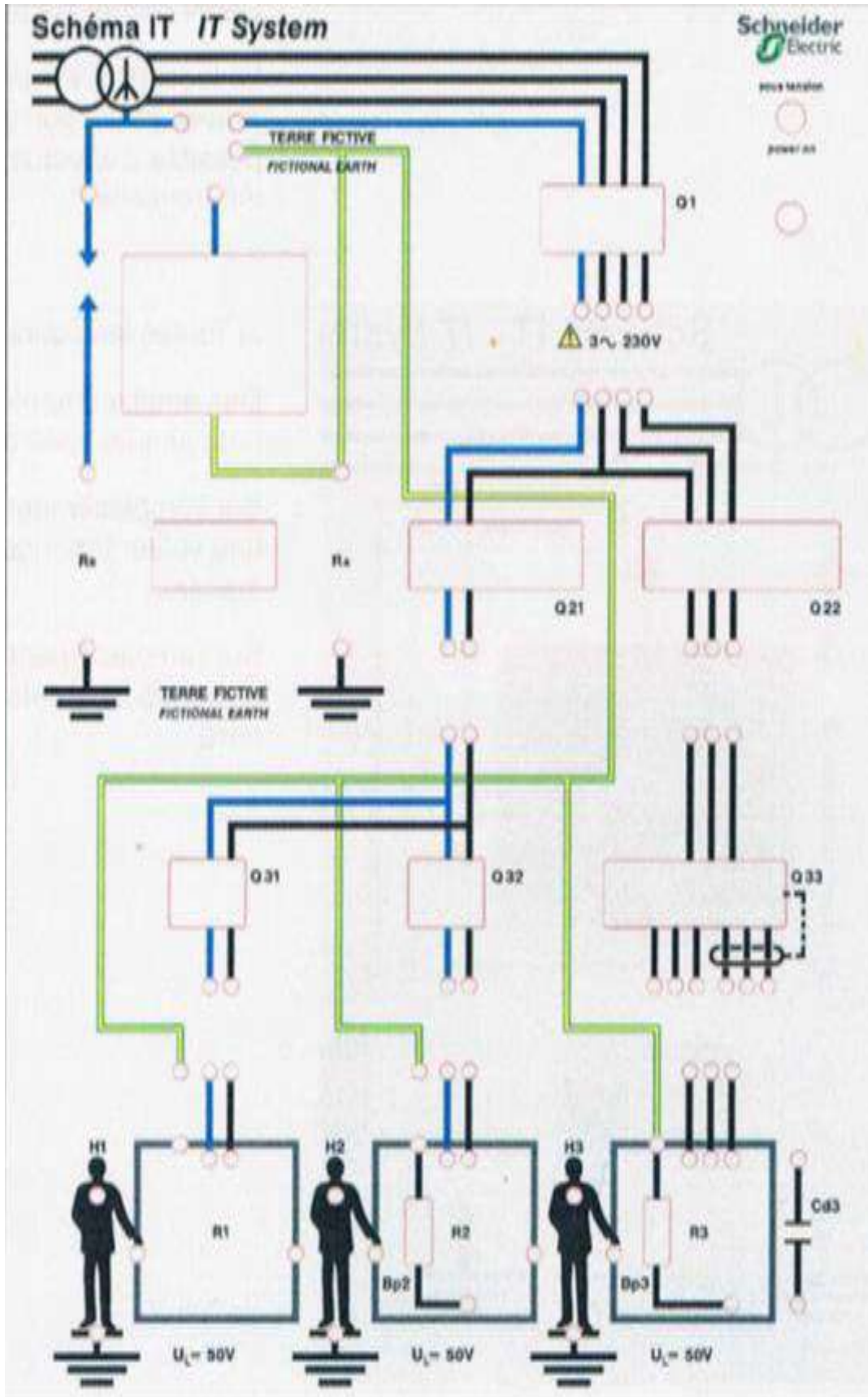


Figure III.4: Face du schéma SLT IT.

- Sur cette face sont représentés des équipements installés dans trois locaux.
- Les locaux 1 et 2 renferment chacun un récepteur monophasé R1 et R2. Ils sont classés en condition normale, la tension limite conventionnelle U_L doit être inférieure à 50V.
- Le local 3 contient un récepteur triphasé R3, il est classé en condition normale, la tension limite conventionnelle U_L doit être inférieure à 50V.
- Les tensions limites conventionnelles U_L sont déterminées par la norme NFC15 100.
- Le récepteur R3 est supposé installé dans un local qui présente un risque d'incendie.
- Les organes de coupure et de protection en partant du transformateur côté utilisation de l'équipement sont: Un disjoncteur tétra polaire **Q1** C60N calibre 16A et d'un voyant de présence de tension.
- **Répartition sur deux circuits**
 - Le premier protégé par un disjoncteur phase plus neutre **Q21**C60N calibre 10A avec un voyant de présence de tension.
 - Le second protégé par un disjoncteur **Q22** C60N triphasé calibre 10A avec un voyant de présence de tension.
 - Chacun des deux circuits est équipé d'un "Vigilohm XD 301" (Figure III.5) permettant de détecter le défaut d'isolement sur le circuit étudié.

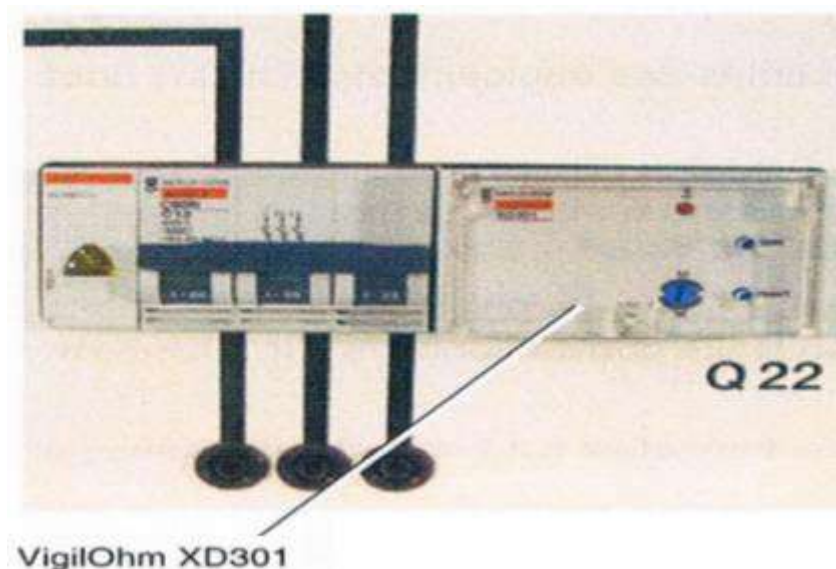


Figure III.5: Vigil Ohm XD 301.

- **Ensuite une protection par local**

Pour le local R1 une interruptrice différentielle phase plus neutre **Q31** calibre 25A avec protection différentielle de 10mA fixe (Figure III.4).

Le local R2 protégé par un disjoncteur phase plus neutre **Q32** calibre 6A avec protection différentielle de 30mA fixe et un voyant. Il est possible d'effectuer son câblage sans utiliser la protection différentielle (Figure III.4).

Le local R3 est protégé par un disjoncteur **Q33** triphasé calibre 6A avec protection différentielle de 300 mA fixe et un voyant. Il est possible d'effectuer son câblage sans utiliser la protection différentielle (Figure III.4).

○ Toutes les connexions sont ramenées sur douilles sécurisées.

Des emplacements sont prévus pour la connexion des résistances pour simuler les défauts.

Sur l'emplacement "R_A" se raccorde une résistance représentant une valeur théorique de la résistance de ligne du raccordement des masses.

Sur l'emplacement "R_B" se raccorde une résistance représentant la valeur de la résistance de ligne pour le raccordement du neutre à la terre (Figure III.4).

○ Sur cette face est étudié le schéma de liaison à la terre il n'y a pas de déclenchement au premier défaut détecté entre une phase et la masse, mais une signalisation par l'intermédiaire d'un appareil qui contrôle en permanence l'isolement de l'installation (CPI).

Il est évident qu'il faut chercher l'origine du premier défaut dès son apparition. Un deuxième défaut sur une autre phase serait vu comme un court-circuit.

Il entrainerait le déclenchement d'un ou plusieurs disjoncteurs et immobiliserait immédiatement l'ensemble des départs déclenchés.

Ce principe permet d'avoir une continuité de service avec la présence d'un défaut sur son installation sans toutefois créer le risque pour les personnes.

○ Le (CPI) contrôleur permanent d'isolement "XM200" signale tout défaut fugitif par un voyant et mémorisation de sa valeur.

Le clavier de dialogue permet:

- L'introduction des seuils (seuil de prévention "S_p" et le seuil de défaut "S_d", ils sont signalés par voyants sur la face avant du CPI « XM200 »).

- Affichage de la valeur du défaut fugitif (afficheur numérique 7 segments).

- Introduction des temporisations.

○ Le CPI "XM 200" injecte entre la terre et le réseau une tension alternative d'une fréquence de 2.5 Hz.

Les détecteurs automatiques "XD30" sont des récepteurs fixes utilisés dans notre cas avec le CPI "XM 200". Sans aucune liaison avec celui-ci, et en association avec des tores sur les circuits à contrôler, ils détectent des défauts d'isolement.

Un voyant signale le défaut d'isolement.

La détection du défaut est rendu possible par l'injection de courant à 2.5 Hz entre le réseau et la terre émis par le CPI "XM200".

▪ Partie inférieure

La partie inférieure renferme les organes de commande et de protections de l'équipement ainsi que les résistances pour effectuer les manipulations.

▪ Partie Contrôle/Commande

- Un contacteur général KMO.
- Deux transformateurs TR1 et TR2 triangles / étoiles de puissance 2 KVA, la tension distribuée sur les faces de travail est de 400 V triphasé entre phases et de 230V entre phase et neutre.
- Deux disjoncteurs magnéto-thermiques Q01 et Q02 pour la protection des transformateurs.
- Deux interrupteurs sectionneurs Q10 et Q20 avec poignées extérieures cadenas sables pour isoler indépendamment chaque face de travail.
- Un transformateur TR3, la tension distribuée sur les faces de travail est de triphasé 400V entre phases et de 24V entre phase et neutre, 40VA pour le circuit de contrôle.
- Deux disjoncteurs Q3 et Q4 pour les protections du transformateur de contrôle.

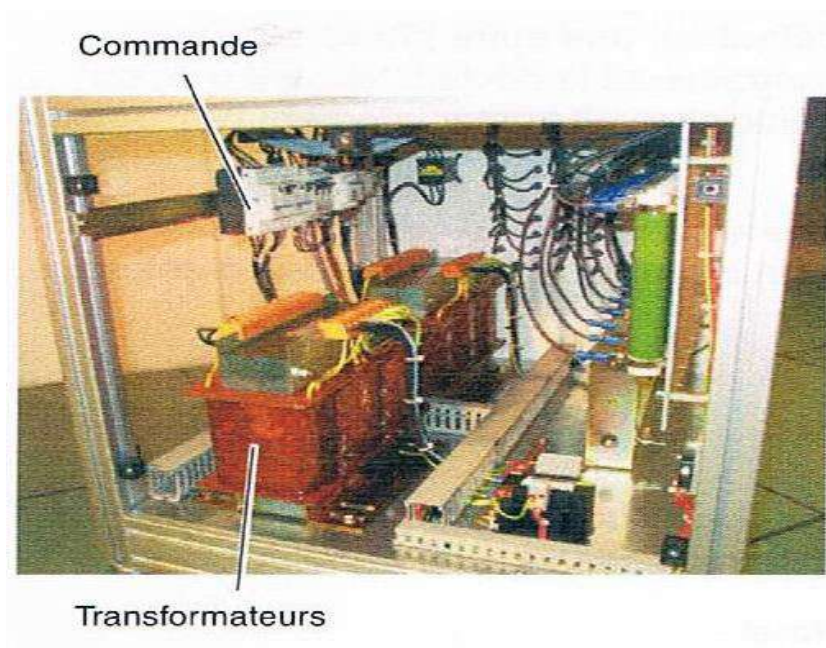


Figure III.6: Transformateurs.

Les résistances pour effectuer les manipulations sont utilisées pour créer des circuits de défaut. Leur valeur déterminera le courant de déclenchement. Elles sont prises en raccordant les douilles sur la face IT avec les douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat du côté latéral.

