

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:...../2019



## MEMOIRE

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

**Domaine:** Sciences et Technologie

**Filière:** Electrotechnique

**Spécialité:** Réseaux électriques

**Par:** **REHAMNIA Hena** et **MERABTI Aissa**

**Thème**

### **SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE ETUDE DE CAS TT**

Soutenu publiquement, le 02/ 07/ 2019, devant le jury composé de:

M BOULOUH Messaoud	Professeur	Univ. Guelma	Président/Encadreur
M FERAGA Chemseddine	MCA	Univ. Guelma	Examineur
M LADJIMI Abdelaziz	MCA	Univ. Guelma	Examineur
M KHARCHICHE Mohamed Salah	Professeur Spécialisé	CFP A.H. Oumeddour Guelma	Co-Encadreur

**Année Universitaire: 2018/2019**

## Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience durant ces longues années d'étude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur : professeur M BOULOUH Messaoud et , Co-Encadreur : Professeur Spécialisé de la formation et de l'enseignement professionnels M KHARCHICHE Mohamed Salah

pour sa patience, son soutien, ses précieux conseils, son aide, sa disponibilité tout au long de nos études et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu e jour.

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

Nos reconnaissances vont aussi à messieurs les membres de jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Nous remercions enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

*Je Dédie ce travail.*

*A mes cher parents ; symboles de sacrifice, de  
tendresse d'amour. Je vous remercie pour tout le  
Soutien et l'amour que vous me portez depuis mon  
Enfance et j'espère que votre bénédiction  
M'accompagne toujours.*

*Ma fiancé : Yassine*

*A mes chers frères : hocine, imed, khaled*

*A ma*

*Mes petits frères : tawba, rahma, aya, loulou*

*A mes très chère amies : salima, nossaba, chaima,  
nadia, soria, wissem , kawther, monia*

*A tous ma famille maternelle et paternelle.*

*A tous ce qui me sont chers.*

*A Mon binôme aissa.*

*Je Dédie ce travail.*

*A mes cher parents ; symboles de sacrifice, de tendresse d'amour. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*A mes chers frères :djamel.choukri .nono .kamel. badri dida .aymen et zinou*

*A ma soiere :houria .nora . ahlem .zahra . fatiha  
mes petit frères :sifou .islem .abd elha9.abd elhadi  
.doudou .mariya et ma papion(khitem)*

*A mes très chère amies : ramzi louz .amer rouge  
.salim.ramzi .abd karim .mossa .zola .hichem . 9ader  
aymen jalti .loulou . ammar . didine . oussama*

*A tous ma famille maternelle et paternelle.*

*A tous ce qui me sont chers.*

*A Mon binôme hena.*

**Résumé :**

Ce projet de fin d'études traite le schéma de liaison à la terre TT (SLT TT ou régime du neutre TT) , qui a pour objectif, comme le reste des schémas TN et IT, de protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement . Ces derniers, quelle que soit leurs causes, présentent des risques pour la sécurité des personnes, la sécurité des biens et la disponibilité de l'énergie électrique.

Les résultats expérimentaux des manipulations réalisées, sur le banc d'essais didactique de schéma de liaison à la terre SLT-TT, avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", effectuées au sein du Centre de Formation Professionnel Abdelhak Oumeddour à Guelma, sont présentés et discutés.

**Mots clés :**

Réseaux électriques. les schémas de liaisons à la terre SLT-TN, TT et IT, le dispositif différentiel résiduel (DDR), Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI), Courant de défaut, courant différentiel résiduel, tension limite, tension de défaut,

**Summary:**

This thesis deals with the TT earth-connection scheme, which aims, like the rest of the TN-S, TN-C, TN C-S and IT earthing systems, to protect people and equipment by controlling insulation defects. The latter, whatever their causes, present risks for the safety of people, the safety of goods and the availability of electrical energy.

Experimental results of the manipulations carried out, on the didactic test bench of TT earthing system, with automatic fault search "SLTXM200", carried out within the Abdelhak Oumeddour Professional Training Center in Guelma, are presented and discussed.

**Keywords:**

Electrical networks . Types of Earthing Systems :TN, TT and IT, residual differential device (RDD), Permanent Insulation Controller (CPI), fault current, residual differential current, limit voltage, fault voltage.

## ملخص:

يدرس مشروع نهاية السنة الدراسية مخطط الاتصال الأرضي SLT (TT)، والذي يهدف، مثل بقية المخططات TN و IT، إلى حماية الأشخاص والمعدات من خلال التحكم في عيوب العزل. هذا الأخير، مهما كانت أسبابه، يشكل مخاطر على سلامة الناس وسلامة البضائع وتوافر الطاقة الكهربائية.

يتم عرض ومناقشة النتائج التجريبية لدراسات المنجزة ، على منصة الاختبارات التعليمية لمخططات الاتصال بالأرض (التأريض) SLT-TT مع البحث التلقائي عن الأخطاء "SLTXM200" ، والتي يتم تنفيذها داخل مركز التكوين المهني أم الدور عبد الحق في قالمة .

## الكلمات الدالة :

الشبكات الكهربائية. مخططات التأريض SLT ، TN ، TT ، IT ، جهاز التفاضلية المتبقية (DDR) ، جهاز التحكم في العزل الدائم (CPI) ، تيار الخلل ، التيار التفاضلي المتبقي ، الحد من الجهد

# LISTE DE FIGURES

## CHAPITRE I – Généralité sur les réseaux électrique

Fig. I.1. Architecture générale des réseaux d'énergie électrique	02
Fig. I.2. Schéma de l'organisation des réseaux électrique en fonction de leur tension	04
Fig. I.3. Schéma résumant l'organisation et le vocabulaire des réseaux de distribution	05
Fig. I.4. défaut monophasé	07
Fig. I.5. Défaut triphasé	07
Fig. I.6. Défaut biphasé isolé	08
Fig. I.7. Défaut biphasé terre	08
Fig. I.8. Exemple de déséquilibre de tension	11

## CHAPITRE II – schémas de liaison a la terre

Fig. II.1. DDR	15
Fig. II.2. Contact de personnes avec des conducteurs actifs (phase ou neutre)	16
Fig .II.3. le contact de personnes avec des masses mises accidentellement sous tension	16
Fig .II. 4. Sensation très faible	17
Fig.II.5. Contraction musculaire	17
Fig .II.6. Arrêt respiratoire	18
Fig .II.7. Fibrillation ventriculaire	18
Fig .II.8. Risques de brûlures	18
Fig.II.9. Contact indirect	20
Fig.II.10. Liaison de la masse à la terre	20
Fig.II.11. Une personne mise à une tension de contact $U_c$	20
Fig.II.12. Neutre à la terre TT	24
Fig.II.13. un défaut franc apparaisse entre une phase (phase 3) et la masse	24
Fig.II.14. une sélectivité entre DDR	27
Fig.II.15. Installation des DDR	28
Fig.II.16. Principe du schéma TN-C	29
Fig.II.17. principe du schéma TN-S	30

Fig.II.18. principe du schéma TN-C-S	30
Fig.II.19. boucle de défaut en schéma TN	31
Fig.II.20. Neutre isolé IT	33
Fig.II.21. Schéma équivalent	35
Fig.II.22. Filtres antiparasites	35
Fig.II.23. Effet des filtres sur l'isolement	36
Fig.II.24. Courant du premier défaut d'isolement	36
Fig.II.25. Courant du deuxième défaut d'isolement de masses interconnectées	38
Fig.II.26. Courant du deuxième défaut d'isolement de masses non interconnectées	38
Fig .II.27. Contrôleur permanent d'isolement	39
Fig. II.28. Utilisation des DDR	40

### **CHAPITRE III – Résultats expérimentaux**

Fig.III.1. Schéma TT/TN et l'autre face celle du Schéma IT	47
Fig.III.2. Partie inférieure du banc d'essais	47
Fig.III.3. Protection et commande du banc	48
Fig.III.4. Face Schéma SLT TT	49
Fig.III.5.déclenchement au premier défaut	51
Fig.III.6. Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat	51
Fig.III.7. Schéma de montage Manipulation 01 SLT TT	53
Fig.III.8. Schéma équivalent de la figure III.7	53
Fig.III.9 Schéma équivalent de la figure III.7 ( $R_A=22\Omega$ )	54
Fig.III.10. Schéma de montage Manipulation 2 SLT TT	55
Fig.III.11. Schéma équivalent de la figure III.10	56
Fig.III.12. Schéma de Liaison à la Terre TT Manipulation 03	57
Fig.III.13. Schéma équivalent de la figure III.12	58
Fig.III.14. Schéma de montage SLT TT Manipulation 4	59
Fig.III.15. Schéma équivalent de la figure III.14	60
Fig.III.15. Schéma de montage SLT TT Manipulation 5	61
Fig.III.16. Schéma équivalent de la figure III.1562	
Fig.III.17. Schéma de montage SLT TT Manipulation 6	63

Fig.III.18 Schéma équivalent de la figure III.17

64

Fig.III.19. Schéma équivalent de la figure III.17

64

# Liste de tableau

Tab .II.1. Effet du courant alternatif sur l'organisme (15 à 1000Hz)	19
<b>Tab II.2:</b> Temps de coupure limite des DDR en fonction de la tension de contact	27

# Liste des abréviations

SLT : Schéma des Liaisons à la Terre

TT : neutre a la terre

IT : neutre isolé

TN : mise au neutre

TN-S : mise au neutre séparé

TN-C : mise au neutre commun

DDR : Le dispositif différentiel résiduel

$I_d$  : Courant de défaut

$I_{\Delta n}$  : Courant différentiel résiduel

$I_m$  : seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur en A

$I_{H2}$  : le courant qui traverse

MT : moyenne tension

BT : basse tension

HT : haute tension

HTA : haute tension classe A

HTB : haute tension classe B

BTA : basse tension classe A

THT : très haute tension

PE : protection Electrique

PEN : neutre lié à la protection électriques

CPI : contrôleur permanent d'isolement

$U_C$  : la tension de contact

$U_0$ : la tension simple du réseau

$U_d$ : la tension de défaut

$U_L$ : la tension de sécurité fixée

$Z_b$ : l'impédance de la boucle de défaut

$Z$ : l'impédance d'isolement du réseau

$R_{Amax}$ : La valeur maximale de la résistance de prise de terre

$L_{max}$ : Longueur maximale du circuit

KMO : contacteur général

Bp : bouton poussoir

$R_A$ : Résistance de la prise de Terre des masses d'utilisation des récepteurs

$R_B$ : prise de terre du neutre

$I_f$ : courant de fuite

# Sommaire

Introduction Générale	01
<b>CHAPITRE I – Généralité sur les réseaux électrique</b>	
	02
I.1. Introduction	
I.2. Le Réseau électrique	02
I.3. Les différents types des réseaux électriques	03
I.3.1 Réseaux de transport et d'interconnexion	03
I.3.1.1 Réseaux de transport	03
I.3.1.2 Réseaux d'interconnexion	03
I.3.2 Réseaux de répartition	03
I.3.3 Réseaux de distribution	04
I.3.3.1. les réseaux de distribution à moyenne tension HTA	04
I.3.3.2. Les réseaux de distribution à basse tension BTA	05
I.4 Les anomalies dans un réseau électrique	06
I.4.1 Les courts-circuits	06
I.4.1.1 Origines d'un défaut de courts-circuits	06
I.4.1.2 Caractéristiques	06
I.4.2 Les surtension	08
I.4.2.1 Origine des surtensions	09
I.4.2.2 Classification des surtensions	09
I.4.2.3 Formes de tensions normalisées	10
I.4.2.4 Conséquences des surtensions	10
I.4.3 Les surcharge	10
I.4.4 Les oscillations	11
I.4.5 Les déséquilibre	11
I.4.6 Nature des défauts	12
I.4.7 Conséquences des défauts sur le réseau électrique	14
I.5. Conclusion	14
<b>CHAPITRE II – schémas de liaison a la terre</b>	
II.1. Introduction	15
II.2. Protection des personnes contre les effets d'électrocution	15
II.2.1. Rappel de quelques définitions	15
II.2.1.1. Conducteurs actifs	16
II.2.1.2. Masse	16
II.2.1.3. Contact direct	16
II.2.1.4. Contact indirect	16

II.2.1.5.Courant de défaut $I_d$	16
II.2.1.6.Courant différentiel résiduel $I_{\Delta n}$	17
II.2.2.Effets physiologiques du courant électrique	17
II.2.2.1.Sensation du passage du courant électrique	17
II.2.2.2.Contraction musculaire	17
II.2.2.3.Arrêt respiratoire	17
II.2.2.4.Fibrillation ventriculaire	18
II.2.2.5.Risques de brûlures	18
II.2.2.6.Résumé du passage du courant dans l'organisme	18
II.2.3.Protection contre les contacts directs	19
II.2.4.Protection contre les contacts indirects	19
II.2.5.Causes des défauts d'isolement	21
II.2.6.Risques liés au défaut d'isolement	22
II.3.Régimes du Neutre	23
II.3.1.Définitions	23
II.3.2.Codification des schémas de liaisons à la terre	23
II.3.3.Types de Neutre	24
II.3.3.1.Régime de neutre TT	24
II.3.3.1.1.Analyse d'un défaut d'isolement	24
II.3.3.1.2.Mise en œuvre	25
II.3.3.1.3.Avantages et inconvénients	28
II.3.3.2.Régime de neutre TN	29
II.3.3.2.1.Analyse d'un défaut d'isolement	31
II.3.3.2.2.Avantages et inconvénients	32
II.3.3.3.Régime de neutre IT	33
II.3.3.3.1.Principe	33
II.3.3.3.2.Analyse du premier défaut d'isolement	36
II.3.3.3.3.Analyse du deuxième défaut d'isolement	37
II.3.3.3.4.Mise en œuvre	39
II.3.3.3.5.Avantages et inconvénients	41
II.4. Critères de choix des schémas des liaisons à la terre	41
II.5. Choix des Schémas de Liaison à la Terre	44
II.6. conclusion	45
<b>CHAPITRE III – Résultats expérimentaux</b>	
III.1. Introduction	46
III.2.Description de l'ensemble	46

III.3. Manipulations sur le schéma de Liaison à la Terre TT	50
III.3.1. Programme des manipulations SLT T	51
III.3.1.1. SLT TT Manipulation 01	51
III.3.1.2. SLT TT Manipulation 02	54
III.3.1.3. SLT TT Manipulation 03	57
III.3.1.4. SLT TT Manipulation 04	58
III.3.1.5. SLT TT Manipulation 05	61
III.3.1.6. SLT TT Manipulation 06	63
III.4. conclusion	64
Conclusion Général	66

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## **Introduction générale:**

De nos jours, l'électricité est devenue une énergie très répandue dans les milieux industriels que domestiques. Par contre, elle peut dans certaines circonstances compromettre la sécurité des consommateurs et mettre leur vie en danger. De ce fait, les schémas de liaisons à la terre (SLT) ont été élaborés pour protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement. Ces derniers, quelle que soit leurs causes, présentent des risques pour la sécurité des personnes, la sécurité des biens et la disponibilité de l'énergie électrique.

Les schémas de liaisons à la terre (ou régime de neutre) symbolisent la situation d'une installation électrique par rapport au potentiel de la terre. La configuration des schémas des liaisons à la terre détermine un certain nombre de conditions concernant la conception, la mise en œuvre et l'exploitation des installations électriques.

Dans ce contexte, nous avons réalisé ce mémoire de projet de fin d'étude, afin de mieux comprendre les différents types de SLT et maîtriser le régime TT.

Ce mémoire est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre fournit une description générale des différents types des réseaux électriques, des généralités sur les défauts électriques, l'origine de ces défauts, leur types, leurs effets et leurs conséquences sur les réseaux, ainsi que les différentes fonctions de protection.

Le second chapitre est consacré à l'étude des différents types de schémas de liaisons à la terre, à savoir le TT, IT et TN. Dans un premier lieu, nous allons examiner la protection des personnes et les effets physiologiques du courant électrique sur le corps humain. Ensuite nous exposons les causes et les risques liés aux défauts d'isolement. Puis en second lieu, nous exposons les SLT : nous allons étudier le régime TT en détails et on se limite à une description succincte des deux autres régimes à savoir le TN et le IT. En fin, nous définissons les critères de choix des SLT, selon lesquels, leurs performances, seront définies.

Le troisième chapitre est dédié aux résultats expérimentaux, qui ont été effectués au sein du Centre de Formation Professionnel Abdelhak Benhamouda à Guelma, 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 TT.

En fin, nous clôturons notre modeste travail par une conclusion générale.

**CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ  
SUR LES RÉSEAUX  
ÉLECTRIQUE**

## I.1. Introduction :

Le but de ce chapitre est d'étudier le réseau électrique qui transfère l'énergie électrique du producteur au consommateur via différents réseaux. Dans un premier temps nous donnons une description succincte des différents types des réseaux électriques, des perturbations inévitables de la tension électrique qui peuvent les affectées telles que : les courts-circuits les surtensions, les surcharges, les oscillations et les déséquilibres. Puis nous exposons la nature de ces défauts et leurs conséquences sur le réseau électrique.

## I.2. Le Réseau électrique

### Définition :

Un réseau électrique c'est un ensemble d'installations électriquement interconnectées (figure .I.1) permettant de conduire l'énergie électrique des centrales vers les consommateurs. Cet ensemble comprend des transformateurs, des générateurs, des lignes de transmission, des moyens de mesures et de contrôles et des protections contre la foudre et les courts circuits par exemple [1].

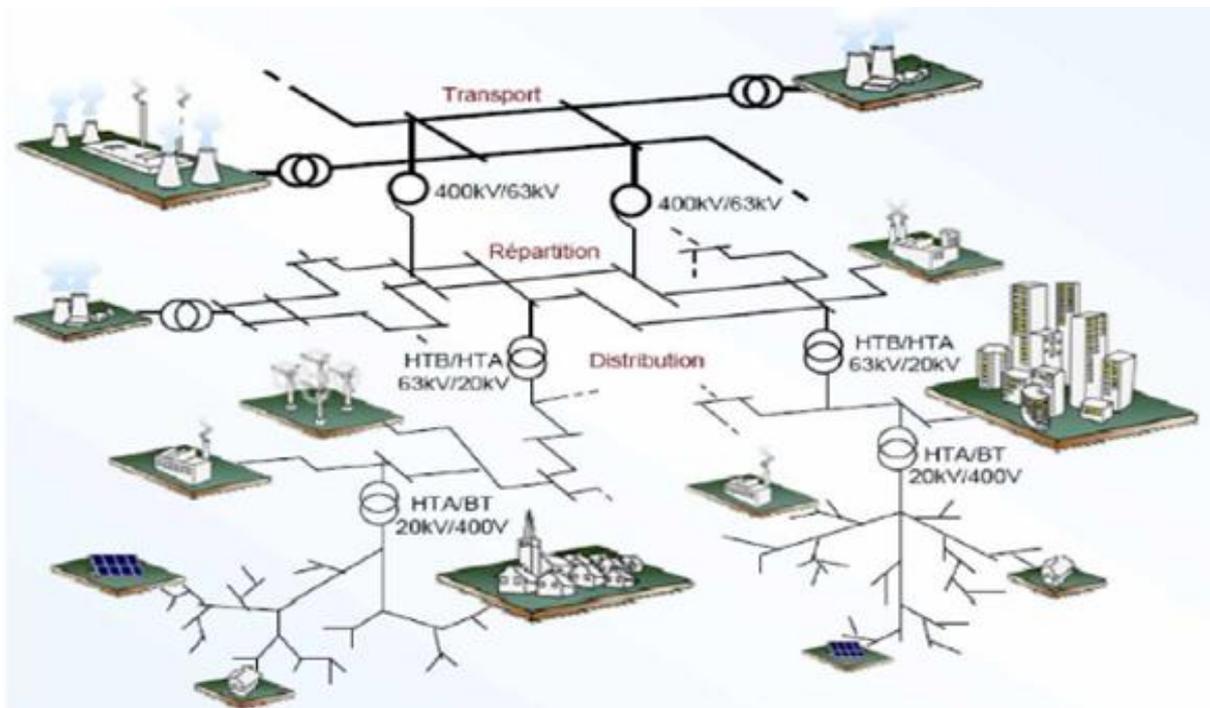


Fig. I.1. Architecture générale des réseaux d'énergie électrique [2]

### **I.3. Les différents types des réseaux électriques**

Les réseaux électriques sont partagés en trois types

#### **I.3.1. Réseaux de transport et d'interconnexion**

##### **I.3.1.1. Réseaux de transport**

Les réseaux de transport permettent d'assurer l'alimentation sur l'ensemble du territoire, en collectant l'électricité produite par les centrales importantes et en l'acheminant par grand flux vers les zones de consommation. Ils transportent l'énergie électrique sur des très longues distances (100Km à quelques centaines de Km) et à haute tension (400 kV, 225kV). Ce réseau est d'une structure maillée imposée par les grandes puissances transitées [1]. Le neutre est directement mis à la terre [2].

##### **I.3.1.2 Réseaux d'interconnexion**

Les réseaux d'interconnexions constituent des liaisons entre les réseaux de transport puissants. Ils utilisent la même gamme de tension que les réseaux de transport. Ils assurent les interconnexions entre régions au niveau national et les échanges d'énergie électrique au niveau international et généralement d'une structure maillée [1]. Le neutre est directement mis à la terre [2].

#### **I.3.2 Réseaux de répartition**

Les réseaux de répartition ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions. Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation. En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels.

- Tension est de 90 kV ou 63 kV,

- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
  1. Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
  2. Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV. [2]

### I.3.3. Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des Câbles de moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usages du courant électrique [2].

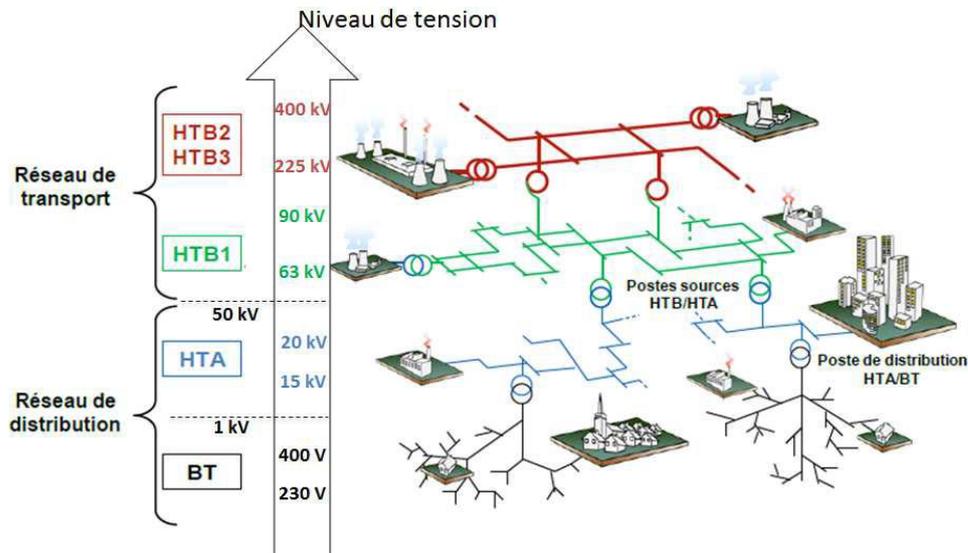


Fig. I.2. Schéma de l'organisation des réseaux électriques

En fonction de leur tension [3]

Les réseaux de distribution sont organisés en deux parties selon le niveau de tension. On distingue les réseaux moyens tension – dits réseaux HTA – et les réseaux basse tension– dits réseaux BT (figure I.2) [3].

#### I.3.3.1. les réseaux de distribution à moyenne tension HTA:

Le réseau moyenne tension, en Algérie, représente plus de 338.380 km de liaisons électriques qui peuvent être aériennes ou souterraines. Ce réseau est exploité à 20 kV et généralement arborescent, buchable, mais exploité de façon radiale sauf en cas de défaut du

schéma d'alimentation principal. Chaque branche est appelée un départ et mesure généralement jusqu'à une trentaine de kilomètres.

Les réseaux moyens tension acheminent l'énergie électrique de réseau de transport aux clients HTA et aux réseaux basse tension. Ils sont raccordés au réseau de transport par l'intermédiaire de plus de postes sources. Il s'agit de postes de transformation qui abaissent la tension généralement de 63 kV à 20 kV. Les postes sources assurent aussi des missions de réglage de la tension, de protection des réseaux, de comptage, etc. [3]

### I.3.3.2. Les réseaux de distribution à basse tension BTA:

Ce réseau est exploité à 400 V en triphasé ou 230 V en monophasé et est généralement radial et non bouclé. Les départs du réseau basse tension sont plus courts que ceux du réseau moyenne tension.

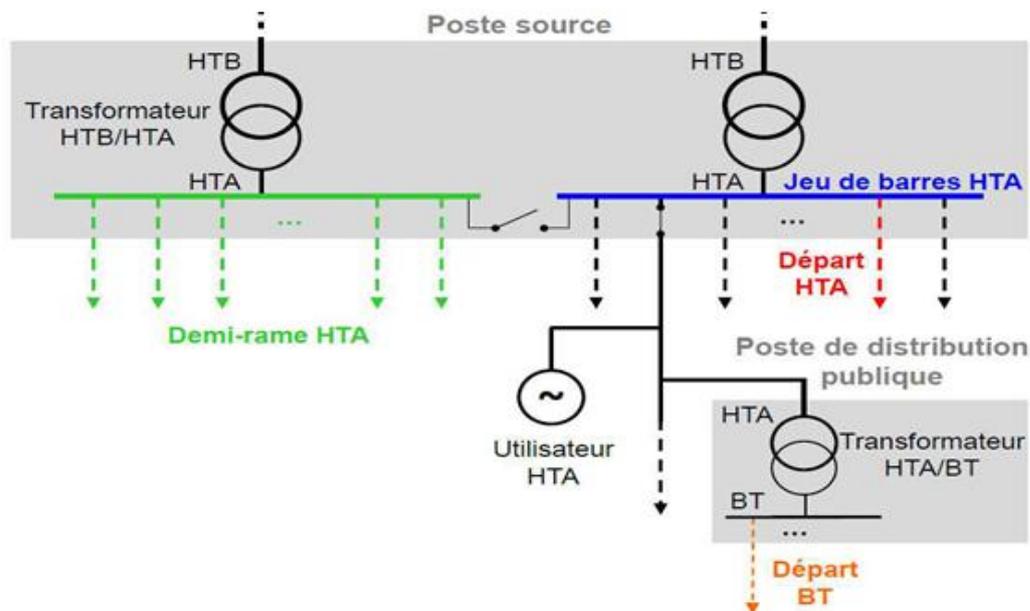


Fig. I.3. Schéma résumant l'organisation et le vocabulaire des réseaux de distribution [3]

Les réseaux basse tension acheminent l'énergie électrique du réseau moyenne tension jusqu'aux utilisateurs BT. Ils sont raccordés aux réseaux moyens tension par l'intermédiaire de plusieurs postes de distribution qui abaissent la tension, généralement de 20 kV vers 400V. (figure I.3) reprend les principaux concepts présentés dans cette brève introduction afin de résumer la structure et le vocabulaire des réseaux de distribution [3].

## I.4 Les anomalies dans un réseau électrique

### I.4.1 Les courts-circuits

Les courts-circuits sont des phénomènes transitoires, ils apparaissent lorsque l'isolement entre deux conducteurs de tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompu. Ils engendrent des courants très importants dans les éléments constituant le réseau. Les courts-circuits sont de natures et de types différents:

- Les courts-circuits monophasés entre une phase et la terre.
- Les courts-circuits biphasés entre deux phases par l'intermédiaire de la terre ou isolés.
- Les courts-circuits triphasés entre trois phases par l'intermédiaire de la terre ou isolés.

Les courts-circuits peuvent provoquer des dégâts économiques importants s'ils ne sont pas éliminés rapidement par les systèmes de protection [2].

#### I.4.1.1 Origines d'un défaut de courts-circuits

Selon la nature du réseau électrique, on cite les origines des défauts de court-circuit comme suit :

- Pour les lignes aériennes, sont en particulier les perturbations atmosphériques (foudre, tempêtes,...etc.) qui peuvent enclencher un défaut de court-circuit. Aussi les défauts d'isolement et les agressions mécaniques peuvent conduire à un CC.
- Pour les câbles souterrains, sont les agressions extérieures, engins mécaniques de terrassement par exemple, qui entraînent des défauts de CC.
- Le matériel du réseau et des postes peuvent être aussi le siège d'un défaut de court-circuit. Ce matériel comporte des isolants placés entre pièces sous tensions et masses. Alors, les isolants subissent des dégradations conduisant à des défauts [2].

#### I.4.1.2. Caractéristiques

Plusieurs types de court-circuit peuvent se produire dans un réseau électrique

##### a) Court-circuit monophasé

Il correspond à un défaut entre une phase et la terre, c'est le plus fréquent [2]. Défaut simple localisé en un seul point.

- Le courant de retour passe toujours dans l'impédance de mise à la Terre du neutre quand elle existe.
- Le courant de défaut biphasé ou triphasé reste circonscrit aux conducteurs actifs au siège du défaut [4].

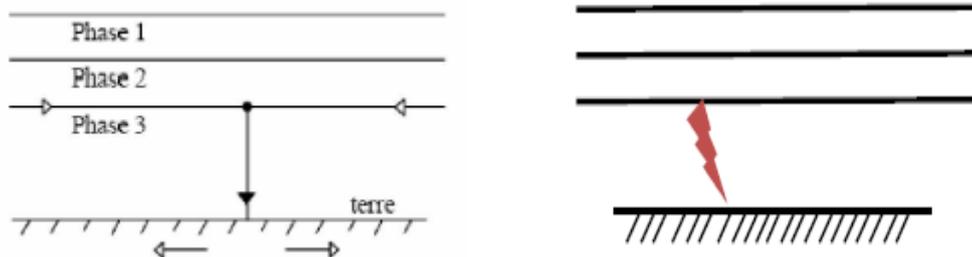


Fig. I.4. défaut monophasé [4][2]

**b) Court-circuit triphasé**

Il correspond à la réunion des trois phases, c'est le courant de CC le plus élevé [2] ■

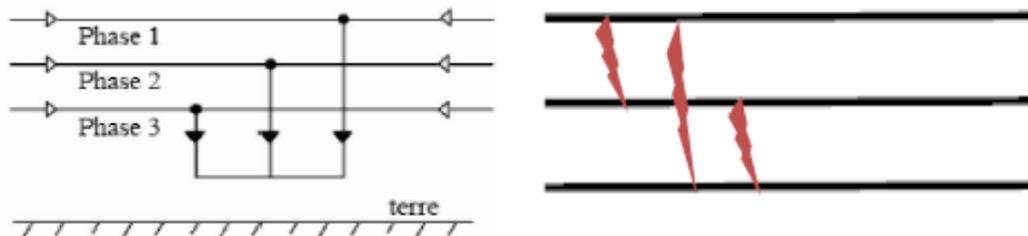


Fig. I.5. Défaut triphasé [4][2]

**c) Court-circuit biphasé isolé**

Il correspond à un défaut entre deux phases. Le courant résultant est plus faible que dans le cas du défaut triphasé, sauf lorsqu'il se situe à proximité immédiate d'un générateur [2].

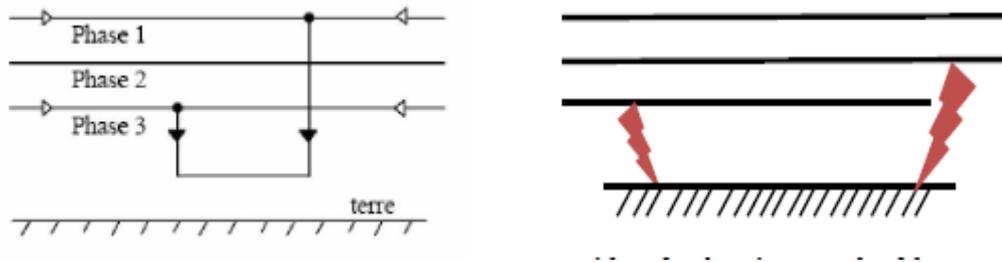


Fig. I.6. Défaut biphasé isolé[4][2]

#### d) Court-circuit biphasé terre

Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre

Outre ces caractéristiques, les courts-circuits peuvent être :

- Monophasés : 80 % des cas,
- Biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés,
- Triphasés : 5 % seulement dès l'origine [2].

Défaut double à la terre résultant généralement d'une évolution des tensions du réseau suite à un premier défaut monophasé simple :

- Un second défaut affecte l'une des deux phases non intéressée par le premier défaut.
- Ce second défaut n'a pas lieu au même endroit que le premier [4].

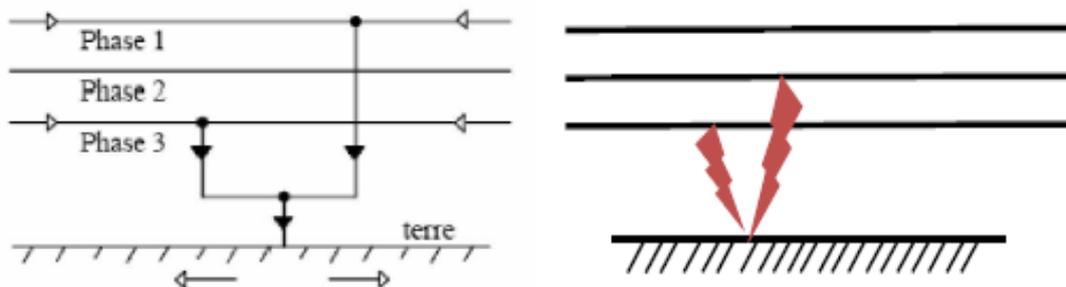


Fig. I.7. Défaut biphasé terre [4] [2]

#### I.4.2. 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, définie par la norme CEI 71-1 (CEI : Commission d'Electrotechnique Internationale).