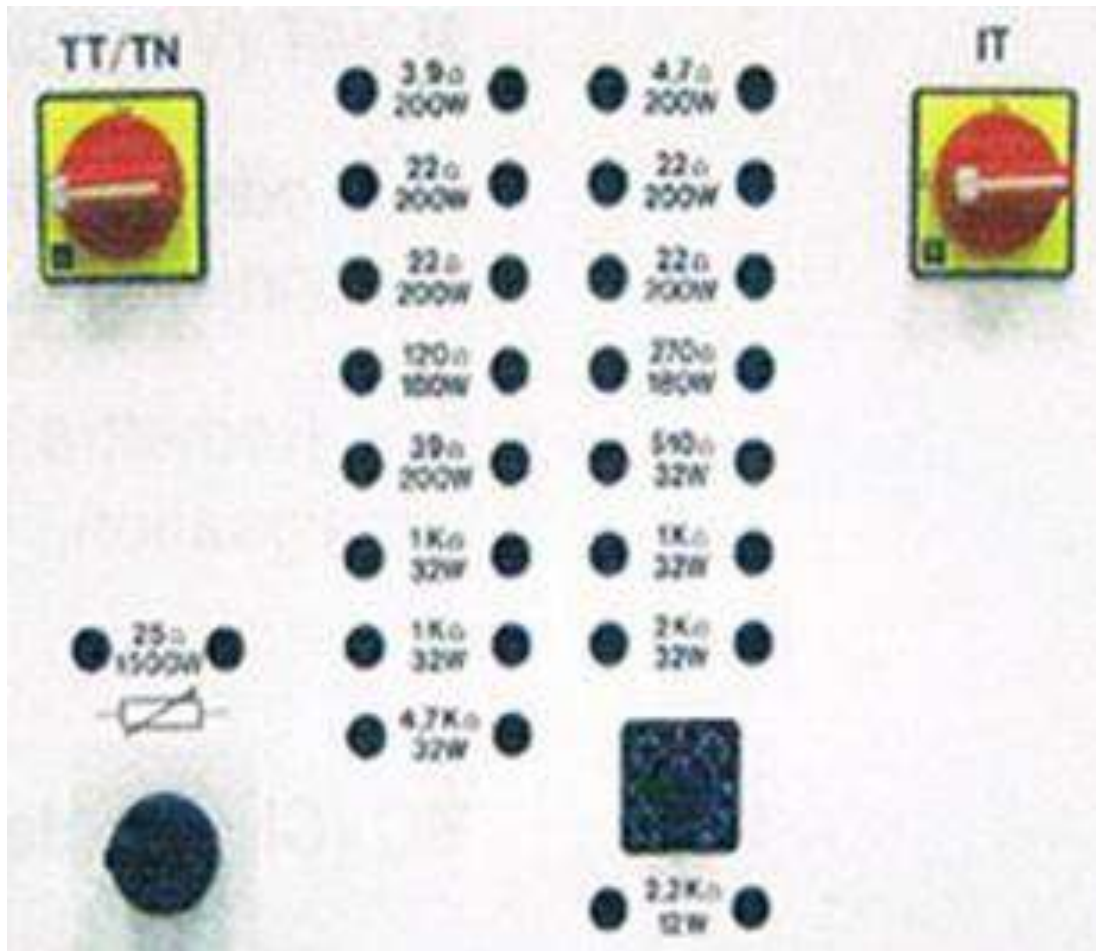


Figure III.7: Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat.

III.3. Manipulations sur le schéma de Liaison à la Terre IT

- **Le neutre du transformateur** est isolé de la Terre, (1^{ère} lettre: I=isolé).
- **Les masses d'utilisation** des récepteurs sont reliées directement à une prise de terre (2^{ème} lettre: T=Terre).

Remarque : Si la résistance de la prise de terre est inférieure à 1Ω , Il est conseillé de relier les masses et le neutre à cette prise de terre.

Schéma simplifié:

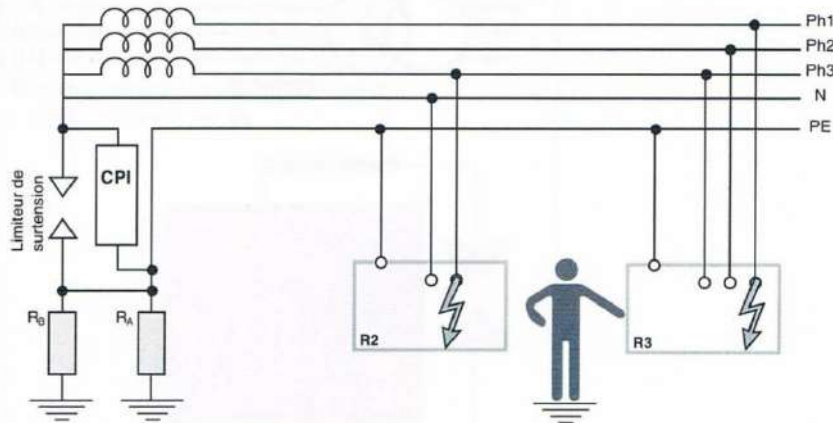


Figure III.8:Signalisation au 1^{er} défaut,
Déclenchement au 2^{ème} défaut entre deux phases.

Mise en œuvre et réglage du contrôleur permanent d'isolement XM200

- Réaliser la liaison du CPI
- Mettre le CPI sous tension en fermant le disjoncteur situé en dessous de celui-ci. Le CPI lance un autotest dès sa mise sous tension, et il est opérationnel au bout de 20 secondes. Au bout de 6 heures, l'appareil relance automatiquement un nouvel autoteste.
- Régler les seuils de prévention et d'alarme du CPI:
 - ✓ Le CPI est équipé d'un premier seuil dit «**de prévention**» afin d'informer l'utilisateur de la baisse d'isolement de son installation.

Régler le seuil de prévention S_p à 10 k Ω .
 - ✓ Le CPI est obligatoirement équipé d'un seuil dit «**d'alarme**» qui prévient l'utilisateur de la baisse d'isolement de son installation.

Régler le seuil d'alarme S_a à 2k Ω .
 - ✓ **Régler le temps du CPI à 15 secondes.** Cette temporisation permet au CPI XM200 de ne pas réagir pour des défauts fugitifs de courte durée, inférieures à ce temps.

Remarque

Si la prise de terre des masses est séparée des masses d'utilisation, il y a obligation d'employer un DDR sur chaque groupe de masses.

III.3.1. Programme des manipulations SLT IT

Manipulation 1

- L'interconnexion et la mise à la terre des masses sont des conditions nécessaires et suffisantes pour la protection en cas de premier défaut.

Manipulation 2

- Contrôle permanent de l'isolement du réseau par rapport à la terre, et signalisation d'un premier défaut.

Manipulation 3

- Défaut simple : recherche du départ en défaut par ouvertures successives des divers disjoncteurs.

Manipulation 4

- Défaut simple: recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence.

Manipulation 5

- Défaut simple: recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence et détecteur fixe.

Manipulation 6

- Défaut double : défaut franc sur R2 (phase3) et défaut franc sur R3(phase1),nécessite de prévoir des DDR sur les départs longs.

Manipulation 7

- Défaut double : défaut franc sur R2 (phase 3) et défaut franc sur R3(phase1),les déclencheurs magnétiques suffisent à la protection

Manipulation 8

- Défaut simple : prise en compte des transitions provoquant un défaut fugitif.

III.3.1.1. SLT IT Manipulation 01

- a) **Objectif:** L'interconnexion et la mise à la terre des masses sont conditions nécessaires et suffisantes pour la protection en cas de premier défaut.

b) Schéma de montage et manipulation :

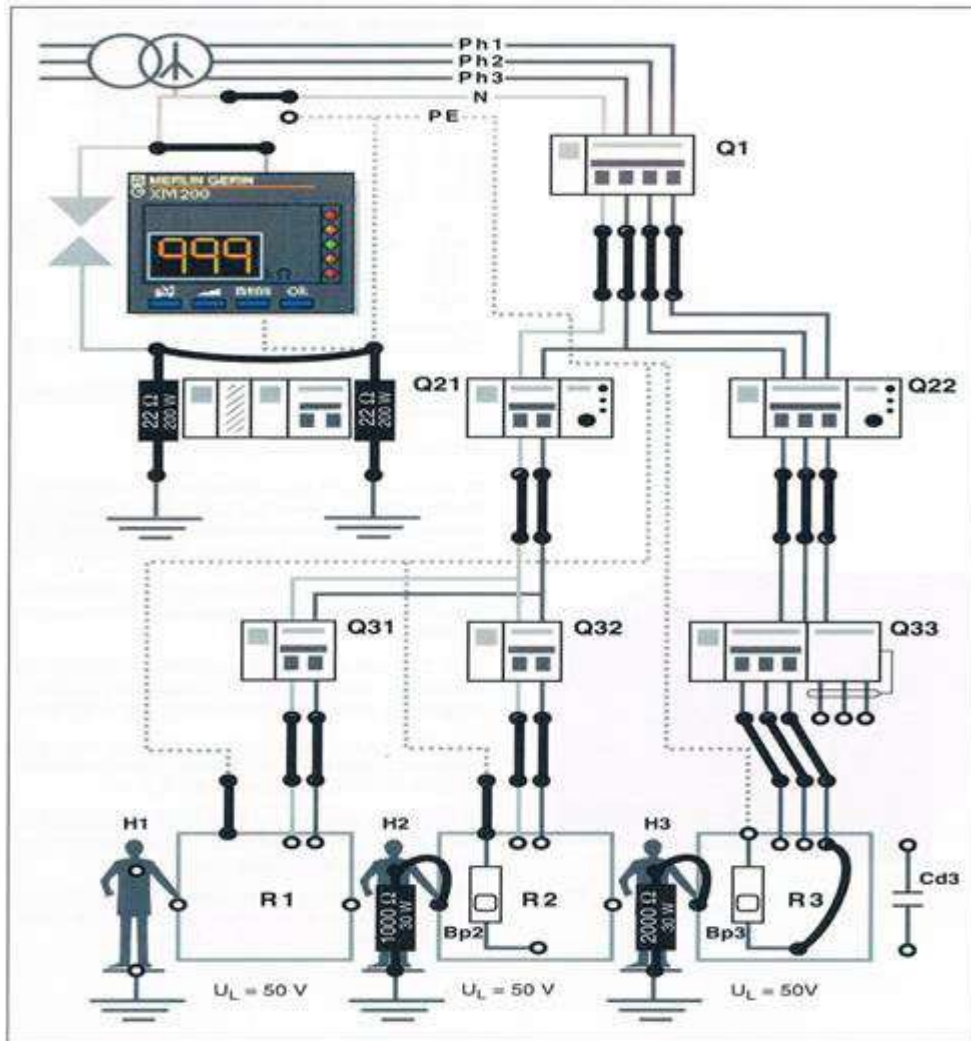


Figure III.9: Schéma de montage Manipulation 01 SLT IT.

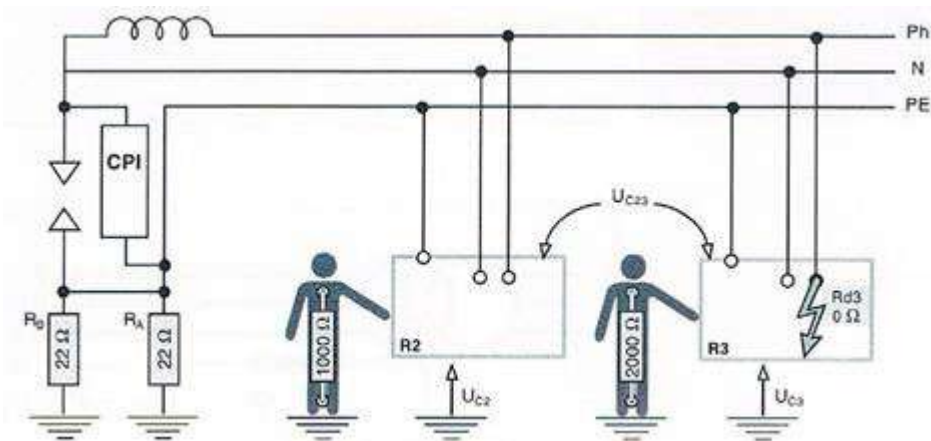


Figure III.10: Schéma équivalent de la figure III.9.