- 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.

#### **I.4.2.1. Origine des surtensions**

Les surtensions peuvent être d'origine interne ou externe.

##### **a) Origine interne**

Ces surtensions sont causées par un élément du réseau considéré et ne dépendent que des caractéristiques et de l'architecture du réseau lui-même. A titre d'exemple, la surtension qui apparaît à la coupure du courant magnétisant d'un transformateur.

##### **b) Origine externe**

Ces surtensions sont provoquées ou transmises par des éléments externes au réseau, dont on peut citer à titre d'exemple :

- Surtension provoquée par la foudre
- Propagation d'une surtension HT à Travers un transformateur vers un réseau interne d'usine.

#### **I.4.2.2. Classification des surtensions**

La norme CEI 71-1 donne la classification des surtensions selon leur durée et leur forme. Selon la durée, on distingue les surtensions temporaires et les surtensions transitoires :

**a) surtension temporaire :** surtension à fréquence industrielle de durée relativement longue (de quelques périodes à quelques secondes).

**b) surtension transitoire :** surtension de courte durée ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie.

Les surtensions transitoires sont divisées en :

- ✓ Surtension à front lent
- ✓ Surtension à front rapide
- ✓ Surtension à front très rapide

### I.4.2.3. Formes de tensions normalisées

La norme CEI 71-1 donne les formes d'ondes normalisées utilisées pour effectuer les essais des matériels :

a) **Tension de courte durée à fréquence industrielle:** c'est une tension sinusoïdale de fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz et de durée égale à 60s.

b) **Tension de choc de manœuvre:** c'est une tension de choc ayant une durée jusqu'à la crête de 250 $\mu$ s et une durée de descente jusqu'à la mi-valeur de 2500 $\mu$ s.

c) **Tension de choc de foudre :** c'est une tension de choc ayant une durée de front montant de 1,2 $\mu$ s et une durée de descente jusqu'à la mi-valeur de 50 $\mu$ s.

### I.4.2.4. Conséquences des surtensions:

Les surtensions dans les réseaux électriques provoquent des dégradations du matériel, une baisse de la continuité de service et un danger pour la sécurité des personnes.

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.
- perte de l'alimentation suite aux coupures longues causées par la destruction d'éléments du réseau [4].

### I.4.3. Les surcharge

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

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

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes dans le réseau et accélère le vieillissement des équipements [2]

#### I.4.4. Les oscillations

Les oscillations de la tension et du courant sont dues aux variations plus ou moins rapides de la charge qui agit directement sur la vitesse de rotation (fréquence) des machines de production de l'énergie électrique. Elles sont liées directement à la mécanique des machines électriques, c'est la raison pour laquelle on les appelle phénomènes transitoires électromécaniques. [2]

#### I.4.5. Les déséquilibre

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

- Des chutes de tension supplémentaires.
- Des pertes de puissance.
- Des échauffements [2]

Trois grandeurs de même nature et de même pulsation forment un système triphasé équilibré lorsqu'elles sont déphasées de  $(+120^\circ, -120^\circ)$ . lorsque les grandeurs ne vérifient pas ces conditions de phase et d'amplitude, on parle d'un système triphasé déséquilibré (Figure.I.8) [1].

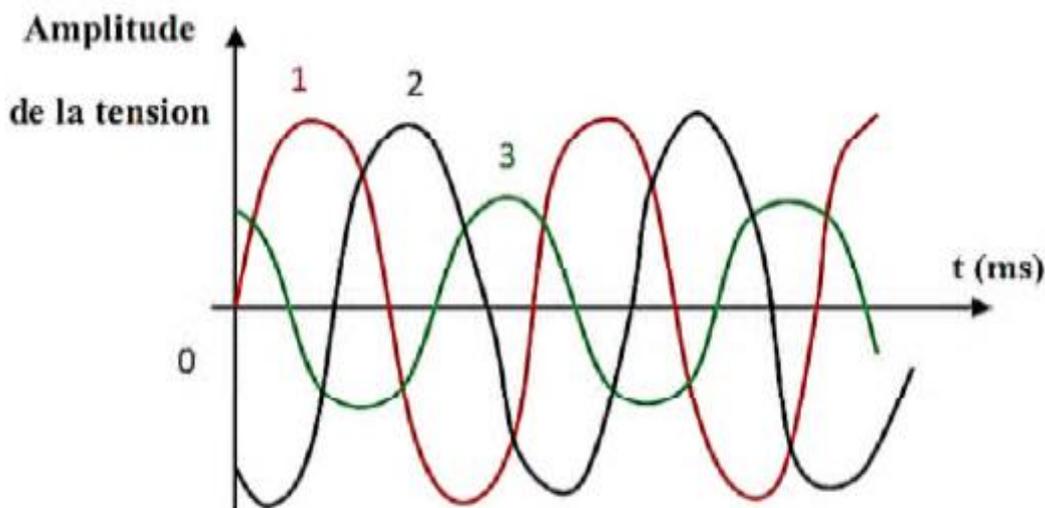


Fig. I.8. Exemple de déséquilibre de tension[1]

**I.4.6. Nature des défauts**

La nature actuel des défauts se fait en fonction de la façon dont ils sont traités par les réenclencheurs ou encore appelé les automatismes de reprise de service [4].

**❖ Défaut fugitif**

Ce défaut nécessite une coupure très brève du réseau d'alimentation de l'ordre de quelques dixièmes de seconde [2].

Ils nécessitent le fonctionnement des protections et sont éliminés par les réenclenchées après une ouverture d'environ 0.3 s ou par le disjoncteur shunt.

**✓ Principe de fonctionnement**

Si le défaut persiste au-delà de la durée d'inhibition de la protection, un déclenchement est ordonné. La durée de mise hors tension est d'environ 300 ms pour permettre la désionisation de l'arc qui a pu se former. Le disjoncteur se referme alors [4].

**❖ Défaut permanent**

Ce défaut provoque un déclenchement définitif de l'élément de protection. Il nécessite l'intervention du personnel d'exploitation [2].

**Principe de fonctionnement**

Si après cela le défaut persiste encore, le disjoncteur déclenche définitivement. Ce dernier déclenchement ayant lieu aussi 0.5 s environ après la réapparition du défaut, la ligne reste alors hors tension jusqu'à la fin de l'intervention nécessaire. [4]

**❖ Défaut auto- extincteur**

C'est le défaut qui disparaît spontanément en des temps très courts sans qu'il provoque le fonctionnement de la protection. [2]

Ils disparaissent naturellement avant fonctionnement des protections, en une durée inférieure à environ 100 ms.

**✓ Principe de fonctionnement**

Pour éviter tout déclenchement inutile sur défaut auto-extincteur, la protection par construction est inhibée, c'est-à-dire que :

- ❖ Si le défaut dure moins de 60 ms, la protection ne doit pas réagir.
  - ❖ Si le défaut dure plus de 100 ms, la protection réagit.
  - ❖ Si le défaut entre 60 et 100 ms, la protection réagit en fonction de la forme d'onde du courant de défaut (temps de passage à zéro du courant).
    - Le temps qui s'écoule entre l'établissement du courant de défaut et l'ouverture du disjoncteur est de l'ordre de 150 ms environ. [4].
- **Défauts semi- permanentent**

Ce défaut exige une ou plusieurs coupures relativement longues de l'ordre de quelques dizaines de secondes. Il ne nécessite plus l'intervention du personnel d'exploitation. Au niveau des réseaux aériens de transport de SONEGAS, les défauts sont :

- ❖ De 70 à 90% fugitifs.
- ❖ De 5 à 15% semi permanents.
- ❖ De 5 à 15% permanents. [2]

Ils nécessitent le fonctionnement des protections et sont éliminés par les réenclenchées à l'issue du 1er ou 2ème ré enclenchement lent.

**✓ Principe de fonctionnement**

Si le défaut réapparaît à la remise sous tension, les réenclenchées réagissent de la manière suivante

- Un deuxième déclenchement à lieu 0.5 s environ après la réapparition du défaut, la coupure a alors une durée de 15 à 30 s, ce cycle peut être suivi d'un deuxième cycle analogue.
- La temporisation de 0.5 s permet de laisser passer les courants transitoires qui s'établissent à la reprise de la charge du départ, elle permet également d'assurer la sélectivité avec les protections des clients HTA dont la temporisation est limitée à 200 ms (NF C 13 100), la durée de 15 à 30 s permet l'extinction des défauts dus à autre chose qu'un arc (contact avec une branche d'arbre) [4].

### I.4.7. Conséquences des défauts sur le réseau électrique

Les effets néfastes des courts-circuits sont surtout à craindre sur les réseaux électriques THT sur lesquels débitent des groupes générateurs de forte puissance. Les courts-circuits, surtout polyphasés et proches des centrales de production, entraînent une rupture de l'équilibre entre le couple moteur et le couple résistant de la machine, s'ils ne sont pas éliminés rapidement, ils peuvent conduire à la perte de stabilité de groupes générateurs et à des fonctionnements hors synchronisme. Des temps d'élimination des courts-circuits de l'ordre de 100 à 150 ms sont généralement considérés comme des valeurs à ne pas dépasser sur les réseaux électriques THT. Les défauts de court-circuit amènent à deux types de contraintes [2]:

- **Contraintes thermiques :**

Sont dues aux dégagements de chaleur par effet Joule dans les conducteurs électriques.

- **Contraintes mécaniques :**

Sont dues aux efforts électrodynamiques entraînant le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des bobinages des transformateurs.

Ces efforts s'ils dépassent les limites admises sont souvent à l'origine d'avaries graves.

De plus l'arc électrique consécutif à un défaut met en jeu un important dégagement local d'énergie pouvant provoquer d'important dégât au matériel. [2]

## I.5. Conclusion

Dans la première partie, de ce chapitre, nous avons donné des généralités sur les différents types des réseaux électriques et les perturbations qui peuvent les affectées, ainsi que leurs origines.

La deuxième partie a été consacrée à l'étude de la nature des défauts, le principe de fonctionnement de chaque protection pour les éliminer et leurs conséquences sur le réseau électrique.

Dans le chapitre qui suit on s'intéresse aux schémas des liaisons à la terre, en mettant l'accent sur le schéma TT.

# **CHAPITRE II : SCHÉMAS DE LLAISON A LA TERRE**

## II.1. Introduction

Les schémas de liaisons à la terre (régime de neutre) symbolisent la situation d'une installation électrique par rapport au potentiel de la terre. La configuration des schémas des liaisons à la terre détermine un certain nombre de conditions concernant la conception, la mise en œuvre et l'exploitation des installations électriques. Elle détermine les mesures de protection contre les contacts indirects dont les conditions d'application dépendent fondamentalement du schéma des liaisons à la terre. Les caractéristiques des dispositifs de protection dépendent en grande partie du schéma des liaisons à la terre.

Dans ce qui suit, dans un premier lieu, nous allons examiner la protection des personnes et les effets physiologiques du courant électrique sur le corps humain. Ensuite nous exposons les causes et les risques liés aux défauts d'isolement.

Puis en second lieu, nous exposons les SLT : nous allons étudier le régime TT en détails et on se limite à une description succincte des deux autres régimes à savoir le TN et le IT . En fin, nous définissons les critères de choix des SLT, selon lesquels, leurs performances, seront définies.

## II.2. Protection des personnes contre les effets d'électrocution

### II.2.1. Rappel de quelques définitions

Le dispositif différentiel résiduel (DDR) est un dispositif de mesure, associé à un capteur tore entourant les conducteurs actifs (figure. II.1). Sa fonction est la détection d'une différence ou plus précisément d'un courant résiduel. L'existence d'un courant différentiel résiduel résulte d'un défaut d'isolement entre un conducteur actif et une masse ou la terre. Une partie du courant emprunte un chemin anormal, généralement la terre pour retourner à la source [5].

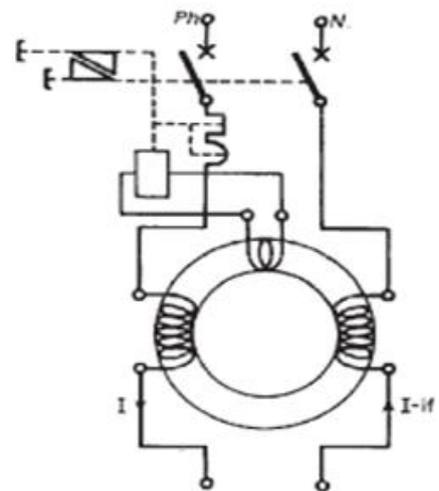


Fig. II.1. DDR [5]

**II.2.1.1. Conducteurs actifs:**

Ensemble des conducteurs affectés à la transmission de l'énergie électrique y compris le neutre [5].

**II.2.1.2. Masse:**

Partie conductrice susceptible d'être touchée et normalement isolée des parties actives mais pouvant être portée accidentellement à une tension dangereuse [5].

**II.2.1.3. Contact direct:**

C'est le contact de personnes avec des conducteurs actifs (phase ou neutre) ou des pièces conductrices habituellement sous tension (figure II.2) [6].

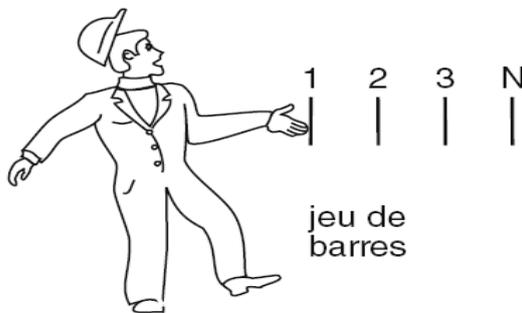


Fig. II.2. contact de personnes avec des conducteurs actifs (phase ou neutre) [6]

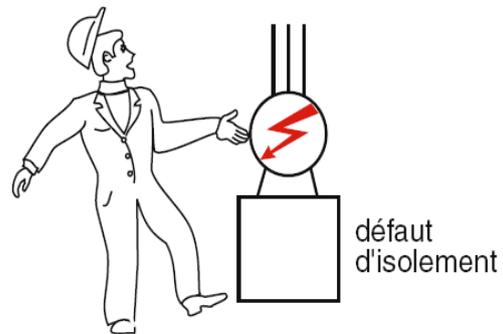


Fig. II.3. le contact de personnes avec des masses mises accidentellement sous tension[6]

**II.2.1.4. Contact indirect:**

C'est le contact de personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil amenant un défaut d'isolement (Figure II.3) [6].

**II.2.1.5. Courant de défaut  $I_d$  :**

C'est un courant résultant d'un défaut d'isolement [5].

### II.2.1.6. Courant différentiel résiduel $I_{\Delta n}$ :

$I_{\Delta n}$  valeur efficace de la somme vectorielle des courants parcourant tous les conducteurs actifs d'un circuit en un point de l'installation [5].

## II.2.2. Effets physiologiques du courant électrique

Le risque majeur de l'électricité réside dans l'action des courants électriques sur les deux grandes fonctions de l'organisme: la respiration et la circulation. Il convient également de ne point négliger les risques de brûlures liés au passage du courant électrique à travers l'organisme [5].

### II.2.2.1. Sensation du passage du courant électrique

La limite de perception est très variable d'un sujet à l'autre:

Certains perçoivent le courant pour des intensités nettement inférieures à 1 mA, tandis que d'autres ne commencent à ressentir le passage du courant que pour des intensités plus élevées, de l'ordre de 2 mA (Figure II.4) [5].

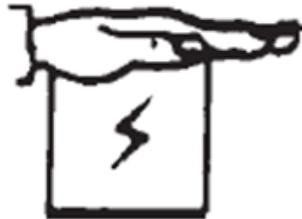


Fig. II. 4. Sensation très faible [5]

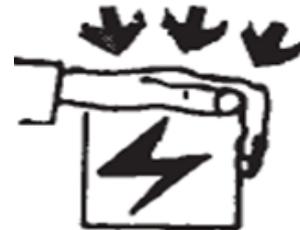


Fig. II.5. Contraction musculaire [5]

### II.2.2.2. Contraction musculaire

Certains sujets sont déjà «collés» au conducteur pour des intensités de moins de 10 mA, alors que d'autres peuvent encore se libérer pour des intensités supérieures (différences sensibles suivant le sexe des individus, leur âge, leur état de santé, leur niveau d'attention...) (Figure II.5. Contraction musculaire) [5].