Expérience A

- 1 – Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la figure III.9.
- 3 - Mettre sous tension enfermant Q1, Q21, Q22, Q32 et Q33. Si le CPI n'est pas sous tension, fermer le disjoncteur puis attendre 20 secondes environ (durée de l'autotest), vérifier les réglages de $S_p = 10 \text{ k}\Omega$, $S_a = 2 \text{ k}\Omega$ et $T = 15 \text{ sec}$.
- 4- Créer un défaut franc dans le récepteur R3 en appuyant sur le bouton poussoir Bp3.
- 5- Mesurer la tension entre la masse du récepteur R2 et la terre:
 $U_{C2} = 0 \text{ V}$: **pas de danger**.
- 6- Mesurer les tensions entre:
 - la masse du récepteur R3 et la terre

$U_{C3} = 0 \text{ V}$: **pas de danger**.

c) Conclusion

Lors de l'apparition d'un premier défaut (même franc), il n'y a pas de danger. Le déclenchement n'est donc pas nécessaire au premier défaut, il faut cependant prévoir un dispositif qui contrôle l'isolement du réseau et signale l'apparition d'un premier défaut.

Remarque

Après la mise hors tension du départ en défaut, voire de toute l'installation le CPI XM200 privait l'utilisateur de l'existence de ce défaut: le CPI XM200 l'a mémorisé, avec sa valeur, et le défaut est consultable (touche «menu») et effaçable (touche «OK») à tout instant dans le menu principale.

En schéma IT, est un cas de premier défaut, l'impédance Z_d de la boucle de défaut est l'impédance du réseau par rapport à la terre.

Dans le cas précis de ce banc d'essais, cette impédance Z_d est constituée essentiellement par l'impédance interne du CPI, car la longueur des câbles n'est pas significative.

III.3.1.2. SLT IT Manipulation 02

- a) **Objectif** : Contrôle permanent de l'isolement du réseau par rapport à la terre, et signalisation d'un premier défaut.

b) Schéma de montage et manipulation :

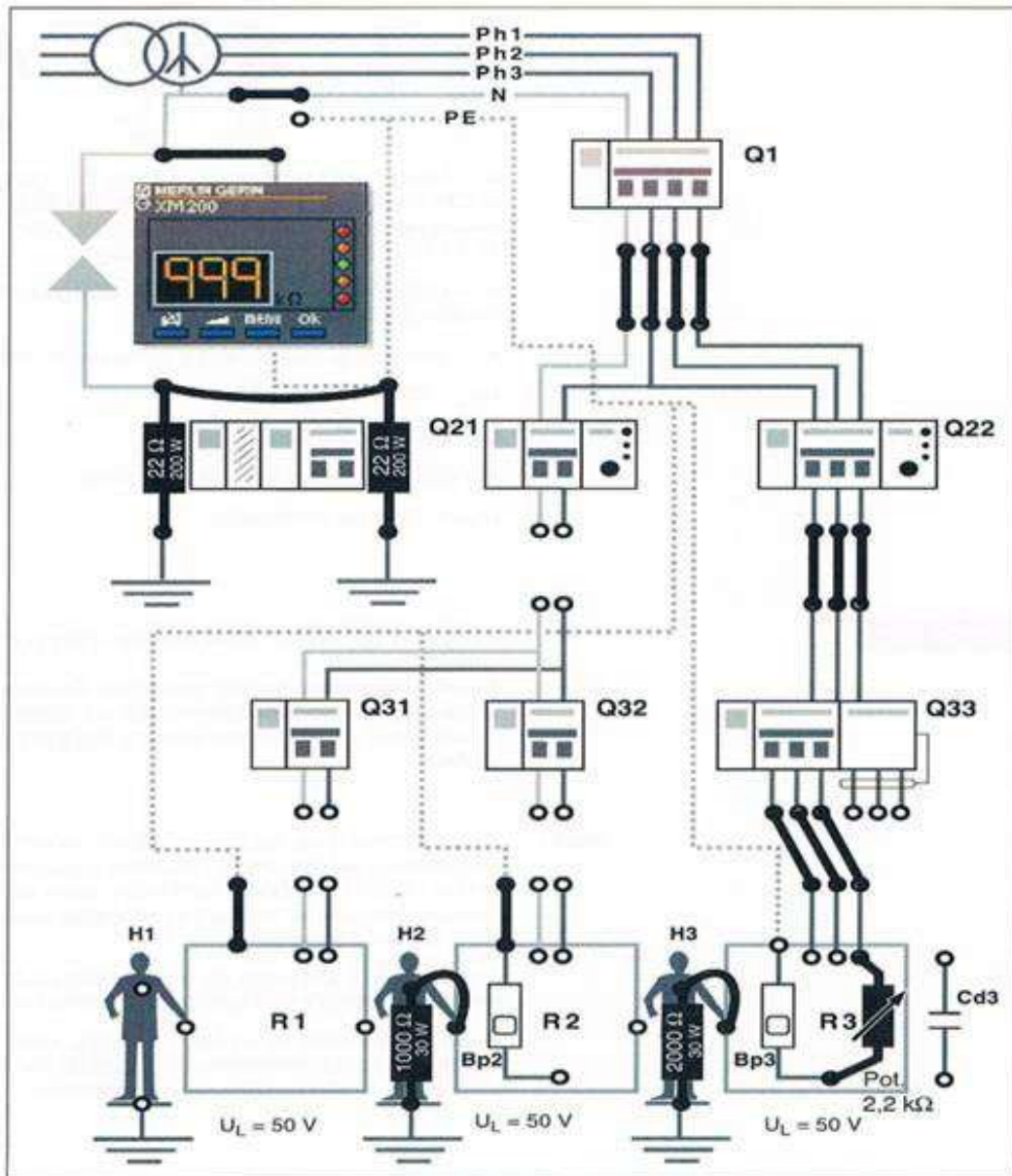


Figure III.11: Schéma de montage Manipulation 2 SLT IT.

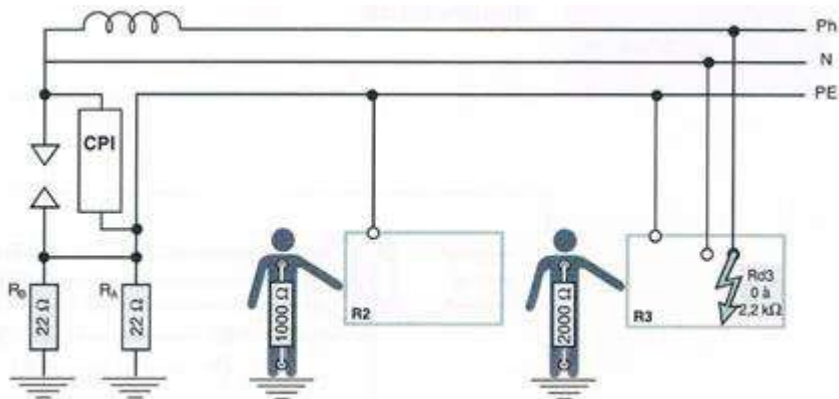


Figure III.12: Schéma équivalent de la figure III.11

Expérience A

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.
- 2- Réaliser le montage correspondant à la figure III.11.
- 3- Mettre sous tension le contrôleur permanent d'isolement CPI et vérifier les réglages de $S_p = 10\text{k}\Omega$, $S_a = 2\text{k}\Omega$ et $T = 15\text{sec}$.
- 4- Ajuster le potentiomètre Rd3 à $2,2\text{ k}\Omega$ (valeur maximum).
- 5- Mettre le réseau sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 6- Créer un défaut permanent dans le récepteur R3 en court-circuitant Bp3:
 - Le voyant lumineux orange du CPI s'allume (solicitation du seuil de prévention $S_p = 10\text{k}\Omega$);
 - Diminuer lentement Rd3 jusqu'à allumage du voyant lumineux rouge du CPI (solicitation du seuil d'alarme $S_a = 2\text{k}\Omega$); la signalisation sonore et lumineuse fonctionne au bout de 15 secondes, et le détecteur XD301 associé à Q22 signale la présence d'un défaut franc au bout de 30 secondes.

Calculer le courant de défaut I_d (sachant que Z interne du CPI = $35\text{k}\Omega$).

Expérience B

- 7- Augmenter la valeur de la résistance de défaut Rd3: dès que sa valeur est supérieure à S_a (seuil d'alarme), la signalisation rouge disparaît au profit de la signalisation orange ($S_a < \text{défaut} < S_p$), la signalisation sonore annonce que la valeur de Rd3 passe au dessus du seuil d'alarme.
- 8- Diminuer la valeur de la résistance de défaut : dès que sa valeur est inférieure au seuil du CPI, la signalisation fonctionne à nouveau au bout de 15 secondes.

c) Conclusion

Le CPI contrôle en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale dès que cet isolement est inférieur à $2\text{ k}\Omega$ (seuil déterminé dans notre cas).

Il est intéressant de souligner le fait que le CPI signale aussi la baisse de l'isolement bien avant qu'on atteigne le seuil critique, qu'il mémorise le défaut ainsi que sa valeur (si celui-ci est présent plus de 15 secondes), qu'on peut consulter cette mémoire et la réinitialiser à tout instant (mémoire effective même si le CPI est hors tension). Enfin, en complément au CPI XM200, la présence des détecteurs XD301 associés aux disjoncteurs de l'installation, réalise le signalement automatique du départ en défaut.

Remarque

Le détecteur XD301 est réinitialisé par le bouton poussoir « Reset » sur son boîtier.

III.3.1.3. SLT IT Manipulation 03

a) Objectif :

Défaut simple : recherche du départ en défaut par ouvertures successives des divers disjoncteurs.

b) Schéma de montage et manipulation

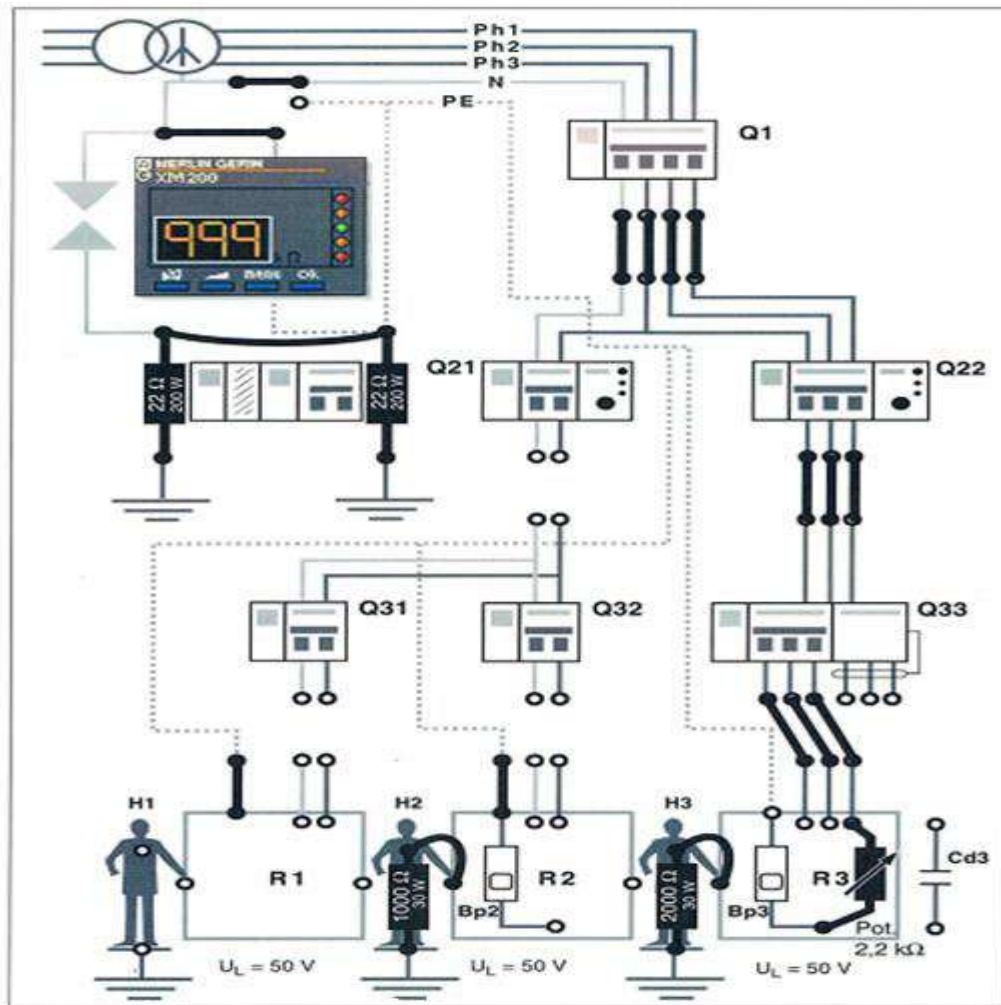


Figure III.13: Schéma de Liaison à la Terre IT Manipulation 03.

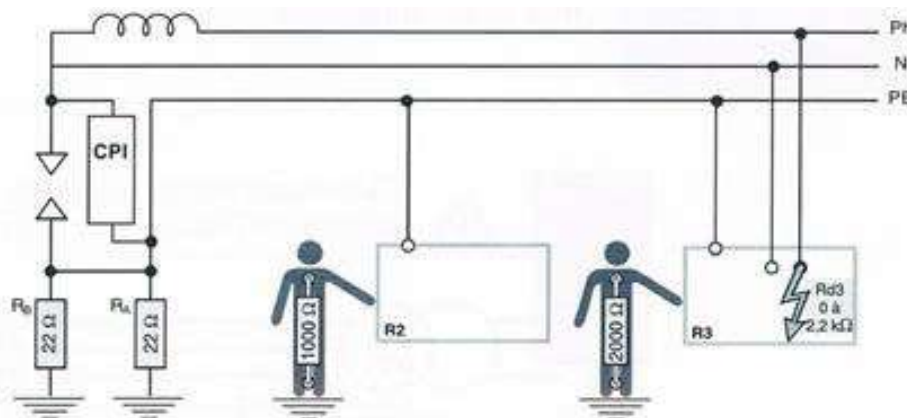


Figure III.14: Schéma équivalent de la figure III.13.

Expérience A

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.
- 2- Réaliser le montage correspondant à la Figure III.13.
- 3- Vérifier les réglages du CPI: $S_a = 10k\Omega$, $S_p = 2k\Omega$ et $T = 15$ sec.
- 4- Mettre le réseau sous tension en fermant Q1, Q22, Q33.
- 5- Créer un défaut permanent avec $Rd3 = 2,2k\Omega$ (solllicitation du seuil de prévention S_p) dans le récepteur R3 en court-circuitant le bouton poussoir Bp3:
 - Le voyant orange du CPI, associe à S_p , s'allume;
 - Diminuer $Rd3$ et répéter l'opération jusqu'à ce que le voyant rouge s'allume (seuil S_a) et la signalisation sonore se déclenche.
 - Acquitter cette signalisation en appuyant sur le bouton poussoir «Arrêt klaxon» sur le CPI XM200.
- 6- Ouvrir le disjoncteur Q22:
 - Lorsque Q22 est ouvert la signalisation sonore fonctionne à nouveau.

Le défaut se situe donc en aval de Q22.

- 7- Refermer Q22 et attendre le déclenchement de la signalisation sonore:
l'acquitter. Ouvrir le disjoncteur en aval Q22, soit Q33:
 - Lorsque Q33 est ouvert la signalisation sonore fonctionne à nouveau.

Le défaut se situe donc en aval de Q33.**c) Conclusion**

Il est possible de localiser le défaut en ouvrant successivement chaque disjoncteur.

Remarque

Lorsque le disjoncteur qui alimente le défaut est ouvert, l'isolement du réseau remonte, le contact inverseur du seuil du CPI fonctionne et fait retentir la signalisation sonore.

Cette méthode présente cependant l'inconvénient d'interrompre la distribution momentanément. Dans les usines fonctionnant «à feu continu», une interruption, même brève, sur chaque départ n'est pas tolérable: il faut donc ce cas trouver une autre solution.

Cette solution est dans la signalisation locale du défaut, ceci étant rendu possible par des détecteurs placés sur chaque départ ou groupement de départs.

III.3.1.4. SLT IT Manipulation 04

a) Objectif

Défaut simple: recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence.

b) Schéma de montage et manipulation:

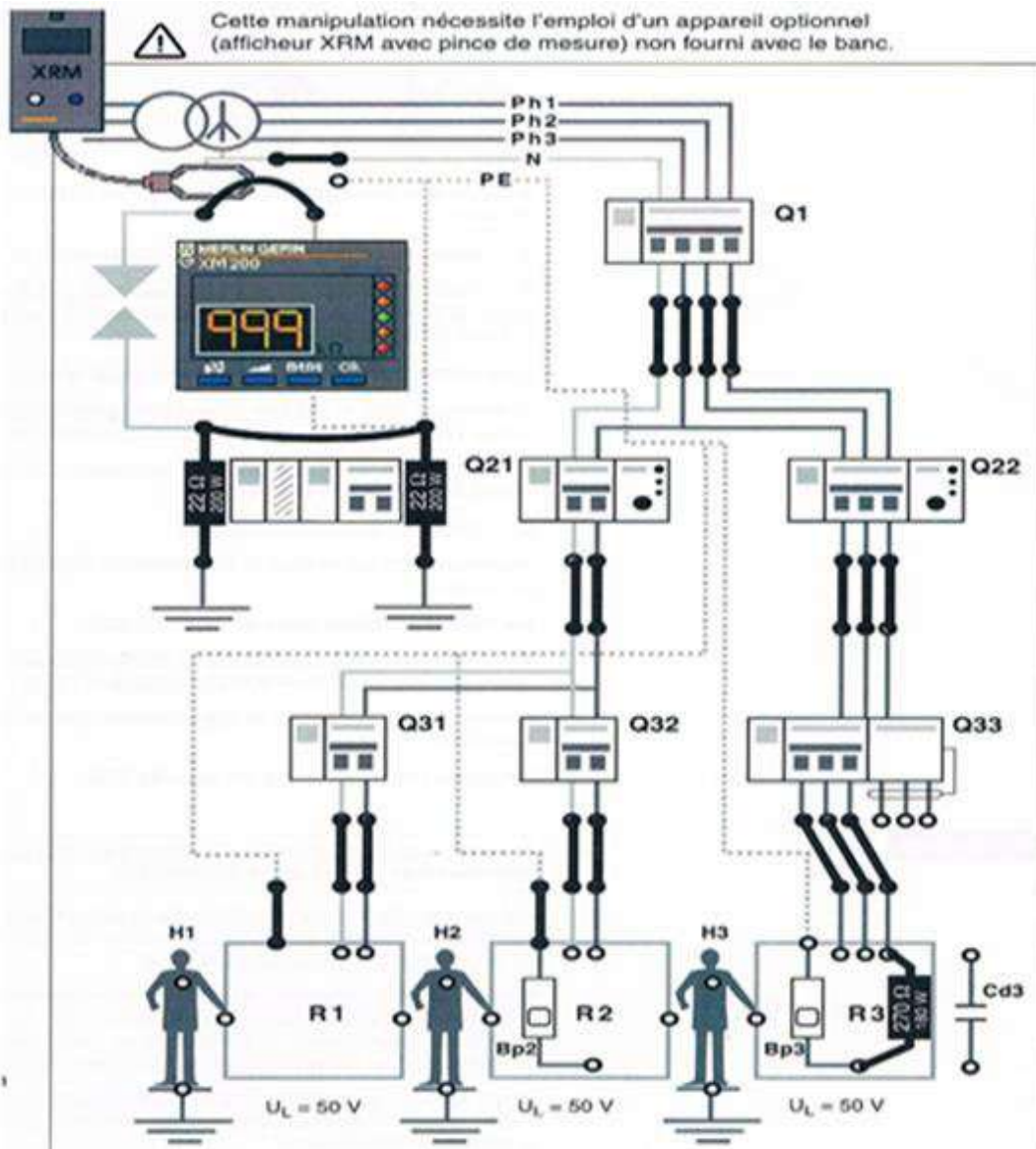


Figure III.15:Schéma de montage SLT IT Manipulation 4.

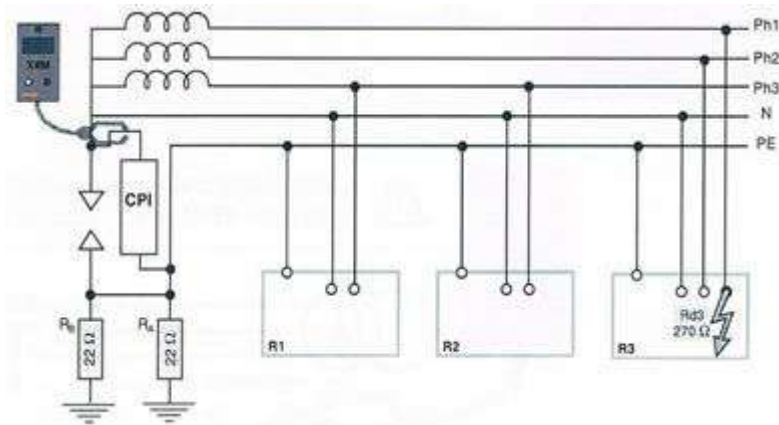


Figure III.16: Schéma équivalent de la figure III.15.

Expérience A

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.
- 2- Réaliser le montage correspondant à la figure III.15.
- 3- Vérifier les réglages du CPI: $S_p = 10k\Omega$, $S_a = 2k\Omega$ et $T = 15$ sec.
- 4- Mettre la pince du XRM sur le fil de liaison du CPI au Neutre de l'installation: régler le potentiomètre associé à la pince utilisée jusqu'à obtenir la valeur 19 sur l'affichage du XRM.
- 5- Mettre le réseau sous tension en fermant tous les disjoncteurs, de Q1 à Q33.
- 6- Créer un défaut permanent de 270Ω dans R3 en court-circuitant Bp3:
 - Les signalisations sonore et lumineuse rouge signalent le défaut;
 - Les acquitter par le bouton poussoir sur le CPI.
- 7- Placer la pince du XRM successivement sur chaque liaison en englobant tous les fils, en partant de Q1, puis en descendant vers les récepteurs.
 - Pince placée en aval de Q1, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0:

Le défaut est donc en aval de Q1.

- Pince placée en aval de Q21, le XRM affiche 0:

Le défaut n'est donc pas en aval Q21.

- Pince placée en aval de Q22, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0:

Le défaut est donc en aval Q22.

- Pince placée en aval de Q33, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0:

Le défaut est donc en aval de Q33, dans le récepteur R3.

Remarque

La pince du XRM doit impérativement englober les conducteurs actifs du départ à contrôler (3Ph+N ou Ph+N).

III.3.1.5. SLT IT Manipulation 05

- a) **Objectif :** défaut simple : recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence et détecteur fixe.
- b) **Schéma de montage et manipulation :**

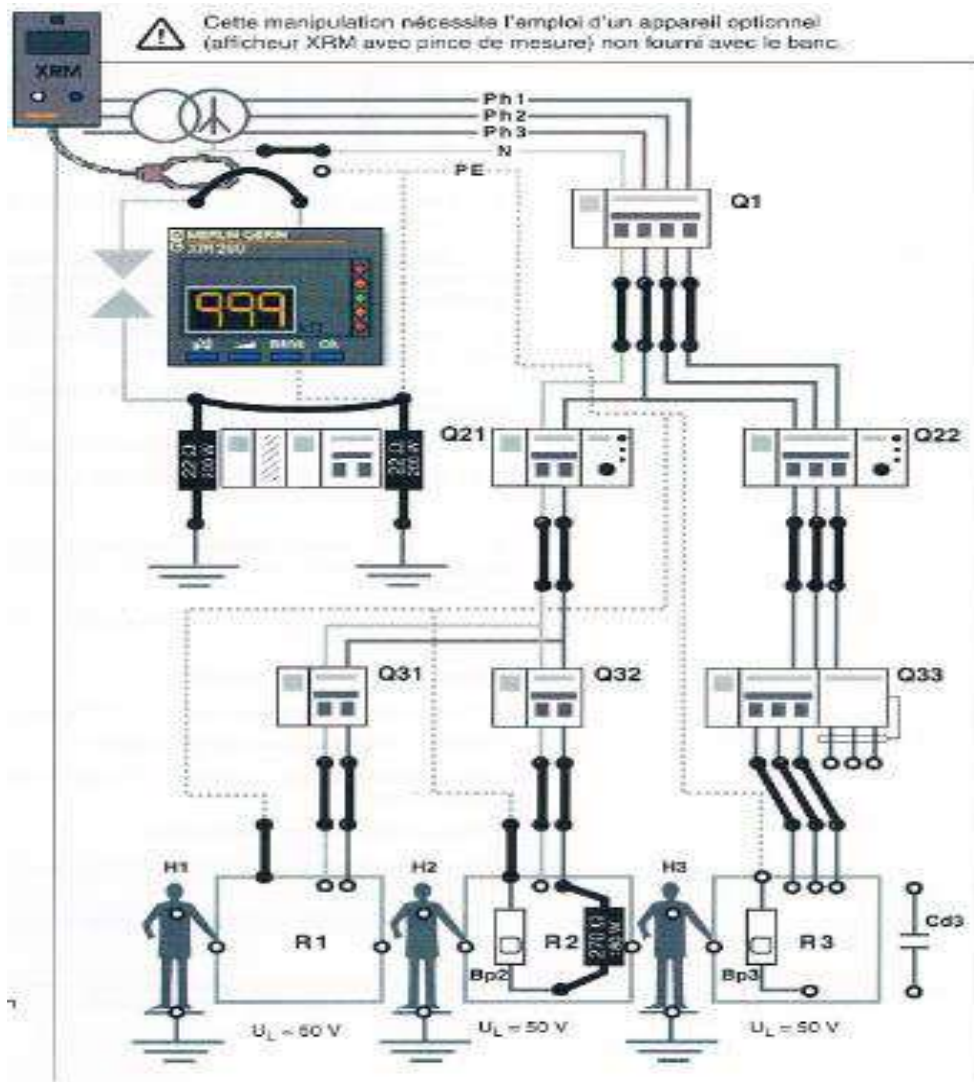


Figure III.17:Schéma de montage Manipulation 05 SLT IT.