### II.2.2.3. Arrêt respiratoire

Pour des intensités de l'ordre de 20 à 30mA, la contracture des muscles peut diffuser et atteindre les muscles respiratoires pour aboutir à un arrêt respiratoire (Figure II.6. Arrêt respiratoire) [5].



Fig. II.6. Arrêt respiratoire [5]



Fig. II.7. Fibrillation ventriculaire [5]



Fig. II.8. Risques de brûlures[5]

#### II.2.2.4. Fibrillation ventriculaire

Il existe une proportionnalité approximative entre le poids du corps et l'intensité nécessaire à la fibrillation, ce qui permet de situer ce seuil vers 70 ou 100 mA. En réalité, ce seuil ne peut être défini par un seul chiffre, car il varie assez largement avec les conditions physiologiques du sujet, mais aussi avec les paramètres physiques de l'accident: trajet du courant dans le corps, résistance de l'organisme, tension, type de contact, et enfin, temps de passage du courant (Figure II.7. Fibrillation ventriculaire) [5].

#### II.2.2.5. Risques de brûlures

Un autre risque important lié à l'électricité est la brûlure. Celles-ci sont très fréquentes lors des accidents domestiques et surtout industriels (plus de 80 % de brûlures dans les accidents électriques). Il existe deux types de brûlures:

La brûlure par arc, qui est une brûlure thermique due à l'intense rayonnement calorifique de l'arc électrique.

La brûlure électrothermique, seule vraie brûlure électrique, qui est due au passage du courant à travers l'organisme [5].

#### II.2.2.6. Résumé du passage du courant dans l'organisme

Le tableau .II.1 résume, selon chaque seuil, les effets du passage du courant dans l'organisme.

Tab .II.1. Effet du courant alternatif sur l'organisme (15 à 1000Hz)[5]

Gamme de courant	Conséquences
1 mA	Arrêt de cœur
75 mA	Seuil de fibrillation cardiaque irréversible
30 mA	Seuil de paralysie respiratoire
10 mA	Contraction musculaire (tétanisation)
0.5 mA	Sensation très faible

### II.2.3. Protection contre les contacts directs

Tout contact direct est extrêmement dangereux. Aussi la mise en œuvre de deux mesures de protection est souvent imposée par sécurité, car l'une peut, à l'usage, se révéler défailante.

Les moyens de protection contre les contacts directs sont :

- l'isolation des parties actives (ex. : les câbles sont recouverts d'isolants)
- des barrières, des enveloppes, des obstacles (ex. : l'appareillage est mis en coffret),
- la mise hors de portée, l'éloignement (ex. : les lignes aériennes à haute tension),
- l'utilisation de la très basse tension de sécurité (ex. : conditions de risque élevés (piscines, salles d'eau), on a recours à des tensions dites « de sécurité». Elles ne permettent cependant pas de véhiculer des puissances importantes),
- l'utilisation d'une protection complémentaire (ex. l'emploi d'un DDR haute sensibilité 30mA),
- la réalisation de l'équipotentialité des masses simultanément accessibles [6].

### II.2.4. Protection contre les contacts indirects

Le courant de défaut porte la masse accessible à une tension susceptible d'être dangereuse, c'est à dire suffisamment élevée pour être à l'origine d'un courant dangereux au travers d'une personne en contact avec cette masse.

Vis-à-vis de ce risque, les normes d'installations ont officialisé les trois schémas de liaison à la terre IT, TT, TN et défini les règles d'installation et de protection correspondantes (Fig. II.9).

Une première mesure de protection consiste à mettre à la terre avec la masse des récepteurs et équipements électriques (Fig. II.10).



Fig. II.9. Contact indirect [5]

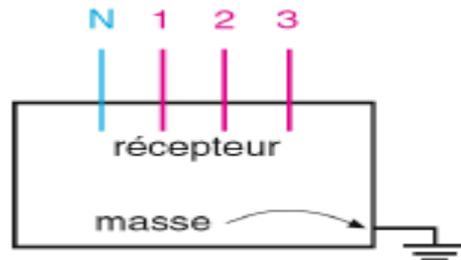


Fig. II.10. Liaison de la masse à la terre [6]

Les mesures de protection comportent les points suivants :

#### **La mise à la terre des masses de récepteurs et équipements électriques**

Cette mesure reprise dans les divers schémas de liaisons à la terre évite qu'un défaut d'isolement ne conduise à l'équivalent d'un contact direct en réduisant la tension de contact.

- **la coupure automatique de l'alimentation en cas de défaut.**

Cette mesure de protection vient en complément de la précédente et repose sur deux principes fondamentaux :

- mise à la terre de toutes les masses des matériels électriques de l'installation et constitution d'une liaison équipotentielle principale
- mise hors tension automatique de la partie de l'installation où se produit le défaut d'isolement, de manière à ne pas soumettre une personne à une tension de contact  $U_C$  pendant une durée telle qu'elle soit dangereuse.

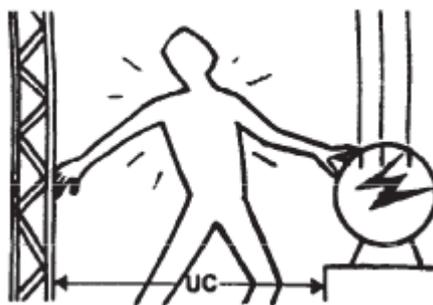


Fig. II.11. Une personne mise à une tension de contact  $U_C$  [5]

La coupure automatique de l'alimentation se fera au premier ou au second défaut selon le schéma de liaisons à la terre. Le schéma IT n'impose la coupure qu'au second défaut et favorise ainsi la continuité de service.

- **un temps total de coupure maximum**

Plus la tension de contact  $U_C$  est élevée, plus les normes imposent une mise hors tension rapide de la partie en défaut [6].

### II.2.5. Causes des défauts d'isolement

Pour assurer la protection des personnes et la continuité 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 spécifiques 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, réalisées 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 risque 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 sur intensités...
- les forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit qui peuvent endommager un câble ou diminuer une distance d'isolement,
- les sur tensions 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 devient un court-circuit;
- soit de mode commun (entre conducteurs actifs et masse ou terre). Un courant de défaut-dit de 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.2.6. Risques liés au défaut d'isolement**

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

- Risque d'électrisation des personnes

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

- Risque d'incendie
- Risque de non disponibilité de l'énergie
  - mise hors service d'équipements subtils à la sécurité;
- 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" [8].

## II.3. Régimes du Neutre

### II.3.1. Définitions

Le régime de neutre en BT ou "Schéma des Liaisons à la Terre" (SLT) est une notion normalisée par la norme IEC 364 et la NF C15-100, qui recouvre le mode de liaison à la terre:

- du neutre du secondaire du transformateur HT/BT d'une part, qui peut être relié à la terre, directement ou par une impédance isolé de la terre,
- des masses de l'installation d'autre part. Ces dernières sont toujours reliées à la terre du bâtiment où elles sont installées, soit directement, soit par le conducteur de neutre [6].

### II.3.2. Codification des schémas de liaisons à la terre

Les schémas des liaisons à la terre sont désignés par deux lettres et une troisième lettre facultative :

➤ **Première lettre**

Elle caractérise le point neutre du transformateur ou de la source :

- I : isolé de la terre
- T : relié à la terre

➤ **Deuxième lettre**

Elle caractérise les masses électriques des récepteurs :

- T : reliées à la terre
- N : reliée au conducteur neutre (N)

➤ **Troisième lettre (facultative)**

Situation du neutre et du conducteur de protection (PE)

**C** : N et PE sont Confondus en un conducteur commun PEN.

**S** : N et PE sont Séparés.

### II.3.3. Types de Neutre

#### II.3.3.1. Régime de neutre TT

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre.

Cette solution simple à l'étude et à l'installation est celle qui est employée pour les réseaux de distribution basse tension, aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure: C'est la coupure au premier défaut [5].

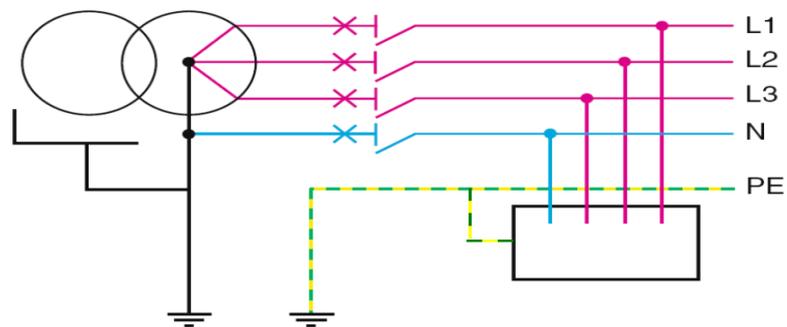


Fig. II.12. Neutre à la terre TT [6]

##### II.3.3.1.1. Analyse d'un défaut d'isolement

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (exemple : phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur [6].

On appelle  $U_0$  la tension simple du réseau.

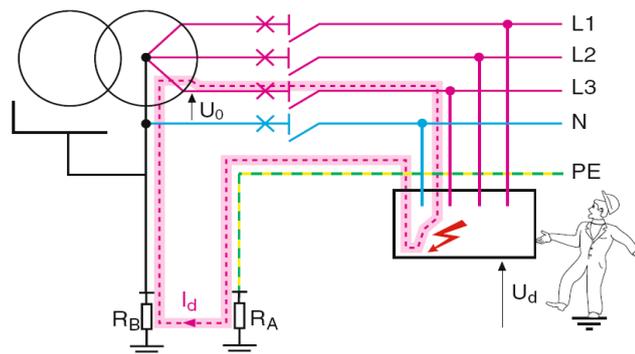


Fig. II.13. un défaut franc apparaisse entre une phase (phase 3) et la masse [6]

**a) Calcul du courant de défaut :**

Les prises de terre des masses d'utilisation et du poste présentent respectivement une résistance électrique  $R_A$  et  $R_B$ . Pour simplifier le calcul, nous négligeons les effets inductifs et capacitifs des câbles. L'impédance de boucle du défaut se ramène donc aux résistances  $R_A$  et  $R_B$  [6].

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B} \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

**b) Calcul de la tension de défaut :**

Si une personne est en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, elle sera soumise à un potentiel  $U_d$  de valeur [6] :

$$U_d = \frac{U_0}{R_A + R_B} \times R_A \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

**II.3.3.1.2. Mise en œuvre****Elle peut être réalisée en utilisant une protection par DDR**

Normalisation :

- ✓ la nouvelle norme NF C 15-100 (décembre 2002) impose la protection de tous les circuits par un dispositif différentiel résiduel haute sensibilité (DDR Haute Sensibilité :  $I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$  – protection des personnes) pour une installation en régime TT. De plus, en tête d'installation, il est obligatoire d'installer un DDR Moyenne Sensibilité ( $I_{\Delta n} \leq 500\text{mA}$  – protection des biens).
- ✓ dans le cas où un besoin de continuité de service est requis, il est possible d'installer des DDR sélectifs (dans le cadre de la mise en œuvre du disjoncteur abonné). Cette fonction sélectivité n'est pas imposée par la norme.

**❖ Réglage du seuil de déclenchement d'un DDR :**

Le courant de déclenchement du DDR doit être réglé de manière à provoquer l'ouverture du circuit électrique si la tension de défaut  $U_d$  excède la tension de sécurité  $U_L$  fixée par la norme. Dans des conditions normales (sèches) cette tension limite de sécurité est fixée à 50V, le courant de défaut aura pour valeur (si  $R_A = 10\Omega$ ) :

$$I_d = \frac{U_L}{R_A} = 5\text{A} \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

Il convient donc de choisir pour le DDR un calibre inférieur à 5A. Si on choisit 3A, la protection est assurée.

**Nota :** le réglage dépend exclusivement de la résistance de prise de terre du récepteur. L'exploitant a donc intérêt à la rendre la plus faible possible. La valeur maximale de la résistance de prise de terre des masses est définie par la relation :

$$R_{Amax} = \frac{U_L}{I_{\Delta n}} \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

Courant de fonctionnement du dispositif différentiel :

500 mA	100 Ω
300 mA	166 Ω
100 mA	500 Ω
30 mA	1666 Ω

Dans le cas général, la tension limite est de 50V et la sensibilité du différentiel est de 500 mA, de ce fait  $R_A$  maximum est égale à 100Ω.

#### ❖ Réglage de la temporisation :

Le temps total de coupure du DDR doit être conforme aux valeurs données dans le tableau 3-2. Ces temps sont relativement contraignants mais permettent cependant une certaine temporisation pour éviter par exemple un déclenchement intempestif (ex. : enclenchement sur charge homopolaire capacitive). Il est cependant admis par la norme que, pour les circuits de distribution, le temps total de coupure puisse atteindre 1 seconde maximum afin de faciliter la sélectivité entre DDR. Cette tolérance résulte du fait que, dans les circuits de distribution, les risques de contacts indirects sont moins fréquents que dans les circuits terminaux, et qu'ils ne sont en général accessibles que par du personnel qualifié.

**Tab II.2:** Temps de coupure limite des DDR en fonction de la tension de contact  
**Conditions normales ( $U_L = 50V$ )**

Tension de contact maximal présumé (V)	Temps de coupure du dispositif de protection (s)	
	courant alternatif	courant continu
<50	5	5
50	5	5
75	0.60	5
90	0.45	5
120	0.34	5
150	0.27	1
220	0.17	0.40
280	0.12	0.30
350	0.08	0.20
500	0.04	0.10

❖ **Réglage de la sélectivité :**

Il est possible de réaliser une sélectivité entre DDR. En cas de défaut, les protections différentielles n°1 et n°2 voient passer le courant de défaut. Il suffit que seul le DDR n°2 déclenche pour éliminer la source du défaut et ainsi supprimer tout risque de potentiel dangereux sur les masses métalliques.

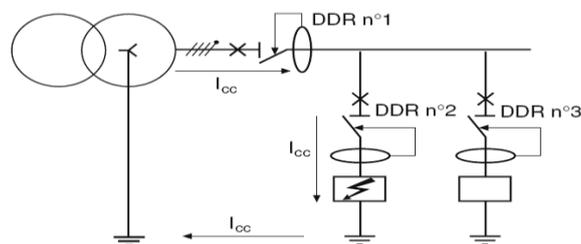


Fig. II.14. une sélectivité entre DDR [6]

Pour réaliser la sélectivité, la règle simple est de vérifier simultanément les deux conditions suivantes :

1 : seuil de réglage du DDR amont  $\geq$  double du seuil de réglage du DDR aval

2 : temps de non-déclenchement du DDR amont  $\geq$  temps de coupure du DDR aval.

❖ **Installation des DDR :**

Nombre de pôles :

De par son principe, le dispositif différentiel résiduel doit prendre en compte les 4 pôles (3 phases + neutre), c'est-à-dire tous les conducteurs actifs alors que le conducteur de protection (PE) doit rester à l'extérieur du tore.

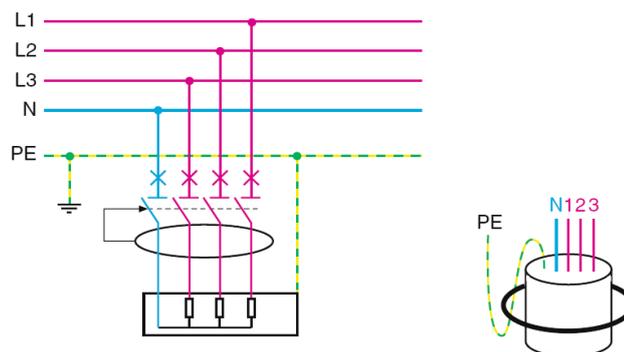


Fig. II.15. Installation des DDR [6]

**Nota :** Dans le cas de câbles multiconducteurs, il faut repasser le PE à l'extérieur du tore.

**II.3.3.1.3. Avantages et inconvénients :**

❖ **Avantage :**

- Coupure au premier défaut.
- Peu de calculs pour la mise en œuvre.
- Ne nécessite aucune personne qualifiée.
- Idéal pour les mauvaises valeurs de prises de terre.
- Extension d'installation simple à réaliser.
- Choix du DDR en fonction de la tension d'alimentation, sensibilité adaptée au local et la prise de terre, l'intensité nominale et du pouvoir de coupure.

❖ **Inconvénients :**

- Pas de continuité de service lors d'un défaut d'isolement.
- Dispositif différentiel parfois couteux (surtout pour les Hautes Sensibilités).
- Limité aux installations ayant peu de courant de fuites (phase-terre) [7].

**Nota** : le différentiel peut être associé soit à un interrupteur soit à un disjoncteur, le disjoncteur différentiel a trois fonctions : détection du courant de défaut, mesure et coupure, protection contre les surcharges et les courts-circuits.

L'interrupteur différentiel n'aura que deux fonctions : détection du courant de défaut, mesure et coupure, protégeant ainsi une zone particulière mais devra être associé à un dispositif de protection des lignes [7].

### II.3.3.2. Régime de neutre TN

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre.

#### ❖ Schéma TNC:

Le neutre et le conducteur de protection sont confondus. Ce type de schéma est interdit pour des sections de conducteurs inférieures à 10 mm<sup>2</sup>, en amont du schéma TNS, on utilise l'appareillage tripolaire, car on ne doit jamais couper un conducteur de protection électrique PE (jaune / vert) [5]

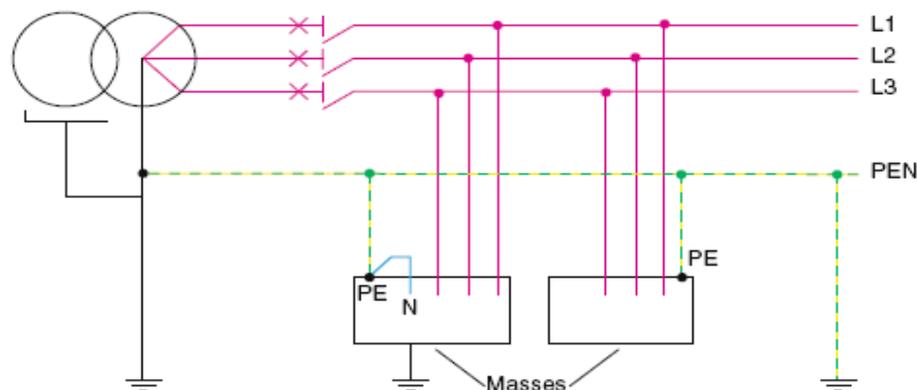


Fig. II.16. Principe du schéma TN-C [6]

#### ❖ Schéma TNS:

Le neutre et le conducteur de protection sont séparés. Il faut utiliser, des appareils tétrapolaires.

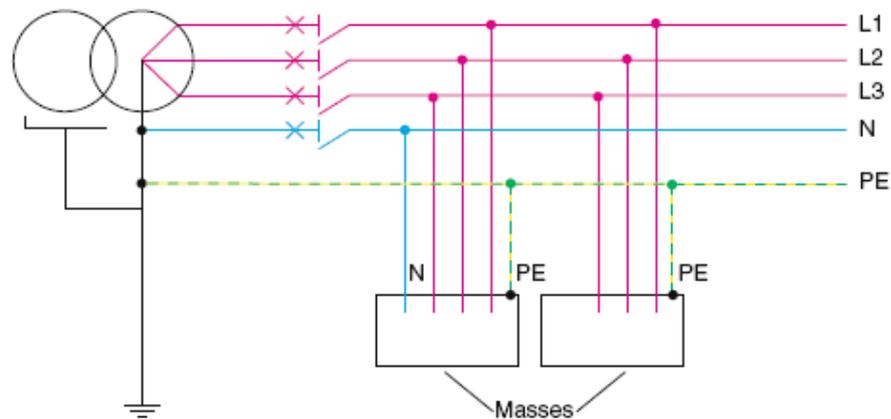


Fig. II.17. principe du schéma TN-S [6]

Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au premier défaut.

- \* On peut combiner un réseau TNC puis un TNS uniquement.
- \* Le conducteur PEN ne doit comporter aucun dispositif de protection, de sectionnement et de commande.
- \* Le conducteur PEN ne doit pas être commun à plusieurs circuits.
- \* Dans le câblage interne des machines, le conducteur de neutre ne peut pas être utilisé comme conducteur de protection.
- \* Les éléments conducteurs tels que les charpentes métalliques, ne peuvent pas être utilisés comme conducteur de protection [5].

#### ❖ Schéma TN-C-S:

Lorsque le schéma TN-S est réalisé en aval d'un schéma TN-C, le schéma résultant est alors appelé TN-C-S [6].

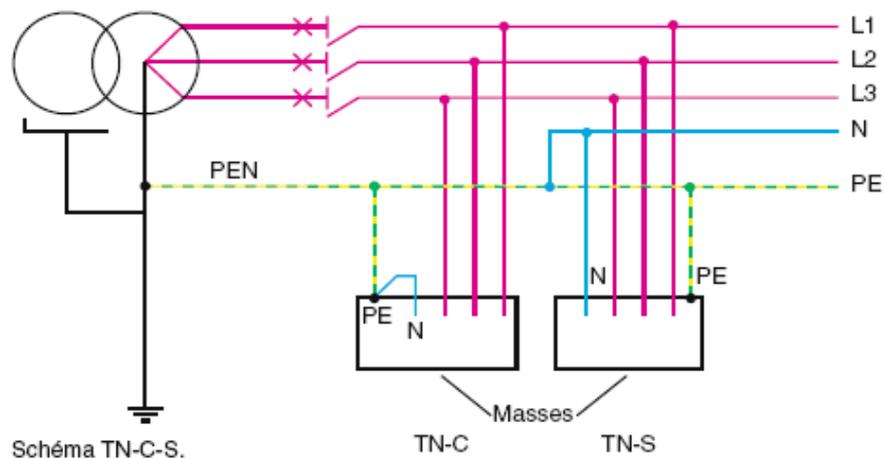


Fig. II.18. principe du schéma TN-C-S [6]

**II.3.3.2.1. Analyse d'un défaut d'isolement**

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (exemple : phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur.

On appelle  $U_0$  la tension simple du réseau [6].

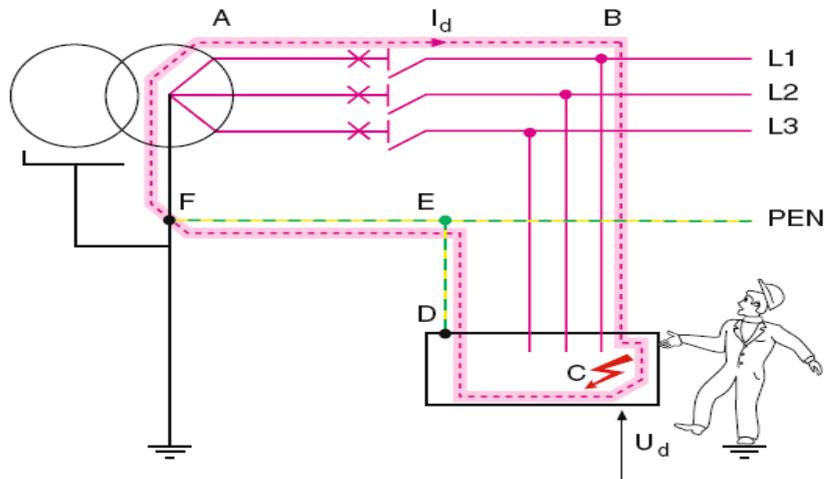


Fig. II.19. boucle de défaut en schéma TN [6]

**a) Calcul de l'impédance de la boucle de défaut :**

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut  $I_d$  n'est limité que par l'impédance  $Z_b$  de la boucle de défaut.

$Z_b = Z_{ABCDEF}$  (impédance de la portion de circuit ABCDEF)

$$I_d = \frac{U_0}{Z_b} \dots\dots\dots(II.5)$$

avec  $U_0 = 230 \text{ V}$  (tension simple).

Prenons le cas d'un récepteur alimenté par un câble de  $50\text{mm}^2$  de section et  $50\text{m}$  de long (section et longueur commune des phases et du PE), en négligeant les impédances de ligne AB et EF, on a :

$Z_b \approx Z_{BCDE}$  (impédance de la portion de circuit BCDE)

$Z_b \approx Z_{DE}$  (en supposant  $Z_{BC} = Z_{DE}$ , les conducteurs BC et DE ayant même section et longueur, et en négligeant l'impédance du défaut  $Z_{CD}$ )

$$Z_b = \rho \times \frac{L}{S} \dots\dots\dots(II.6)$$

avec :

$\rho$  : résistivité du cuivre =  $23 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L : longueur du conducteur en mètres = 50m

s : section du câble en mm<sup>2</sup> = 50mm<sup>2</sup>

d'où :

$$Z_b = 2 \times 23 \times 10^{-3} \times \frac{50}{50} = 46m\Omega$$

### b) Calcul de la tension de défaut :

En pratique, pour tenir compte des impédances amonts, on admet une chute de tension de l'ordre de 20% sur la tension simple  $U_0$  (méthode conventionnelle), d'où :

$$U_{BE} = 0,8.U_0 \dots \dots \dots (II.7)$$

Comme  $Z_{BC} = Z_{DE}$ , la masse du récepteur est portée à un potentiel :

$$U_d = \frac{U_{BE}}{2} = \frac{0,8 \times U_0}{2} = 92V \dots \dots \dots (II.8)$$

Cette tension est dangereuse car supérieure à la tension maximale de sécurité ( $U_L=50V$ ). Il faut donc impérativement mettre automatiquement hors tension la partie de l'installation concernée.

### c) Calcul du courant de défaut :

Le courant de défaut  $I_d$  à pour valeur :

$$I_d = 0,8.U_0 / Z_b = 0,8.230/0,046 = 4000A \dots \dots \dots (II.9)$$

Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase-neutre, la coupure Est réalisée par le dispositif de protection contre les courts-circuits avec un temps maximal de coupure spécifié en fonction de  $U_L$  (voir tableau II.2).

### II.3.3.2.2. Avantages et inconvénients :

#### ❖ Avantage :

- Coupure au premier défaut.
- Employé avec succès dans les installations électriques dont les récepteurs ont naturellement des défauts d'isolement très élevés comme les radars, les installations de calcul et d'acquisition de données qui utilisent des filtres capacitifs de forte puissance entre chaque phase et la masse.
- Egalement dans certaines installations très particulières (aéronefs) lorsque l'un des conducteurs est composé de la masse du récepteur, ou lorsque plusieurs

réseaux mixtes (tensions ou fréquences différentes, continu et alternatif) cohabitent.

#### ❖ Inconvénients

- Les installations doivent être calculées et essayées avec le plus grand soin en ce qui concerne la protection de surintensité de courant (relais électromagnétiques) avant toute mise en service normal.
- Toute modification relative à l'alimentation d'un récepteur donnera lieu à une étude comparable à celle effectuée lors de la mise en service initiale.
- Ces installations alimentent des récepteurs sans protection différentielle ; en cas de défaut d'isolement, c'est la protection magnétique qui déclenchera la coupure de l'alimentation électrique.
- Afin de parer à une défaillance des connexions du conducteur de terre depuis l'origine de l'installation jusqu'aux récepteurs terminaux lorsque le réseau est étendu, les schémas TN nécessitent la mise à la terre du conducteur de protection en plusieurs points tout au long de ce réseau [7].

### II.3.3.3. Régime de neutre IT

#### II.3.3.3.1. Principe

Dans ce type de schéma, dit à « neutre isolé » :

- le neutre du transformateur est :
  - soit isolé de la terre (neutre isolé)
  - soit relié à la terre par une impédance élevée (neutre impudent)
- toutes les masses de l'installation sont reliées à la terre

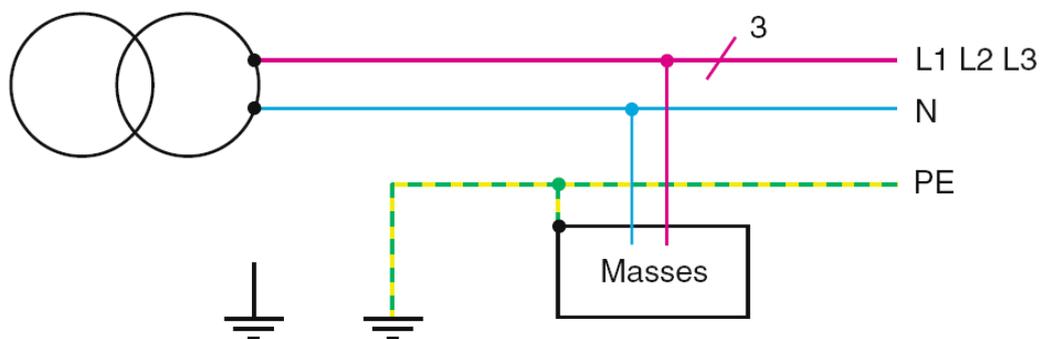


Fig. II.20. Neutre isolé IT [6]

**❖ Niveau d'isolement d'un réseau**

Bien que ce schéma soit dit à neutre isolé, il convient de nuancer cette appellation en prenant en compte le fait que toute installation n'a pas, en réalité, un niveau d'isolement infini : on trouve entre chacune des phases et la terre une impédance d'isolement qui varie en fonction du type de récepteurs installés, de la longueur et du vieillissement des câbles, des conditions hydrométriques [6].

**❖ Impédance et résistance d'isolement**

Il faut distinguer la résistance d'isolement d'un réseau et son impédance d'isolement:

- la résistance est la valeur de l'isolement mesurée avec un générateur de courant continu. Dans ce cas, les capacités entre phase et terre n'entrent pas en ligne de compte. Cette mesure est généralement faite hors tension, donc elle ne prend pas en compte la résistance d'isolement des récepteurs.
- l'impédance est la valeur de l'isolement mesurée avec un générateur alternatif. Elle se compose essentiellement d'une résistance et d'une capacité en parallèle.

La résistance est liée à la nature des diélectriques, la poussière et la pollution recouvrant les éléments isolants.

La capacité est liée à la constitution du câble : en effet deux conducteurs (phase et terre) séparés par un isolant (la gaine du câble) constituent un condensateur électrique. Elle est aussi de plus en plus liée à la présence de filtres antiparasites constitués de condensateurs branchés entre phases et masses, donc reliées à la terre [6].

**❖ Valeurs usuelles d'isolement**

On peut considérer que, grossièrement, un câble neuf présente, pour chaque phase, une résistance d'isolement de  $10 \text{ M}\Omega/\text{km}$  en parallèle avec une capacité de  $0,3 \text{ F}/\text{km}$  par rapport à la terre. Pour faciliter le raisonnement, nous pouvons ramener ces condensateurs et ces résistances entre le neutre et la terre.

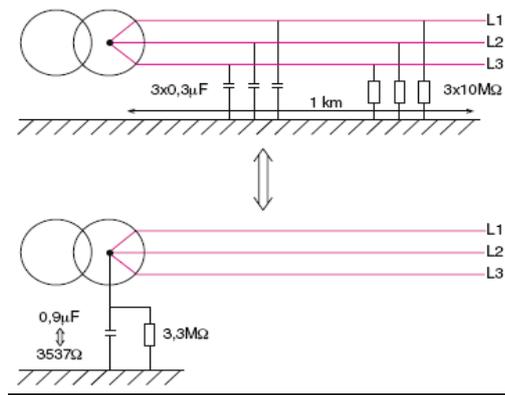


Fig. II.21. Schéma équivalent [6]

Ceci revient à un isolement global du réseau, pour les 3 phases par rapport à la terre, de 3,3 MΩ en parallèle avec une capacité de 0,9 µ F pour 1 km de câble triphasé. A 50 Hz, une capacité de 0,9 µ F a une impédance de:

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{0,9 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 50} = 3537\Omega \dots \dots \dots (II.10)$$

Cette capacité, en parallèle avec une résistance beaucoup plus élevée par rapport à son impédance, est prépondérante dans l'impédance du réseau électrique par rapport à la terre [6].

❖ **Influence des filtres antiparasites sur l'isolement**

La présence de filtres antiparasites utilisés dans certains équipements peut faire sensiblement baisser l'isolement. Par exemple, un équipement électronique triphasé comportant une capacité de 10 nF entre chaque phase et la terre au titre de filtre CEM présentera une impédance ramenée entre le neutre et la terre de:

$$\frac{1}{3C\omega} = \frac{1}{10 \times 10^{-9} \times 2\pi \times 50} = 106K\Omega \dots \dots \dots (II.12)$$

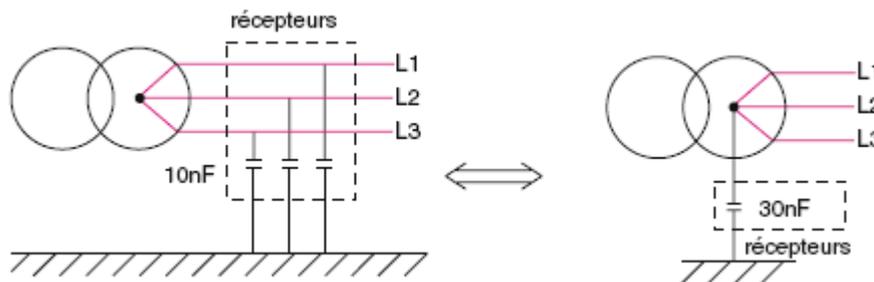


Fig. II.22. Filtrés antiparasites [6]

Associé à une installation électrique de longueur 1 km, le filtre porte l'impédance d'isolement du réseau à une valeur  $Z$  correspondant à la mise en parallèle entre neutre et terre de :

- la capacité de fuite du filtre : 30nF, soit une impédance de 106k (à 50 Hz).
- la résistance d'isolement global : 3,3M $\Omega$

Le calcul donne  $Z = 3422\Omega$  (soit une baisse de 3,3%).