Expérience A

- 1 – Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la figure III.17.
- 3 – Vérifier les réglages du CPI : $S_p = 10 \text{ k}\Omega$, $S_a = 2 \text{ k}\Omega$ et $T = 15 \text{ Sec}$.

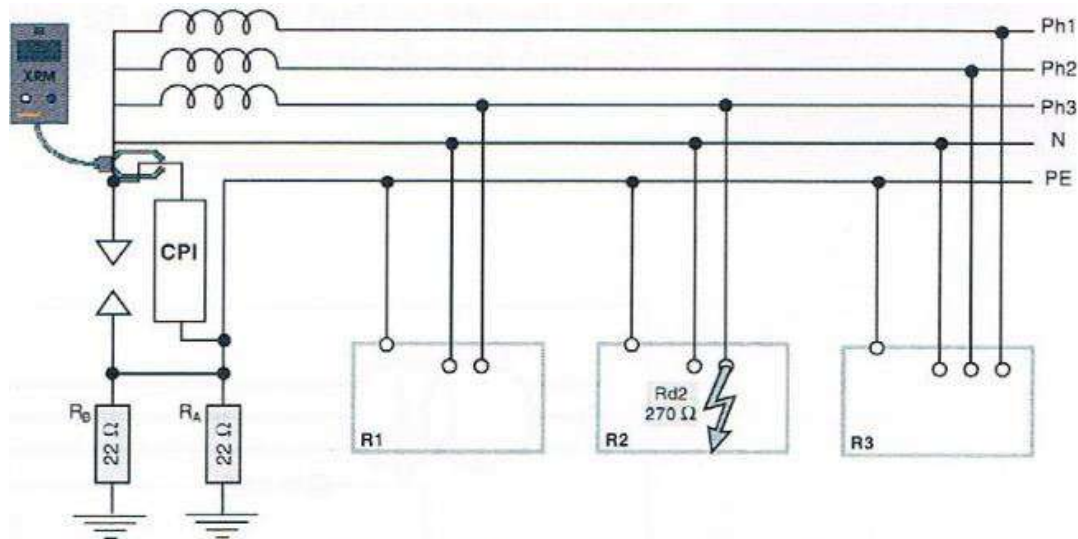


Figure III.18: Schéma équivalent de la figure III.17.

- 4 – Mettre la pince de XRM sur le fil de liaison du CPI au Neutre de l'installation : régler le potentiomètre associé à la pince utilisée jusqu'à obtenir la valeur 19 sur l'affichage du XRM.
- 5 - Mettre le réseau sous tension en fermant tous les disjoncteurs, de Q1 à Q33.
- 6 – Créer un défaut permanent de 270Ω dans R2 en court-circuitant Bp2 :
 - Les signalisations sonore et lumineuse rouge signalent de défaut ;
 - Les acquitter par le bouton poussoir sur le CPI.
- 7 – Placer la pince du XRM successivement sur chaque liaison en englobant tous les fils, en partant de Q1, puis en descendant vers les récepteurs.
 - Pince placée en aval de Q1, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0 :

Le défaut est donc en aval de Q1.

- Pince placée en aval de Q21, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0 :

Le défaut est donc en aval de Q21.

- Pince placée en aval de Q22, le XRM affiche 0 :

Le défaut n'est donc pas en aval de Q22.

- Pince placée en aval de Q31, le XRM affiche 0 :

Le défaut n'est pas dans le récepteur R1.

- Pince placée en aval de Q32, le XRM affiche une valeur 19 différente de 0 :

Le défaut est donc en aval de Q32, dans le récepteur R2.

Expérience B

8 – la recherche est facilitée par les détecteurs fixes XD 301 placés sur les départs Q21 et Q22. Seul le détecteur placé sur Q21 signale le défaut, mais ne peut préciser le récepteur défectueux. Il est donc possible d'effectuer la recherche en plaçant la pince du XRM directement sur Q31, puis Q32 (deux dernières manipulations).

c) Conclusion

La recherche mobile par le boîtier XRM associé à sa pince permet de localiser le défaut avec précision : en effet, un câble long peut être en défaut à une extrémité ou en point quelconque. Avec un détecteur mobile, la pince, on peut déplacer la recherche le long du câble défectueux et localiser le défaut sans interrompre l'utilisation de l'installation.

Remarque

La localisation du récepteur en défaut est plus rapide grâce à l'aide apportée par les détecteurs fixes XD301 placés sur les départs Q21 et Q22 :

Ils aiguillent la recherche par les signalisations du passage du courant de défaut.

III.3.1.6. SLT IT Manipulation 06

a) **Objectif** : Défaut double : défaut franc sur R2, phase 3 et défaut franc sur R3, phase 1 nécessité et prévoir des DDR sur les départs long.

b) Schéma de montage et manipulation :

1– Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.

2 – Réaliser le montage correspondant à la figure III.19.

c) Remarque:

Simulation d'un départ long par $R = 3.9 \text{ Ohm}$ dans la boucle de défaut.

Câblage obligatoire du DDR sur Q33, car non-déclenchement magnétique.

3 – Vérifier les réglages du CPI : $S_p = 10 \text{ k}\Omega$, $S_a = 2 \text{ k}\Omega$ et $T = 15 \text{ Sec}$.

Fermer Q1 à Q33.

4 – Créer un défaut franc permanent sur la phase Phase1 dans le récepteur R2, en court-circuitant BP2 :

- Les signalisations lumineuse et sonore fonctionnent,
- Acquitter les signalisations par le bouton « Arrêt Klaxon » du CPI,
- Le détecteur XD 301 associé à Q21 signale le défaut sur ce départ,

5 – Créer un deuxième défaut franc dans R3 (utiliser la phase la plus à droite, Ph3) en appuyant sur Bp3 : le DDR associé à Q33 déclenche et le défaut en R2 persiste.

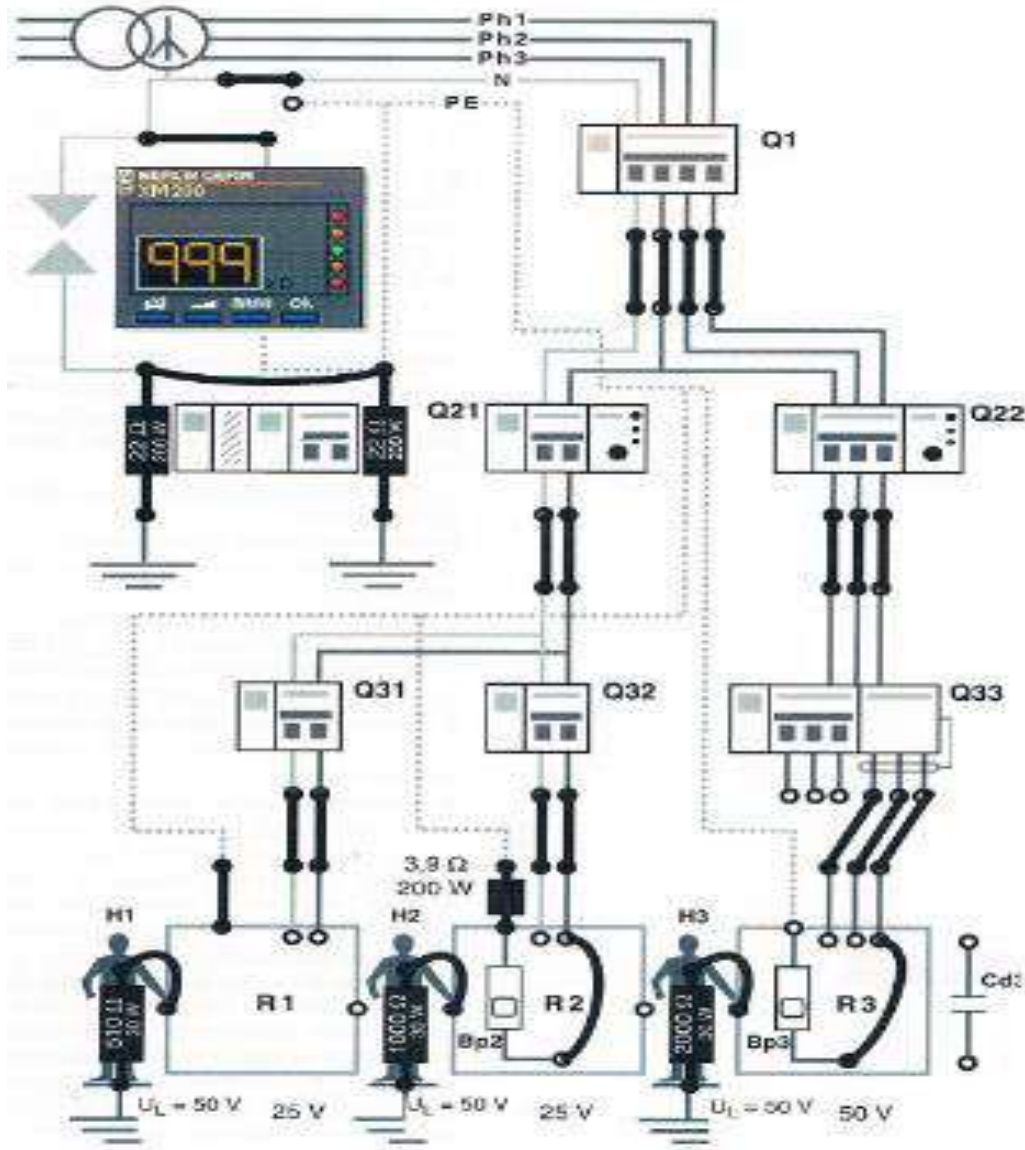


Figure III.19: Schéma de montage Manipulation 06 SLT IT.

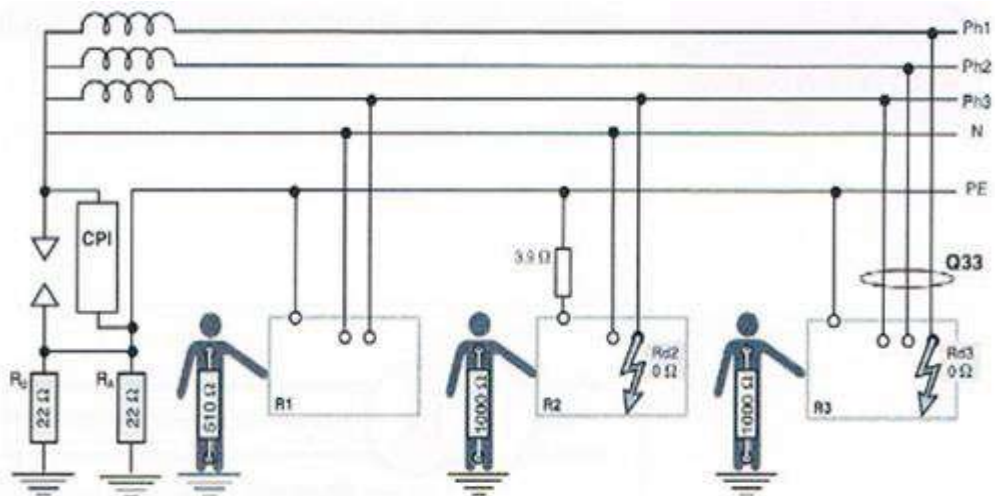


Figure III.20: Schéma équivalent de la figure III.19.

d) Conclusion :

Lorsqu'un départ long n'est pas efficacement protégé par les magnétiques de son disjoncteur, il convient :

- d'augmenter la section du PE,
- ou d'utiliser un disjoncteur de type B,
- ou d'installer un DDR.

e) Remarque :

Un DDR de seuil inférieur à 500 mA sera nécessaire sur les départs alimentant les locaux à risque d'incendie.

Le DDR est nécessaire sur le départ long car l'impédance des câbles limite le courant de court-circuit à des valeurs qui peuvent être inférieures au seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur Q33.

III.3.1.7. SLT IT Manipulation 07

a) Objectif : défaut double : défaut franc sur R2, phase3 et défaut franc sur R3 (phase1) les déclencheurs magnétiques suffisent à la protection.

b) Schéma de montage et manipulation :

1– Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.

2 – Réaliser le montage correspondant à la figure III.21.

3 – Vérifier les réglages du CPI : $S_p = 10 \text{ k}\Omega$, $S_a = 2 \text{ k}\Omega$ et $T = 15 \text{ Sec}$.

Fermer Q1 à Q33.

4 – Créer un défaut franc permanent sur la phase Ph3 dans le récepteur R2, en court-circuitant Bp2 :

- Les signalisations lumineuse et sonore fonctionnent,
- Acquitter les signalisations par le bouton « Arrêt Klaxon » du CPI,
- Le détecteur XD 301 associé à Q21 signale le défaut sur ce départ,

5 – Créer un deuxième défaut franc dans R3 (utiliser la phase la plus à droite, Ph1) en appuyant sur Bp3 : les disjoncteurs Q32 et Q33 déclenchent, leur circuit de protection magnétique étant sollicité par le courant de défaut.

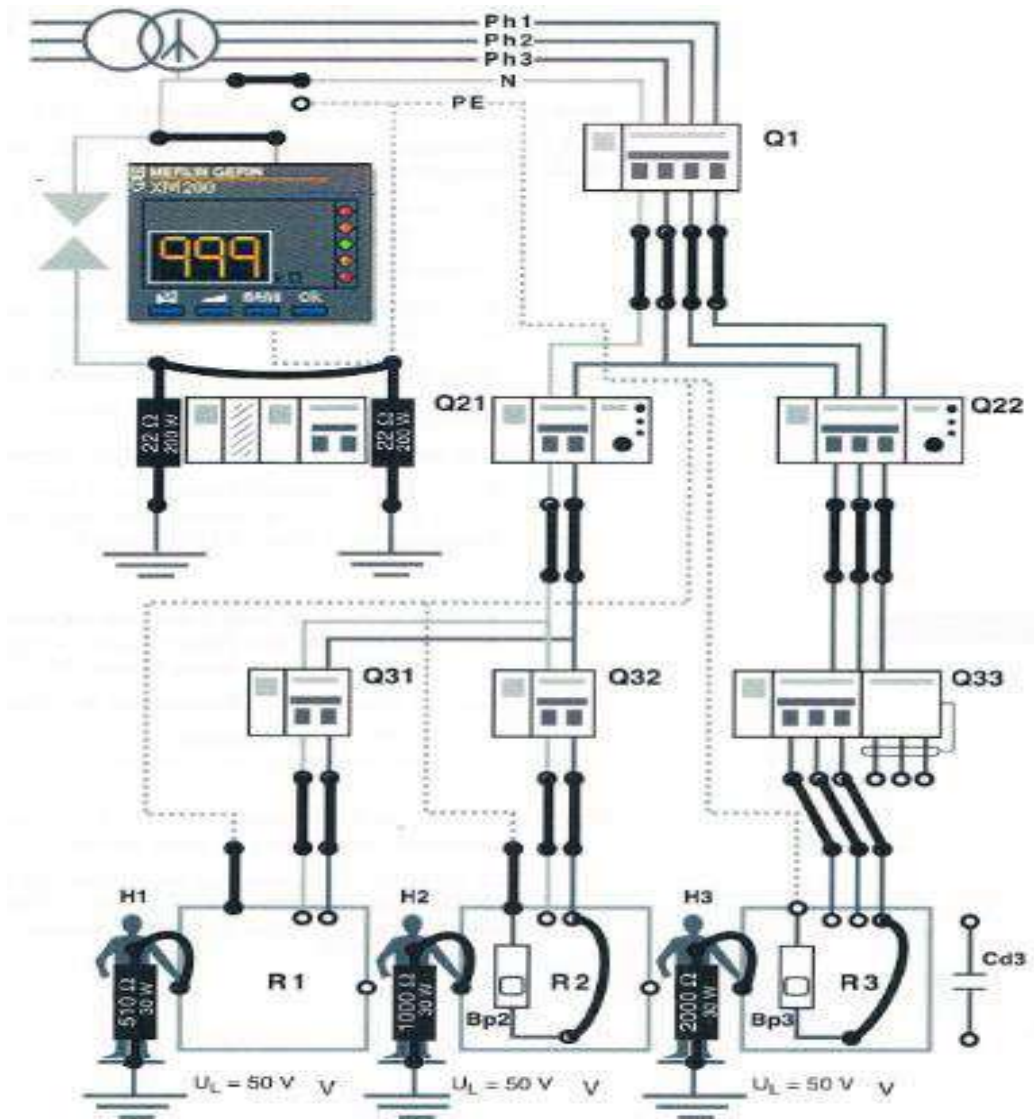


Figure III.21:Schéma de montage Manipulation 07 SLT IT.

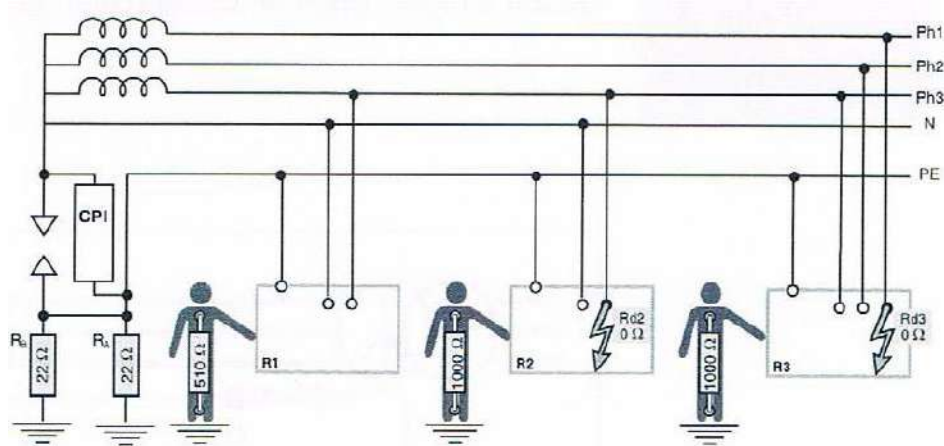


Figure III.22: Schéma équivalent de la figure III.21.

c) Conclusion :

Les départs ont des longueurs des câbles suffisamment courts pour que les déclencheurs magnétiques puissent intervenir et satisfaire à la protection des personnes.

III.3.1.8. SLT IT Manipulation 08

a) Objectif : défaut simple : prise en compte des transitions provoquant un défaut fugitif.

b) Schéma de montage et manipulation :

1– Ouvrir tous les organes de coupure Q1 à Q33.

2 – Réaliser le montage correspondant à la figure III.23.

3 – Modifier les réglages du CPI : $S_a = 20 \text{ k}\Omega$, $S_p = 40 \text{ k}\Omega$ et $T = 0 \text{ Sec}$.

4 – Fermer Q1 à Q33.

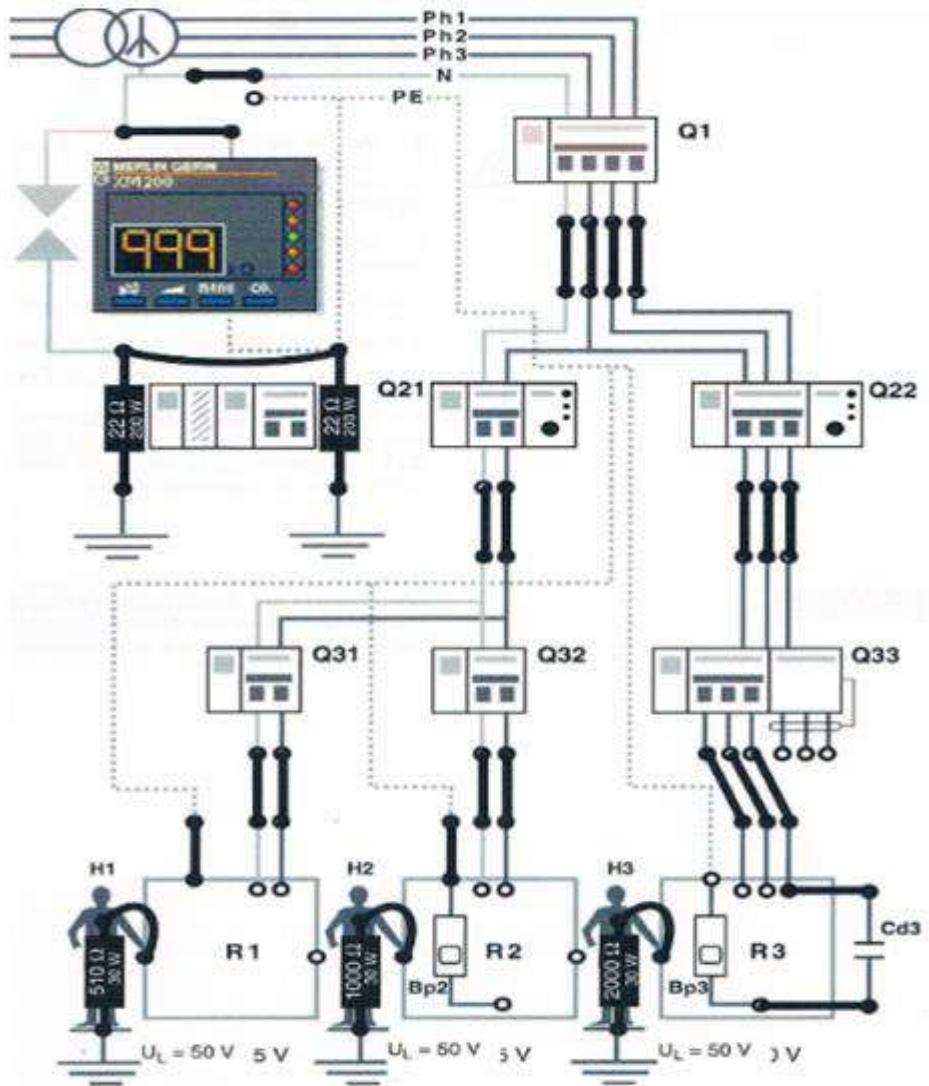


Figure III.23: Schéma de montage Manipulation 08 SLT IT.

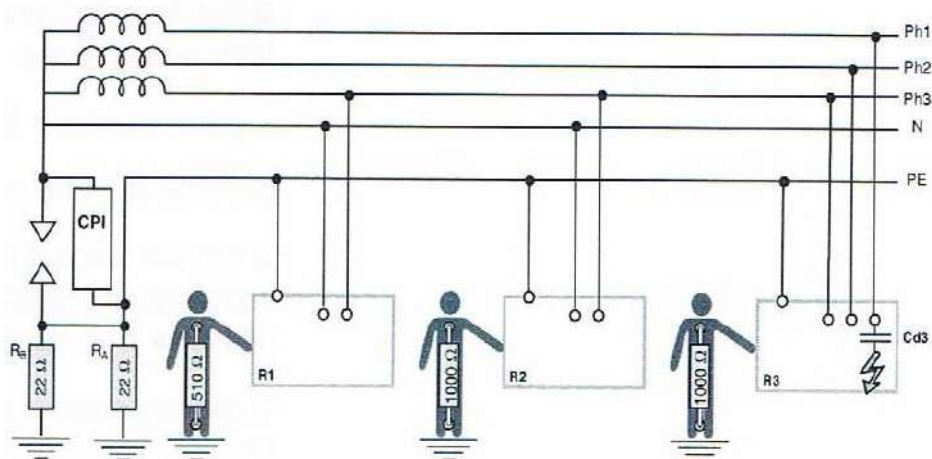


Figure III.24: Schéma équivalent de la figure III.23.