Cette baisse de l'isolement est d'autant plus importante qu'il y a d'appareils électroniques présentant ce type de filtre [6].

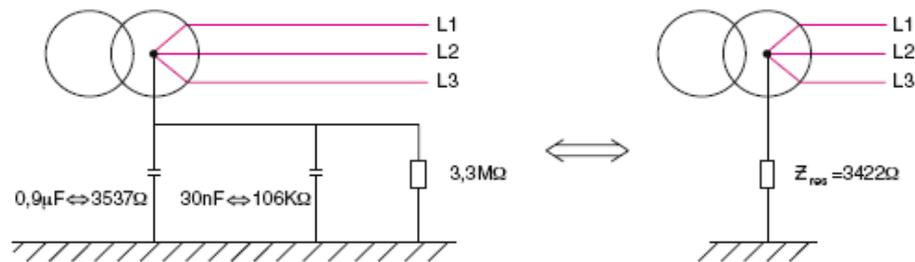


Fig. II.23. Effet des filtres sur l'isolement [6]

### II.3.3.3.2. Analyse du premier défaut d'isolement

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (ici la phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur. Il s'agit d'un premier défaut, aussi appelé défaut simple.

L'impédance d'isolement du réseau  $Z_{res}$  est définie par les câbles et les récepteurs. Supposons que nous soyons dans la configuration décrite précédemment. L'impédance d'isolement du réseau ainsi calculée est :

$$Z_{res} = 3422\Omega [6].$$

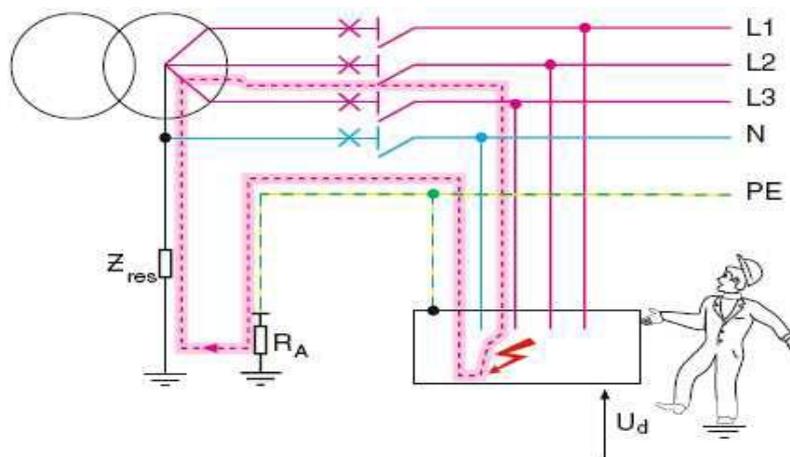


Fig. II.24. Courant du premier défaut d'isolement [6]

**a) Calcul du courant de défaut :**

Soit  $U_0$  la tension simple du réseau.

La prise de terre du récepteur en défaut présente une résistance électrique  $R_A$ .

L'impédance de boucle du défaut comporte  $R_A$  et  $Z_{res}$ .

Pour  $U_0 = 230V$  et  $R_A = 10\Omega$ , le courant de court-circuit a pour valeur :

$$I_d = \frac{U_0}{Z_{res} + R_A} = 67mA \dots \dots \dots (II.13)$$

Ce courant est faible car limité par l'impédance d'isolement du réseau, principalement due à la capacité d'isolement des câbles.

**b) Calcul de la tension de défaut :**

Si une personne est en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, elle sera soumise à un potentiel  $U_d$  de valeur :

$$U_d = \frac{U_0}{Z_{res} + R_A} \times R_A = 0.67V \dots \dots \dots (II.14)$$

Ce potentiel est très largement inférieur à la tension limite de contact ( $U_L$ ) et n'est donc pas dangereux.

**Cas de réseau étendu :**

Plus le réseau est étendu, plus ces valeurs augmentent. Par exemple, pour un réseau de 10km de câbles, l'impédance d'isolement devient  $342\Omega$ , le courant de premier défaut s'élève alors à 670mA correspondant à une tension de défaut de 6,7V. Lorsque la tension atteint la valeur de la tension limite conventionnelle  $U_L$ , le réseau ne peut plus être considéré comme un schéma IT car le déclenchement devra avoir lieu. Fort heureusement ces limites ne sont que très rarement atteintes. Toutefois, il est recommandé d'éviter d'avoir un réseau IT trop étendu.

**II.3.3.3. Analyse du deuxième défaut d'isolement**

Alors que le premier défaut n'est pas éliminé, un autre défaut d'isolement peut apparaître sur l'installation. Si ce défaut intervient sur le même conducteur que le premier, il ne se passera rien de plus que précédemment si ce n'est une baisse encore plus importante du niveau d'isolement général du réseau.

En revanche, si le défaut intervient sur un autre conducteur actif, le système de liaison à la terre devient soit TN soit TT suivant que les masses soient interconnectées ou non en situation

de défaut d'isolement. Dans ces deux cas, il va y avoir circulation d'un courant de défaut qu'il faut éliminer.

➤ **Cas de masses interconnectées :**

Les masses d'utilisation sont interconnectées entre elles et à la prise de terre du poste ( $R_A$ ). Nous sommes en présence d'un court-circuit phase-phase ou phase-neutre. Les protections contre les courts-circuits (disjoncteur ou fusible) sont chargées d'éliminer ce courant de défaut.

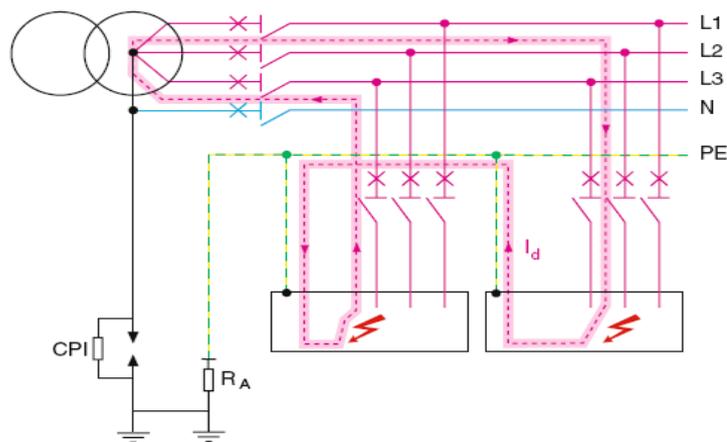


Fig. II.25. Courant du deuxième défaut d'isolement de masses interconnectées [6]

➤ **Cas de groupes de masses non interconnectés :**

Les masses d'utilisation ne sont pas toutes interconnectées entre elles, par exemple  $R_B$  est distinct. Ce cas revient à un schéma TT. Il faut donc protéger chaque groupe de masses par des protections différentielles.

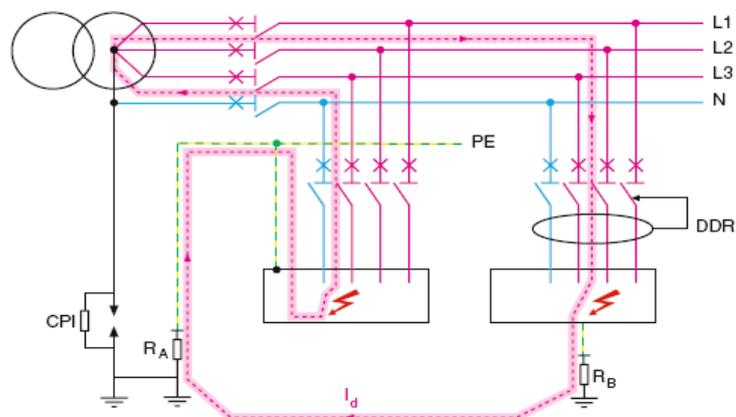


Fig. II.26. Courant du deuxième défaut d'isolement de masses non interconnectées [6]

### II.3.3.3.4. Mise en œuvre

Normalisation :

- La normalisation impose l'utilisation d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI) en tête d'installation (voir Annexe 1) (Fig. II.27).
- l'installation d'un limiteur de surtension est également obligatoire (voir Annexe 1). En effet, le neutre n'étant pas relié à la terre, les surtensions ou défauts du réseau HTA peuvent se répercuter sur la BT. Ces surtensions peuvent résulter de manœuvres d'appareillage HT, de perturbations atmosphériques ou de défauts d'isolement au niveau du transformateur. Le limiteur de surtension va s'amorcer dès l'apparition d'une surtension et limitera l'élévation de potentiel entre réseau et terre.
- un DDR est également exigé en tête d'installation pour groupes d'appareils ayant des masses interconnectées et non connectées à la prise de terre du poste.

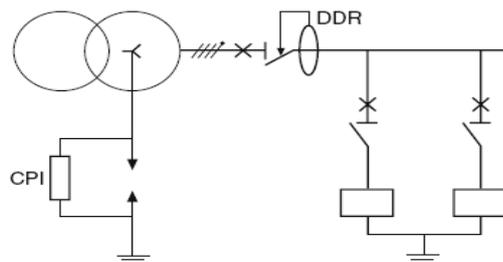


Fig. II.27. Contrôleur permanent d'isolement [6]

Conditions de déclenchement en cas de double défaut.

#### ❖ Cas de masses interconnectées : Calcul de $L_{max}$

Lors d'un 2ème défaut en schéma IT, la norme NF C 15-100 impose la coupure Automatique. Cette coupure est mise en œuvre à la conception de l'installation par le calcul des longueurs maximales de câble à ne pas dépasser en aval d'une protection. Le principe est le même que celui décrit dans la méthode conventionnelle pour le schéma TN. Mais devant l'impossibilité pratique d'effectuer la vérification pour chaque configuration de double défaut, le calcul pour chaque circuit est conduit en prenant en compte le cas le plus défavorable : un autre défaut sur un circuit identique.

Lorsque le neutre n'est pas distribué, le défaut ne peut être qu'un défaut entre phases et la tension correspondante est  $U_0 \cdot \sqrt{3}$ . C'est le cas recommandé par la norme NF C 15-100. La longueur maximale du circuit est donnée par la formule

Suivante :  $L_{max} = \frac{0.8.U_0.\sqrt{3}.S_{ph}}{2\rho(1+m).I_m}$ .....(II.15)

- si le neutre est distribué, la tension à retenir est la tension simple  $U_0$  et la section concernée est celle du neutre  $S_n$  :  $L_{max} = \frac{0.8.U_0.S_n}{2.\rho.(1+m).I_m}$ .....(II.16)

Dans les formules précédentes :

$L_{max}$  : longueur maximale en mètres

$U_0$  : tension simple (230V pour un réseau 230/400V)

$\rho$  : résistivité à la température de fonctionnement normal en  $\Omega.mm^2/m$   
( $23.10^{-3}$  pour le cuivre et  $37.10^{-3}$  pour l'aluminium)

$I_m$  : seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur en A

$S_{ph}$  et  $S_{pe}$  sont les sections des conducteurs de phase et de protection en  $mm^2$

Rapport des section :  $m = \frac{S_{ph}}{S_{pe}}$  .....(II.17)

$S_n$  est la section du neutre si le départ comporte un neutre.

Les constructeurs d'appareillage de protection donnent des tableaux de longueurs maximales de câbles compte tenu du réglage des protections et des sections de câbles. Tous ces calculs peuvent être réalisés plus rapidement par des logiciels qui intègrent l'ensemble des paramètres de l'installation électrique. Les autres méthodes de calcul indiquées en schéma TN (composantes symétriques et impédances) sont également possibles.

✓ **Cas de masses non interconnectées : Utilisation des DDR**

- si la prise de terre du poste et des masses d'utilisation ne sont pas reliées, il faut placer un DDR en tête d'installation (Fig. II.28).
- de plus, si les masses d'utilisation ne sont pas toutes connectées à une même prise de terre, il faut placer un DDR par groupe d'équipement.

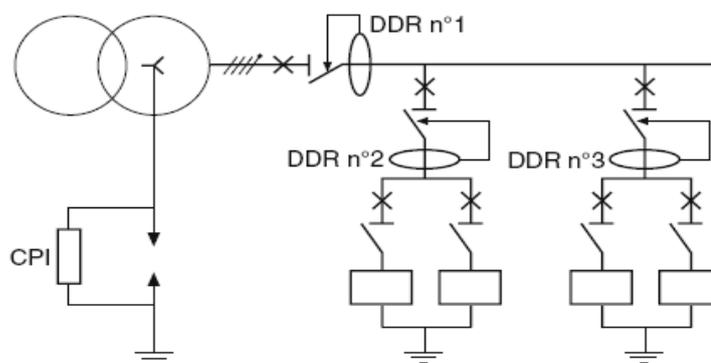


Fig. II.28. Utilisation des DDR [6]

### II.3.3.3.5. Avantages et inconvénients :

#### ❖ **Avantage :**

- Pas de coupure au premier défaut.
- Installation permettant la poursuite de l'exploitation d'énergie malgré un premier défaut d'isolement même important, comme les salles d'opération en hôpital, la sécurité aérienne, etc.
- Schéma IT utilisé dans les installations de très courte dimensions, et les transformateurs d'isolement dans les ateliers, les salles de bains (prises rasoirs), etc.
- Utilisé aussi lorsque les dimensions du réseau sont suffisamment grandes pour devoir tenir compte des impédances des lignes. L'impédance de mise à la terre ( $z$ ) de valeur relativement faible (env.600 à 1000 ohms) permet de s'affranchir de l'impédance des lignes, tout en limitant le courant de défaut.

#### ❖ **Inconvénients :**

- Nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer ce défaut très rapidement, avant l'apparition d'un deuxième défaut qui va déclencher les protections.
- Ce schéma oblige la mise en place d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation [7].

## II.4. 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.

### ▪ **Protection contre les chocs électriques**

Tous les Schéma de Liaisons 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.

### ▪ 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 en traîné parce 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 par court 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.

### ▪ Continuité d'alimentation

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 défaut en défaut.

Son exploitation correcte en 1<sup>er</sup> second défaut réel est très 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 entretien, etc.

### ▪ 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 de son 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 entrant 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 aux défauts MT doit être réalisée par un limiteur de surtension.

▪ **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-Set IT peuvent donc satisfaire à tous les critères de compatibilité électromagnétique. On note seulement que le schéma TN-Samène d'avantage de perturbations pendant la durée du défaut d'isolement, car le courant de défaut est plus élevé.

En revanche les schémas TN-CouTN-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 auPEN. La présence d'harmoniques de rang multiple de trois amplifie nettement ce courant dans les installations modernes [8].

•**Synthèse [8]**

	TT	TN-C	TN-S	IT
Sécurité des personnes	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★
Sécurité des biens				
■ contre les risques d'incendie	★★★★	★	★★	★★★★
■ protection des matériels <sup>(1)</sup>	★★★★	★	★	★★★★
Disponibilité d'alimentation	★★	★★	★★	★★★★
Influence des perturbations électromagnétiques <sup>(2)</sup>	★★	★	★★	★★

★★★★	excellent	★★★	bon	★★	moyen	★	mauvais
------	-----------	-----	-----	----	-------	---	---------

(1) En cas de défaut d'isolement ;

(2) Ensemble des perturbations électromagnétiques:

externes: défaut sur réseau de distribution HT, surtensions de manœuvre, surtensions d'origine atmosphérique...

Interne: courants de défaut d'isolement, harmoniques sur réseau BT.

## II.5. 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 3 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.

- Méthodologie pour choisir les Schémas de Liaison à la Terre
- ✓ Tout d'abord, ne pas oublier que les trois Schéma de Liaison à la Terre peuvent co exister 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 norme sou la législation {décrets, arrêtés ministériels).
- ✓ Puis dialoguer avec l'utilisateur pour connaître ses exigences et ses moyens:
  - besoin de continuité de service,
  - service entretien ou non,
  - risque incendie.

### Globalement:

- continuité de service et service entretien: la solution est l'IT,
- continuité de service et pas de service 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 entretien compétent: préférer le TN-S (réparation et extensions rapides et exécutées selon les règles),

Continuité de service non impérative et pas de service entretien: préférer le TT,

Risque d'incendie: IT si service 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 équipotentialement des appareils communicants) [8].

## II.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une description succincte des schémas des liaisons à la terre en mettant l'accent sur le régime TT, qui fera l'objet du prochain chapitre.

La première partie de ce chapitre a été consacrée à la protection des personnes contre les effets d'électrocution. Tandis que, dans la deuxième partie on a présenté les différents types de SLT et les critères de leurs choix.

Pour arriver à mettre en œuvre une protection des différents récepteurs d'une installation électrique, il faut bien choisir quel type de schémas de liaisons à la terre doit-on utiliser. 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.

Le dernier chapitre sera dédié aux résultats expérimentaux de l'étude du SLT cas TT.

# **CHAPITRE III : RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX**

### III.1. Introduction

Cette partie expérimentale a été effectuée au sein du Centre de Formation Professionnel OUMEDDOUR Abdelhak à Guelma, 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 TT.

Avant de passer aux résultats expérimentaux et leurs discussions, nous donnons une description détaillée du banc d'essais utilisé. Six manipulations ont été effectuées et discutées

### III.2. Description de l'ensemble [8]

- 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 régime 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(Fig.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 type de disjoncteur (Fig.III.2).
- **Protection et commande**  
Chaque face a son ensemble de commande et de protections totalement indépendant.
- La distribution sur les faces de travail est réalisée comme suit:

- l'équipement se raccorde sur un réseau triphasé 400V + terre.
- Un contacteur général (KMO) coupe la tension sur les deux faces en cas de problème de sécurité (voir chapitre "Chaîne de sécurité") (Fig.III.3).

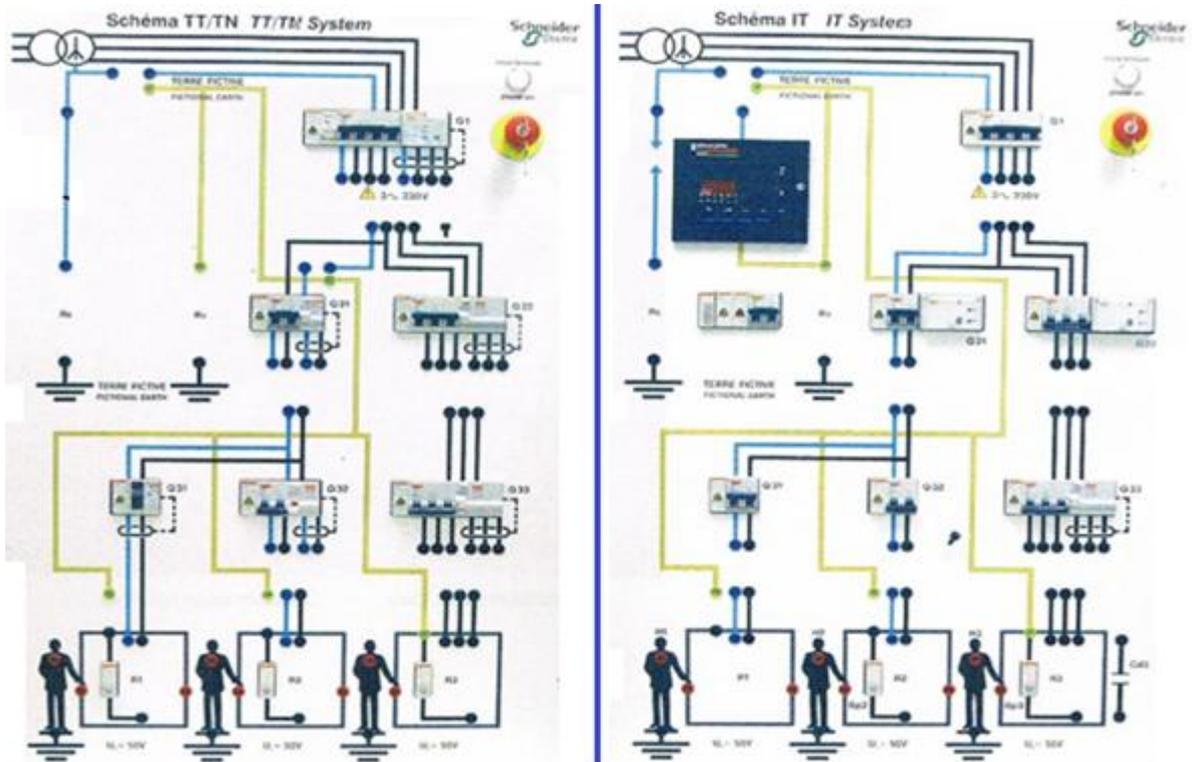


Fig.III.1. Schéma TT/TN et l'autre face celle du Schéma IT [8]

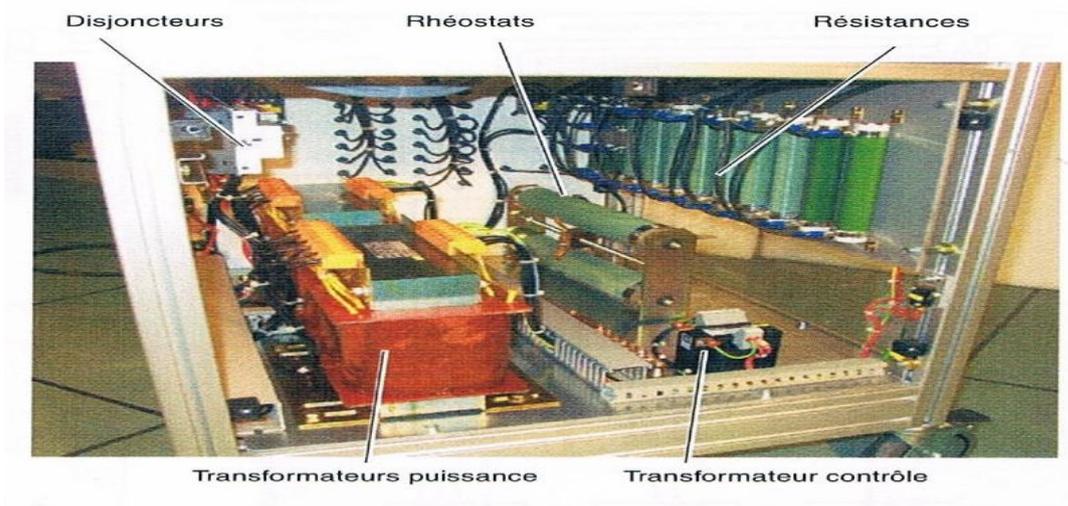


Fig.III.2. Partie inférieure du banc d'essais [8]

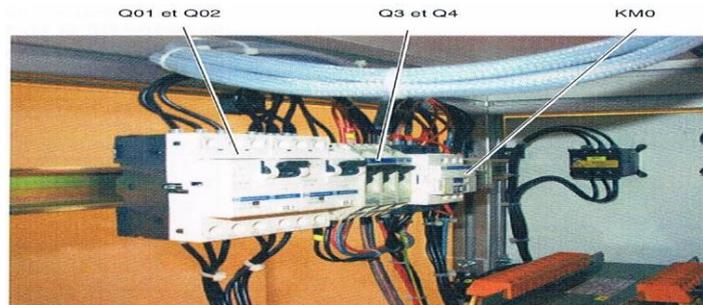


Fig.III.3. Protection et commande du banc [8]

▪ **Pour chaque face de travail:**

- Un disjoncteur magnéto-thermique (Q01 et Q02) pour la protection des transformateurs (Fig.III.3).
- Un interrupteur triphasé Q3 et Q4 (Fig.III.3).
- Un transformateur triphasé triangle/ étoile de puissance 2 KVA (TR1 et TR2) la tension distribuée sur les faces de travail est de triphasé 230 V entre phases et de 130V entre phase et neutre (Fig.III.2).

▪ **Face "Schéma TT/TN"**

- 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** calibre 16A équipé d'un relais Vigirex (voir annexe 3) réglable en intensité de défaut différentiel (de 30mA à 1A avec coefficient multiplicateur de 1, 10, 100 et 1000 et avec retard au déclenchement réglable d'instantané à 1 seconde), ce qui lui donne une plage réglable de 30mA à 1 A (Fig.III.4).
- Il est également équipé d'un additif à manque de tension et d'un voyant. Il est possible d'effectuer le câblage avec ou sans le relais Vigirex.

- **Répartition sur deux circuits**

- Le premier protégé par un disjoncteur phase plus neutre **Q21** calibre 10A avec

protection différentielle de 300mA fixe et un voyant. Il est possible d'effectuer son câblage sans utiliser la protection différentielle.

Le second protégé par un disjoncteur **Q22** triphasé calibre 10A avec protection différentielle de 300mA fixe et un voyant. Il est possible d'effectuer son câblage sans utiliser la protection différentielle (Fig.III.4).

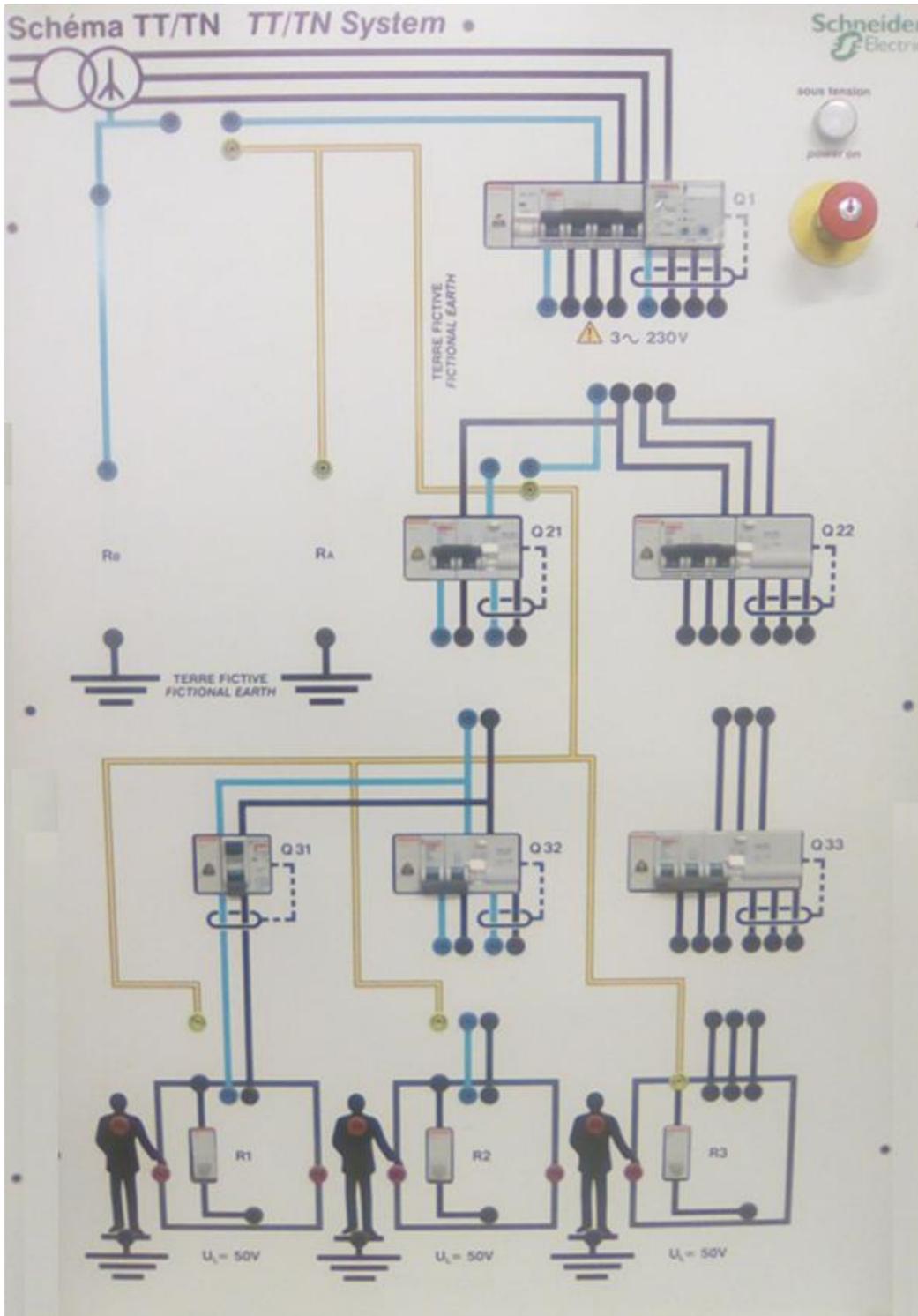


Fig.III.4. Face Schéma SLT TT

○ **Ensuite une protection par local**

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

○ Toutes les connections sont ramenées sur douilles sécurisées.

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

Sur l'emplacement "R<sub>A</sub>" se raccorde une résistance représentant une valeur théorique de la résistance de ligne du raccordement des masses.

Sur l'emplacement "R<sub>B</sub>" se raccorde une résistance représentant la valeur de la résistance de ligne pour le raccordement du neutre à la terre (Fig.III.4).

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

- **Le neutre du transformateur** est relié directement à une prise de Terre R<sub>B</sub> . (première lettre T)
- **Les masses d'utilisation** des récepteurs sont reliées directement à une prise de Terre R<sub>A</sub> .(deuxième lettre T)
- **Le conducteur PE** ne doit jamais être coupé.
- Dans tous les locaux la tension de contact U<sub>C</sub> doit rester  $\leq U_L$  :

$$\text{Soit } \mathbf{R_A \cdot I_f \leq U_L \dots \dots \dots (III.1)}$$

$$\text{Ou } \mathbf{R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L \dots \dots \dots (III.2)}$$

**R<sub>A</sub>** : Résistance de la prise de Terre des masses d'utilisation des récepteurs.

**I<sub>f</sub>** : courant de fuite assurant le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps prescrit par la courbe de sécurité.

**I<sub>Δn</sub>** : seuil nominal du dispositif DDR

**U<sub>L</sub>** : Tension limite conventionnelle de sécurité pour local considéré (valeur limite maximale de la tension de contact pouvant être maintenue indéfiniment en dessous du seuil de tension dangereuse).

## Schéma simplifié :

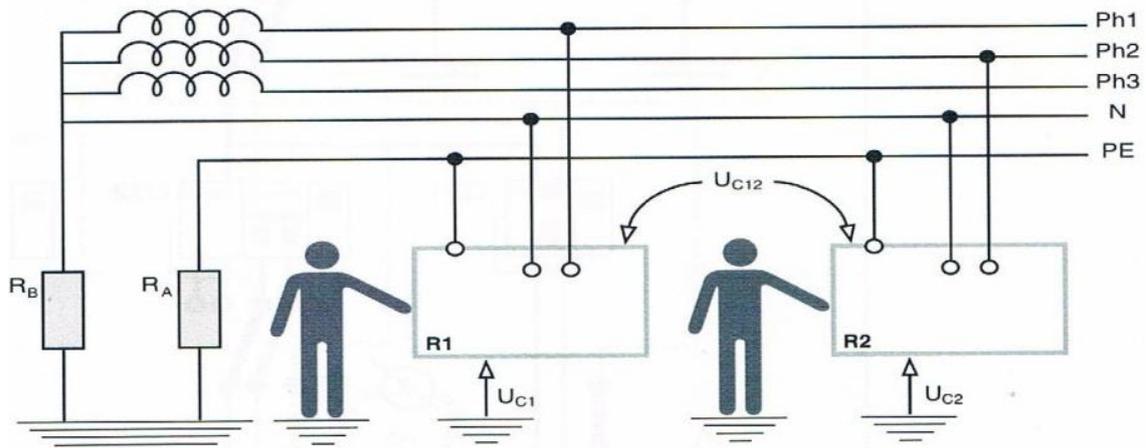


Fig.III.5. Déclenchement au premier défaut [8]

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 TT/TN avec les douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat du côté latéral.