5 – Crée un défaut fugitif dans R3 en appuyant sur Bp3 pendant 10 secondes environ, puis relâcher Bp3 :

- Les signalisations sonore et lumineuse fonctionnent. La valeur de la résistance équivalente de défaut due à la capacité Cd3 est très petite (défaut $< S_a$), puis remonte pendant la charge de Cd3 et se stabilise, à charge terminée à une valeur élevée (défaut $> S_p$) due au courant de fuite du condensateur Cd3.
- Dès relâchement de Bp3, le CPI revient à la mesure d'un isolement correct, mais a mémorisé le défaut fugitif.

c) Conclusion :

Lors de démarrage de machine à circuits magnétiques (principalement les moteurs), de circuits comportant des composants électroniques de puissance ou des condensateurs de compensation d'énergie, le réseau de distribution subit des forts déséquilibres de courant pendant les phases transitoires, qui sont vus par le CPI comme des défauts d'isolement.

Ces défauts peuvent être "masqués" par le réglage de la valeur de temporisation de CPI XM 200.

Remarque

Après chaque essai avec Cd3, décharger le condensateur :

- Mettre l'installation hors tension (ouvrir les disjoncteurs Q1 à Q33),
- Raccorder aux bornes de Cd3 une résistance de 270Ω pendant 30 secondes,
- Débrancher la résistance et remettre l'installation en service.

III.4. Conclusion

Les résultats expérimentaux présentés, dans ce mémoire, nous montrent que :

1. Lors de l'apparition d'un premier défaut (même franc), il n'y a pas de danger. Le déclenchement n'est donc pas nécessaire au premier défaut, il faut cependant prévoir un dispositif qui contrôle l'isolement du réseau et signale l'apparition d'un premier défaut.
2. Le CPI contrôle en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale dès que cet isolement est inférieur à $2\text{ k}\Omega$ (seuil déterminé dans notre cas).
3. Il est possible de localiser le défaut en ouvrant successivement chaque disjoncteur.

4. En cas d'un défaut simple, on peut rechercher le départ en défaut, par injection de courant alternatif à très basse fréquence, à l'aide de l'appareil XRM associé au CPI.
5. La recherche mobile par l'appareil XRM associé à sa pince permet de localiser rapidement, le défaut avec précision, sans interrompre l'utilisation de l'installation, en s'aidant des détecteurs fixes XD 301.
6. Lorsqu'un départ long n'est pas efficacement protégé par les magnétiques de son disjoncteur, il convient : d'augmenter la section du PE, ou d'utiliser un disjoncteur de type B, ou d'installer un DDR.
7. Les départs ont des longueurs des câbles suffisamment courts pour que les déclencheurs magnétiques puissent intervenir et satisfaire à la protection des personnes.
8. Lors de démarrage des machines à circuits magnétiques (principalement les moteurs), des circuits comportant des constituants électroniques de puissance ou des condensateurs de compensation d'énergie, le réseau de distribution subit des forts déséquilibres de courant pendant les phases transitoires, qui sont vus par le CPI comme des défauts d'isolement. Ces derniers peuvent être "masqués" par le réglage de la valeur de temporisation de CPI XM 200.



***CONCLUSION
GENERALE***

Conclusion générale

Les protections essentielles dans un réseau électriques peuvent être résumées en protection contre les surintensités (courts-circuits), contre les défauts d'isolement à la terre, et contre les échauffements, généralement à cause des surcharges. Pratiquement, tous les éléments du réseau sont dotés de telles protections. Néanmoins d'autres protections spécifiques sont nécessaires pour des systèmes complexes comme les générateurs. Toute protection doit respecter le principe de sélectivité en utilisant des discriminations, temporaire, différentielle ou directionnelle [2].

Les trois Schémas de Liaison à la Terre mondialement utilisés et normalisés par la norme CEI364 ont pour objectif commun la recherche de la meilleure sûreté.

Les trois SLT assurent la sécurité des personnes

Pour assurer la sécurité des biens contre les risques d'incendie les deux SLT IT et TT sont meilleurs que les TN-S et TN-C.

Pour la sécurité du matériel en cas de défaut d'isolement les deux SLT IT et TT ont de bonnes performances, par contre celles des TN-S et TN-C sont mauvaises.

Le SLT IT est l'unique schéma qui peut assurer la disponibilité d'alimentation et la continuité de service.

Le SLT IT, qui a fait l'objet d'étude expérimentale dans ce mémoire, présente les avantages et les inconvénients suivants :

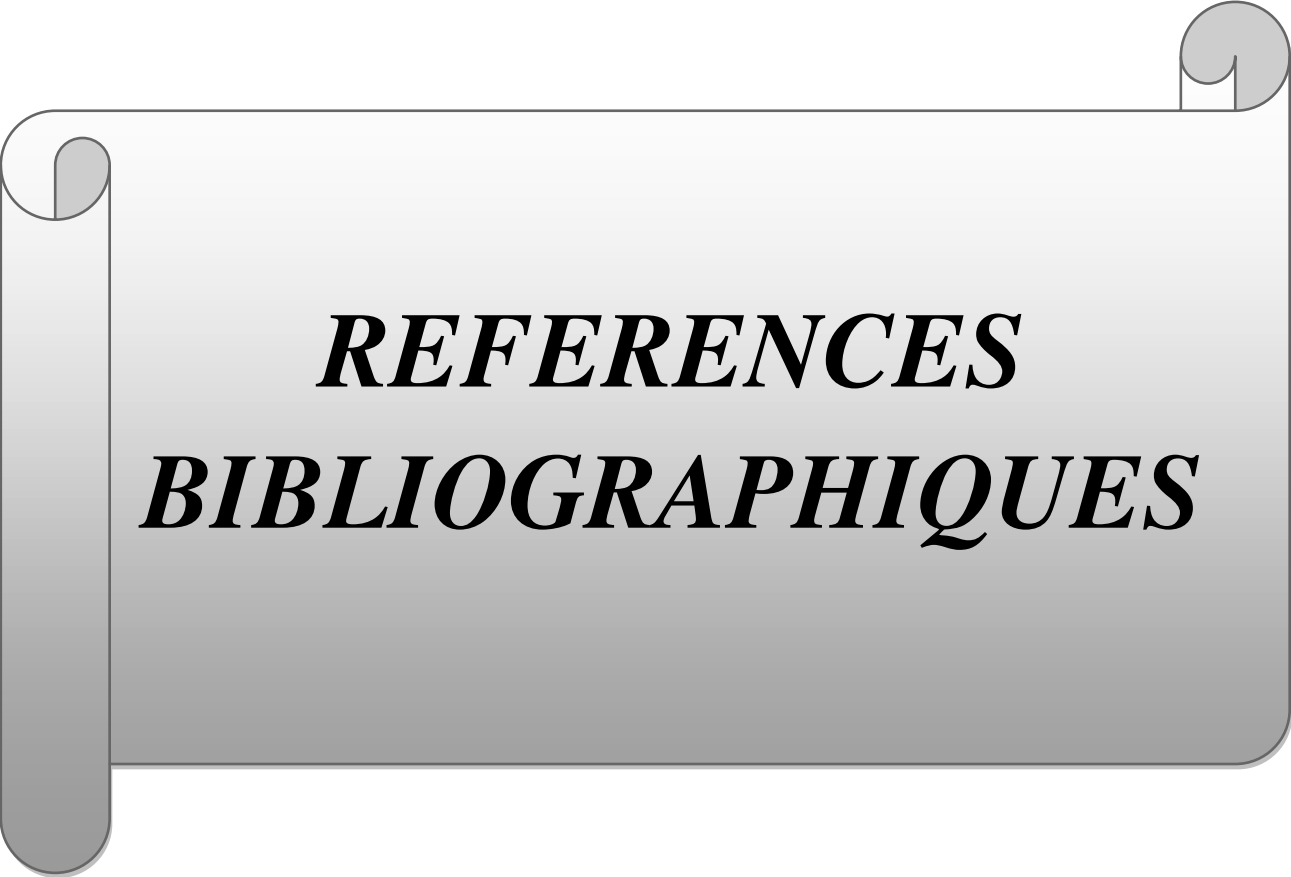
Avantages

1. Lors de l'apparition d'un premier défaut (même franc), il n'y a pas de danger. Le déclenchement n'est pas nécessaire au premier défaut, donc ce type de SLT est impérative dans les exploitations spécifiques où **la continuité de service** est exigée (Hôpitaux, industries spéciales, centrales électriques, ...etc).
2. Un différentiel n'est pas exigé, il faut cependant prévoir un CPI qui contrôle en permanence l'isolement du réseau et signale l'apparition d'un premier défaut.

Inconvénients

1. Dimensionnement des protections.
2. Protection avec un pouvoir de coupure spécifique.
3. Coûts de la conception et de la réalisation.
4. Nécessite la présence de personnel qualifié et présent 24h/24h.

De ce fait on peut conclure que le choix du régime de neutre n'est pas question facile. Il n'y a aucune étude établie qui définit un meilleur régime, cependant selon les exigences techniques d'exploitation, notamment celle liées à la protection et la continuité de service on peut se prononcer sur le type de régime à adopter.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Bellaredj A., Gaouar Y., “ Conception et simulation d’une ligne aérienne de transport électrique 220 KV”, Mémoire de master, Département de Génie électrique, Université de Aboubakr Belkaïd de Tlemcen, 2016.
- [2] “ Les réseaux de transport, la topologie des réseaux électrique, origines des défauts ”, http://univ.encyeducation.com/uploads/1/3/1/0/13102001/st06_lessons_ge_reseaux_transport.pdf
- [3] Nabeche T., Tezkraft F., “Restructuration du réseau électrique MT de la région de Fréha pour alimentation du pôle d’excellence de Tamda ”, Mémoire de master académique, Département de Génie électrique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2014.
- [4] “ les postes électriques ”, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjLkqi0xKfrAhWSCWMBHUmrb2AQFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.exoco-lmd.com%2Freseaux-electriques%2Fcours-reseau%3A%2F%3Ddlattach%3Battach%3D493&usg=AOvVaw3g00E6VwsRcVEy6DtRn05>
- [5] Otmani K., “Simulation des défauts Electriques et leurs protections Arcelor Mittal ”, Mémoire de master en Electrotechnique, Université Badji Mokhtar de Annaba, 2018.
- [6] Brochure de bondonnai de schémas de liaisons à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", Schneider Electric
- [7] “Etude d’un défaut d’isolement en régime TT, IT, TN”
<https://www.technologuepro.com/electricite-generale/chapitre-7-Regimes-de-neutre.pdf>

ANNEXES

Le Dispositif Différentiel Résiduel (DDR)

D) Principe :

- Les dispositifs à courant différentiel résiduel (DDR), permettent de détecter un courant de défaut d'isolement dans une installation électrique

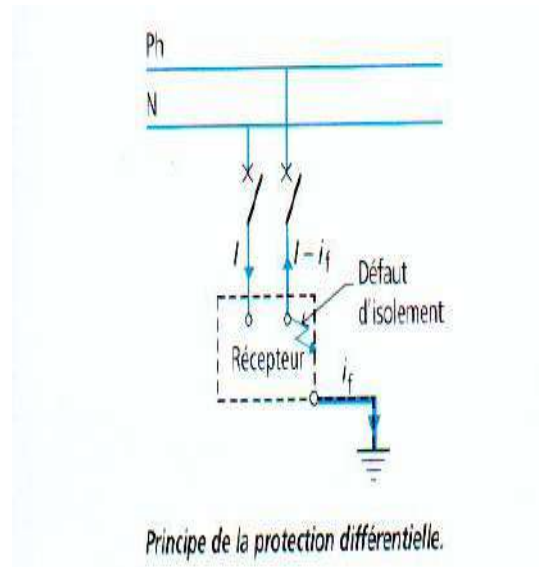
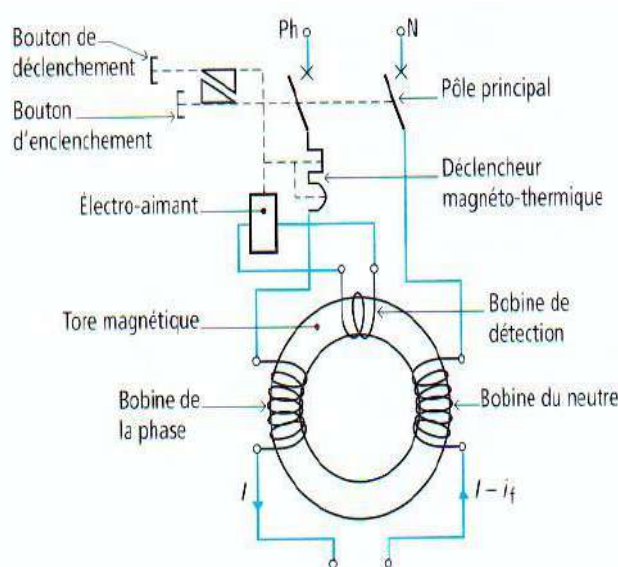
II) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

Le dispositif différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés le ou les circuits des phases et celui du neutre.

En l'absence de courant de fuite (ou courant résiduel de défaut), les flux produits par les bobines s'annulent, il ne se passe rien.

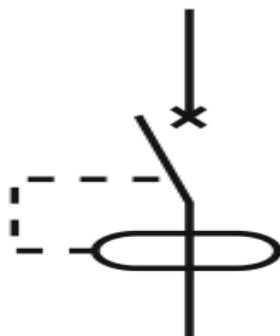
Si un défaut survient, le courant de fuite produit un déséquilibre dans les bobines et un flux magnétique apparaît dans le tore.

La bobine de mesure est alors le siège d'une force électromotrice qui alimente un petit électro-aimant provoquant le déverrouillage du disjoncteur.

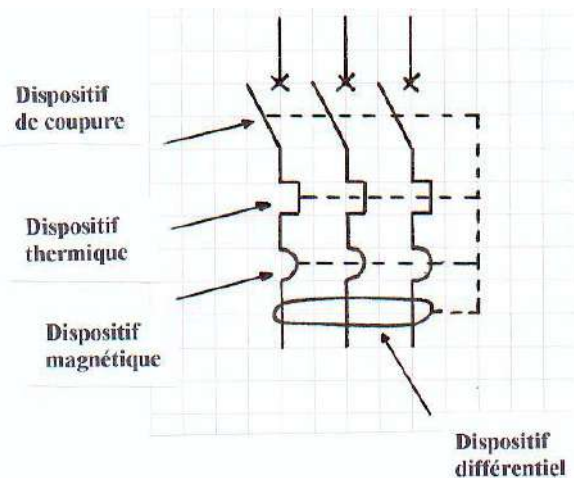


Remarque : Le principe de fonctionnement est analogue en triphasé mais comprend quatre fils (3 fils + Neutre).

III) SYMBOLE



Symbole d'un DDR



Symbole d'un disjoncteur différentiel

IV) CARACTERISTIQUES ET CHOIX

1) Caractéristiques.

Toute installation alimentée par le réseau de distribution doit être protégée par un dispositif différentiel résiduel placé à l'origine de l'installation.

Cette solution présente l'inconvénient de couper toute l'installation en cas de défaut.

Pour y remédier, on utilise des appareils différentiels à moyenne ou haute sensibilité.

Cela permet une sélectivité de la protection, car en cas de défaut, seul le circuit en défaut sera coupé.

On distingue les appareils de :

- *moyenne sensibilité* : 650, 500, 300, 100 mA

- *haute sensibilité* : 30, 12, 6 mA

2) Choix.

Le choix d'un dispositif de protection différentiel, s'effectue en fonction des paramètres suivants :

- fonction assurée (interrupteur, disjoncteur)

- intensité nominale du circuit à protéger : de 2 à 63 A (2,3,6,10,16,20,25,32,40,63)

- tension du réseau et nombre de phase 230V, 400V

- tension limite de sécurité : 12, 25 ou 50 V suivant les locaux

- valeur de la résistance de terre des masses métalliques

A l'aide de ces deux dernières valeurs, on peut calculer la sensibilité du dispositif différentiel résiduel (DDR), avec la relation :

$$I\Delta n = U_L / R_a$$

$I\Delta n$: sensibilité du DDR en mA

U_L : tension limite de sécurité en volts

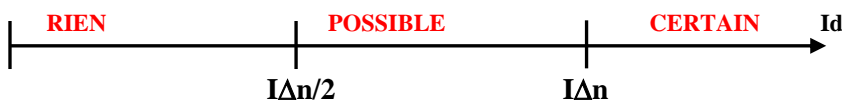
R_a : résistance de la prise de terre des masses en ohms

Exemples :

$I\Delta n$ (mA)	R_{Amax} (Ω)
30	1600
100	500
300	160

3) Seuil de réglage

On appelle courant de seuil le courant de réglage du disjoncteur différentiel $I\Delta n$. Il existe une incertitude sur le courant de déclenchement :



4) Temps de déclenchement

Le temps de déclenchement du DDR est d'autant plus court que le courant de défaut est supérieur au courant de réglage.

Exemple :

DDR $I\Delta n = 30mA$		
Courant de défaut I_f	Temps Max de déclenchement	
$I\Delta n / 2$	15mA	Pas de déclenchement
$I\Delta n$	30 mA	300 ms
$2 * I\Delta n$	60 mA	150 ms
$5 * I\Delta n$	150 mA	40 ms

V) Application :

Les dispositifs à courant différentiel résiduel (DDR) se trouvent incorporés dans les matériels suivants :

- Disjoncteurs différentiels
- Interrupteurs différentiels
- Relais différentiels

V-1) Le disjoncteur différentiel : utilisé, en particulier, chez chaque abonné. Il a pour rôle d'assurer :

- La protection des circuits contre les surintensités dues aux surcharges ou aux courts circuits ;
- La protection des personnes contre les contacts indirects (fuites de courant à la terre).



DDI bi 10-32 A

Le disjoncteur différentiel est placé soit :

- à l'origine de l'installation, dans ce cas, sa sensibilité est de 500 mA et il est dit sélectif (S).
- à l'origine du circuit à protéger, souvent pour les circuits terminaux, sa sensibilité sera de 30 mA.

V-2) L'interrupteur différentiel (Fig1)

Un interrupteur différentiel protège les personnes des risques d'électrisation mais ne détecte ni les surcharges ni les courts-circuits. Réalisant ainsi une surveillance du circuit et ne coupant celui ci qu'en cas de courant de fuite à la terre

V-3) Relais différentiels (Fig 2)

Le relais différentiel réalise la surveillance du circuit (Affiche ou signale le courant de fuite et peut déclencher une alarme). Il peut être associé à un dispositif de coupure (interrupteur ou disjoncteur). La mesure du courant de fuite à la terre peut être réalisée par un tore (Fig 3)



Fig.1



Fig.2



Fig.3

Annexe 2

Le contrôleur permanent d'isolement CPI

Un contrôleur permanent d'isolement (CPI) est nécessaire pour signaler tout défaut d'isolement (alarme sonore + voyant). Le défaut doit être éliminé avant l'apparition d'un second défaut, qui produirait la coupure de l'installation. La coupure a lieu lors de deux défauts d'isolement simultanés par déclenchement des protections contre les surintensités (disjoncteurs, fusibles). Ce contrôleur mesure en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale toute baisse en deçà d'un seuil défini généralement à 0,8 fois la valeur de l'isolement normal (sans défaut). La recherche de défaut est associée à la fonction de contrôle d'isolement.

Deux types de recherche de défaut (sans ouverture de départs) sont possibles :

- Recherche manuelle (avec récepteur mobile)
- Recherche automatique (réaliser par des localisateurs associés à des tores placés sur les départs)



Dans ce qui suit on présente les caractéristiques techniques du CPI XM 200 employé dans ce mémoire :

Main

Range of product	Vigilohm
Device short name	XM200
Type of measurement	Network insulation resistance, earth leakage capacitance
Signal contacts composition	2 C/O
Earthing system	IT
Display type	LED
Scale	0.1...999 kOhm
Measurement current	0...3 MA
Measurement voltage	0...25 V
Fail safe feature	With
[Us] rated supply voltage	115...127 V AC 50/60 Hz tolerance: - 15...10 %
Mounting position	Horizontal mounting

Complementary

[Ue] rated operational voltage	<= 440 V AC 45...400 Hz device connected to phase <= 500 V DC <= 760 V AC 45...400 Hz device connected to neutral
Signalling function	Alarm Insulation value display
Test function	Manual, self test
Breaking capacity	10 A at 24 V DC, L/R = 1 ms 0.45 A at 220 V DC, L/R = 1 ms 0.65 A at 120 V DC, L/R = 1 ms 2.5 A at 48 V DC, L/R = 1 ms 5 A at 230 V AC, cos phi = 0.7 3 A at 400 V AC, cos phi = 0.7
Maximum power consumption in VA	30 VA
Mounting mode	Flush-mounted
Mounting support	Enclosure Cubicle Plate
Height	129 Mm
Width	153 Mm
Depth	213.5 Mm
Net weight	2.5 Kg
Auxiliary connection terminal	Tunnel type terminals 1.5 mm ²

Environment

Dielectric strength	2500 V
Standards	UTE C 63-080 class CPI/XA IEC 364 ch 4 and 5 IEC 61557-8 NF C 15-100 §413.4
Ambient air temperature for operation	-5...55 °C
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C

Packing Units

Package 1 Weight	2.777 Kg
Package 1 Height	2.200 Dm
Package 1 width	2.200 Dm
Package 1 Length	3.300 Dm



Contractual warranty

Warranty 18 months

Product Life Status : **Commercialised**

La référence 50727 peut être remplacée par l'un des produits suivants :



IMD-IM400

VIGILOHM IM400 100 - 440 VCA

Qté 1

Raison de la substitution : Fin de vie. | Date de substitution : 07 janv. 2013 | Mêmes dimensions (profondeur 9cm). 100/440V (AC ou DC). Fonctionnalités avancées, Com Modbus



IMD-IM400

VIGILOHM IM400 100 - 440 VCA

Qté 1

Raison de la substitution : Fin de vie. | Date de substitution : 07 janv. 2013 |



IMD-IM400

VIGILOHM IM400 100 - 440 VCA

Qté 1

Raison de la substitution : Fin de vie. | Date de substitution : 07 janv. 2013 |



Fiche Produit

Caractéristiques

50506

Vigilohm XD301 - localisateur de défaut -
alimentation 115-127Vca



Principales

Gamme	Vigilohm
Nom du produit	Vigilohm IFL
Nom de l'appareil	XD301
Fonction de l'appareil	Application environnement standard Application marine
Application	Réseau grandement ou très perturbé Réseau moyennement ou faiblement perturbé
Type de circuit	Circuit de puissance
Nombre de canaux	1
Schéma de liaison à la terre	IT
Position de montage	Horizontal

Complémentaires

Fonction de signalisation	Défaut d'isolation
Temps d'interrogation	20 s
Test de fonctionnement	Local
[Us] tension d'alimentation	115/127 V CA 50/60 Hz tolérance: - 15...10 %
Pouvoir de coupure	10 A à 24 V CC, L/R = 1 ms 0,45 A à 220 V CC, L/R = 1 ms 0,65 A à 120 V CC, L/R = 1 ms 2,5 A à 48 V CC, L/R = 1 ms 5 A à 230 V CA, cos phi = 0,7 3 A à 400 V CA, cos phi = 0,7
Puissance consommée en VA maximale	6 VA
Mode d'installation	Suspendu En saillie
Support de montage	Rail DIN Disjoncteur de porte
Hauteur	81 mm
Largeur	72 mm
Profondeur	73,5 mm
Poids du produit	0,3 kg

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

Borne de raccordement auxiliaire	Bornes type tunnel 1,5 mm ²
----------------------------------	--

Environnement

Tenue diélectrique	2500 V
Degré de protection IP	IP20 (en saillie) IP30 (montage encastré)
Température de fonctionnement	-5...55 °C
Température ambiante de stockage	-25...70 °C

Emballage

Type d'emballage 1	PCE
Nb produits dans l'emballage 1	1
Poids de l'emballage 1	310 g
Hauteur de l'emballage 1	7,5 cm
Largeur de l'emballage 1	8,5 cm
Longueur de l'emballage 1	9 cm

Garantie contractuelle

Garantie	18 months
----------	-----------