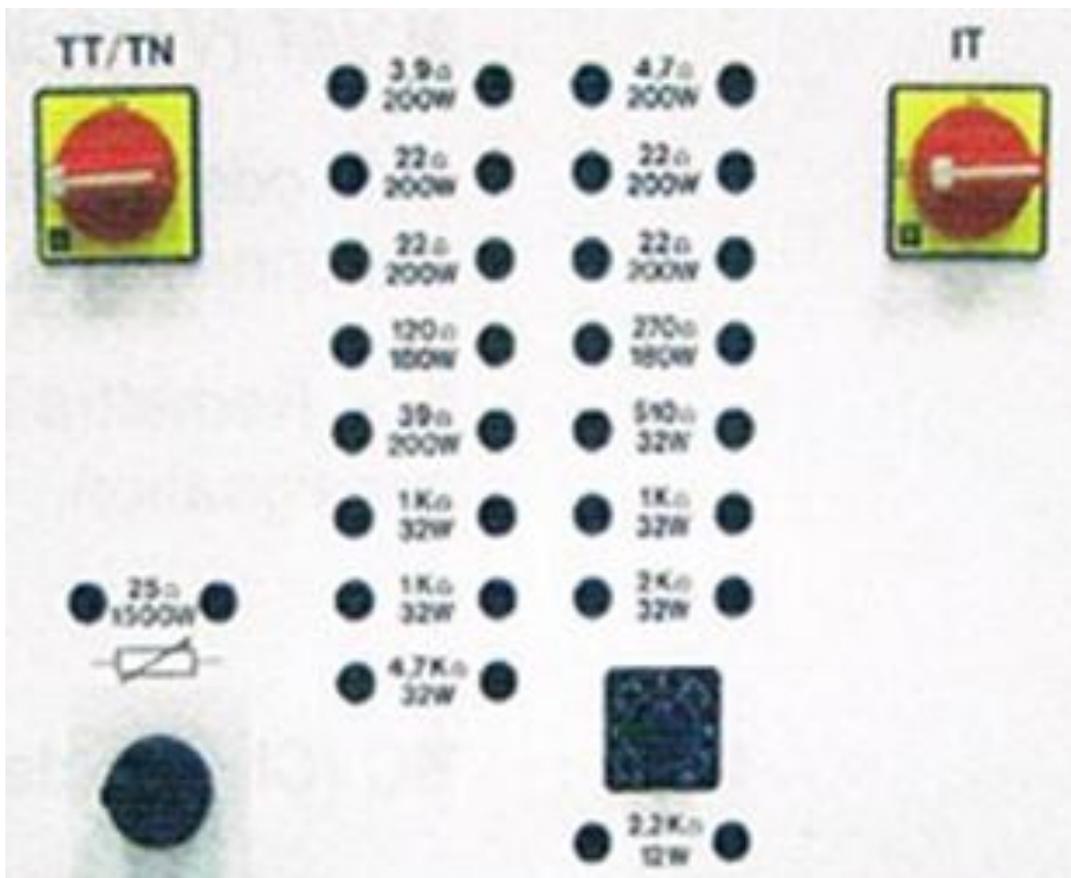


Fig.III.6. Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat [8].

### III.3.1. Programme des manipulations SLT TT

#### *Manipulation 1*

- Les disjoncteurs magnétothermiques n'assurent pas la protection contre les contacts indirects.

#### *Manipulation 2*

- L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection (choix du seuil).

#### *Manipulation 3*

- L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection (valeur maximale de  $R_A$ ).

#### *Manipulation 4*

- Déclenchement sélectif par des DDR places à divers niveaux.

#### *Manipulation 5*

- Risque d'incendie.

#### *Manipulation 6*

- Récepteurs mobiles

#### III.3.1.1. SLT TT Manipulation 01

**a) Objectif :** s'assurer que les disjoncteurs magnétothermiques n'assurent pas la protection contre les contacts indirects

**b) Schéma de montage et manipulation :**

##### **Expérience A**

- 1 – Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la manipulation 1. (pour la charge de  $20 \Omega$  du départ n°2, utiliser le rhéostat).
- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.

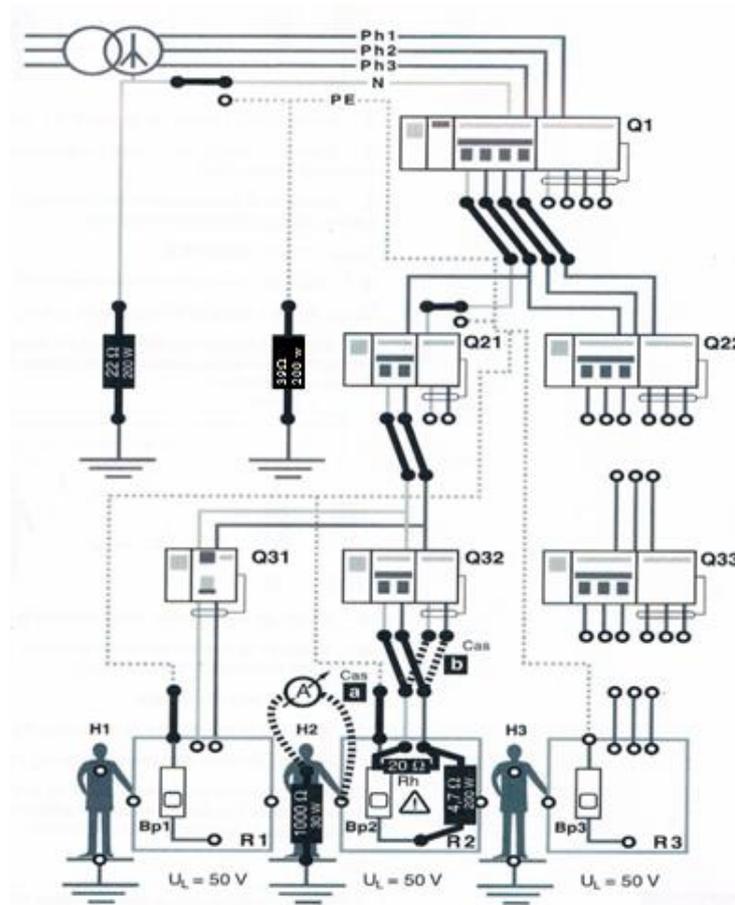


Fig.III.7. Schéma de montage Manipulation 01 SLT TT [8]

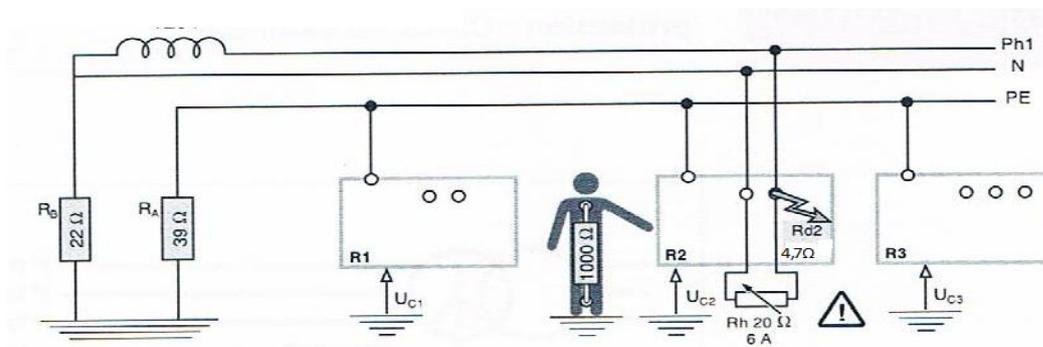


Fig.III.8. Schéma équivalent de la figure III.7 [8]

4- Créer un défaut ( $R_A=39\Omega$  et  $R_{d2}=4,7\Omega$ ) dans le récepteur R2 en appuyant sur Bp2.

5- Calculer le courant de défaut théorique  $I_d$  et déterminer  $U_{C1}$  et  $U_{C2}$ .

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d + R_h} = \frac{127}{39 + 22 + 4.7 + 20} = 1.481A \dots \dots \dots (III.3)$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C2} = U_{C3} = U_{C1} = I_d \times R_A = 1.481 \times 39 = 57.79V \dots \dots \dots (III.4)$$

6- Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre.

$U_{C3} = 54V > U_L = 50V$  : **DANGER**

$U_{C2} = 54V > U_L = 50V$  : **DANGER**

$U_{C1} = 54V > U_L = 50V$  (pas de déclenchement des disjoncteurs)

**Remarque :**

- Bien que le circuit ait été chargé aux limites de Q32 ( $I_n = 6,2A$ ) nous constatons que le défaut à la masse ne provoque pas de déclenchement du magnéto- thermique Q32.
- Bien que le disjoncteur Q31 soit ouvert, on relève entre la masse du récepteur R1 et la Terre une tension excessive.

( $U_{C1} = 54V > U_L = 50V$ ). Cette tension, dangereuse dans le local Mouillé où se trouve R1, est renvoyée par l'interconnexion des masses.

7- Mesurer le courant qui traverse H2.

$I_{H2} = 1.2A$

**Expérience B:**

8 - Couper Q32 et passer par le DDR Q32 (Fig.III.8 schéma équivalent).

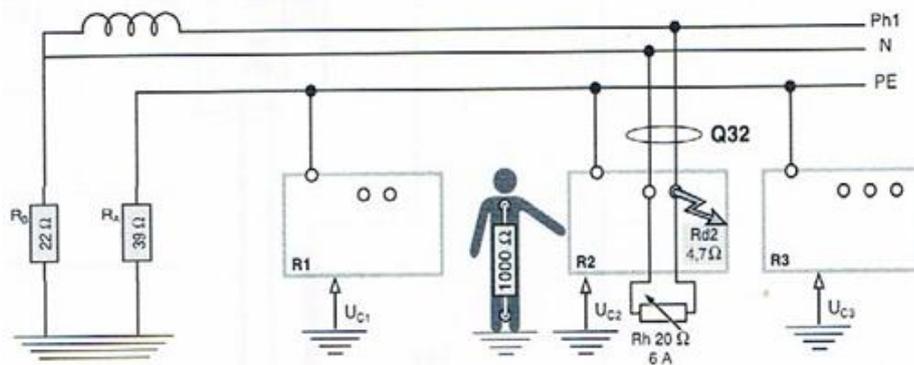


Fig.III.9 Schéma équivalent de la figure III.7 ( $R_A = 39\Omega$ )[8]

9- Mettre sous tension en refermant Q32.

10- Créer le défaut ( $R_A = 39\Omega$  et  $R_{d2} = 4,7\Omega$ ) dans le récepteur R2 en appuyant sur Bp2:

Déclenchement immédiat de Q32 : **plus de danger** au niveau de la tension renvoyée sur la masse des récepteurs.

**c) Conclusion:**

Une protection par DDR est nécessaire pour assurer la sécurité.

## III.3.1.2. SLT TT Manipulation 02

## a) Objectif

- L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection.

- Choix du seuil  $I_{\Delta n}$ .

## b) Schéma de montage et manipulation :

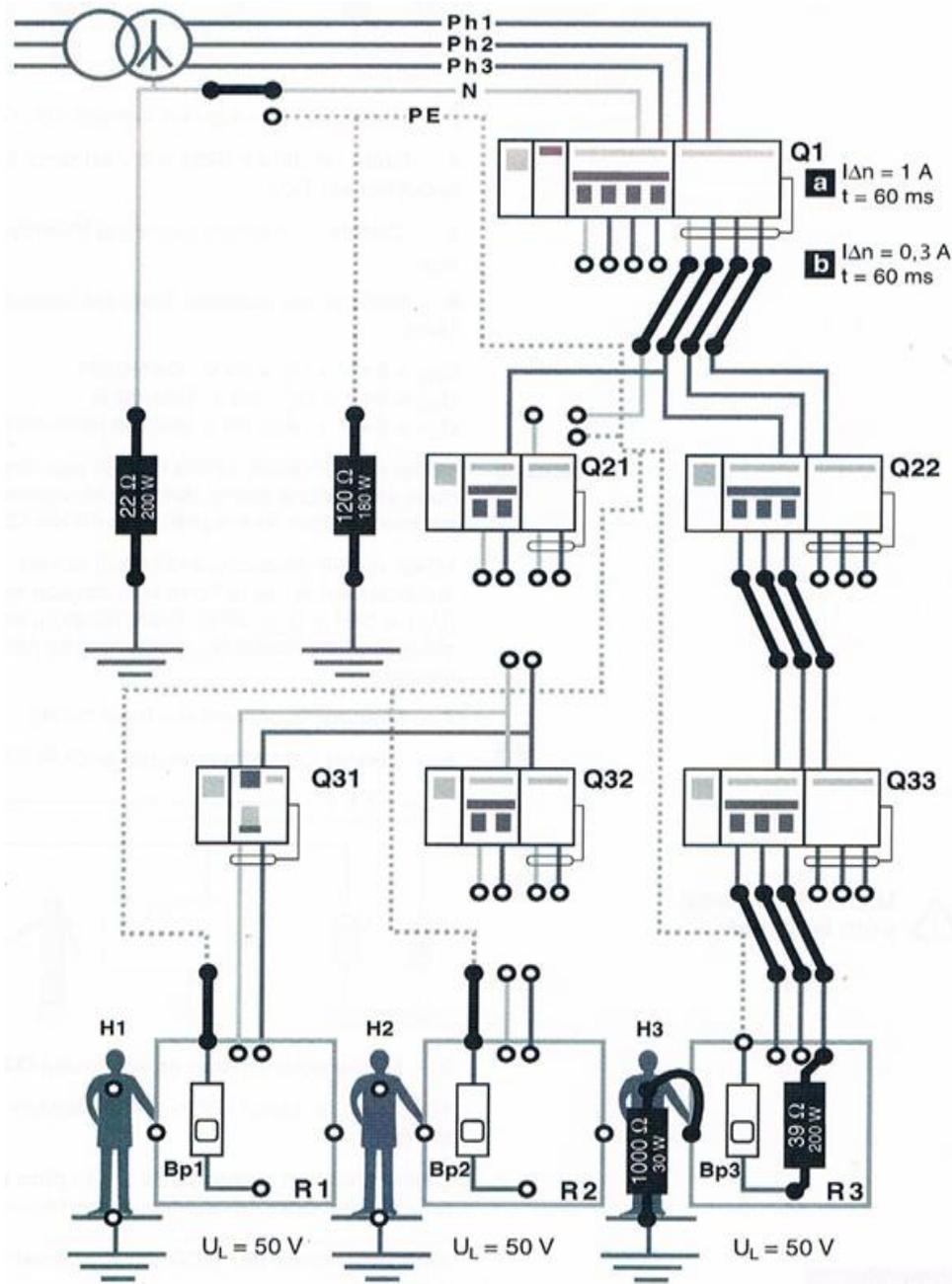


Fig.III.10. Schéma de montage Manipulation 2 SLT TT [8]

**Expérience A :**

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2- Réaliser le montage correspondant à la manipulation 02
- 3- Ajuster les seuils du différentiel de Q1à:  $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$  et  $t = 60 \text{ ms}$

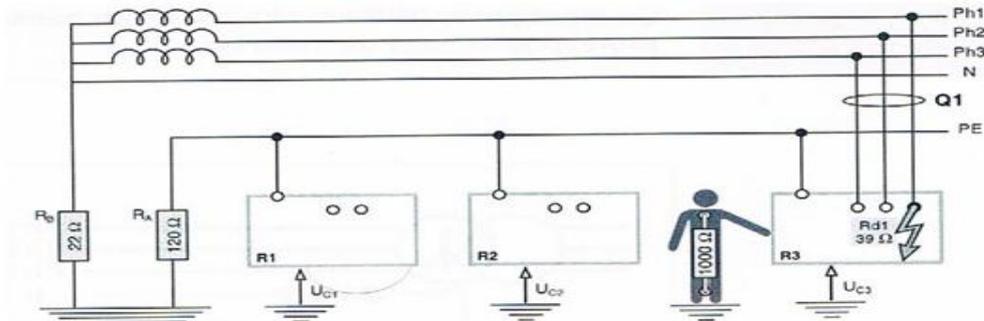


Fig.III.11. Schéma équivalent de la figure III.10 [8]

- 4- Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5- Créer un défaut dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3.
- 6- Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre:
  - $U_{C3} = 85 \text{ V} > U_L \text{ du local 3} = 50 \text{ V}$ : **DANGER**
  - $U_{C2} = 85 \text{ V} > U_L \text{ du local 2} = 50 \text{ V}$  : **DANGER**
  - $U_{C1} = 85 \text{ V} > U_L \text{ du local 1} = 50 \text{ V}$  : **DANGER**
- 7- Calculer le courant de défaut  $I_d$ , et vérifier les valeurs de  $U_C$  mesurée et  $U_C$  calculée :

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{39 + 22 + 120} = 0.701 \text{ A} \dots \dots \dots \text{(III.5)}$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 0.701 \times 120 = 84.19 \text{ V} \dots \dots \dots \text{(III.6)}$$

**Expérience B :**

8. Ouvrir Q1.
- 9 – Régler le différentiel de Q1 à :
 
$$\frac{U_{L\text{mini}}}{R_A} \leq \frac{50}{120}, \text{ soit : } I_{\Delta n} \leq 0.42 \text{ A et } t = 60 \text{ ms. On fixera } I_{\Delta n} = 0.3 \text{ A}$$

- 10- Fermer Q1.
- 11- Créer le défaut en appuyant sur Bp3:
- 12- Il y a déclenchement de Q1; **la protection est donc assurée** dans tous les locaux.

**Conclusion**

Pour une valeur de  $R_A$  donnée (elle ne peut être choisie mais éventuellement améliorée), on doit avoir dans une installation:

$$I_{\Delta n \max} \leq \frac{U_L \text{ minimum des locaux d installation}}{R_A}$$

### III.3.1.3. SLT TT Manipulation 03

#### a) Objectif

- L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection
- Choix de la valeur  $R_A$  selon le DDR existant.

#### b) Schéma de montage et manipulation :

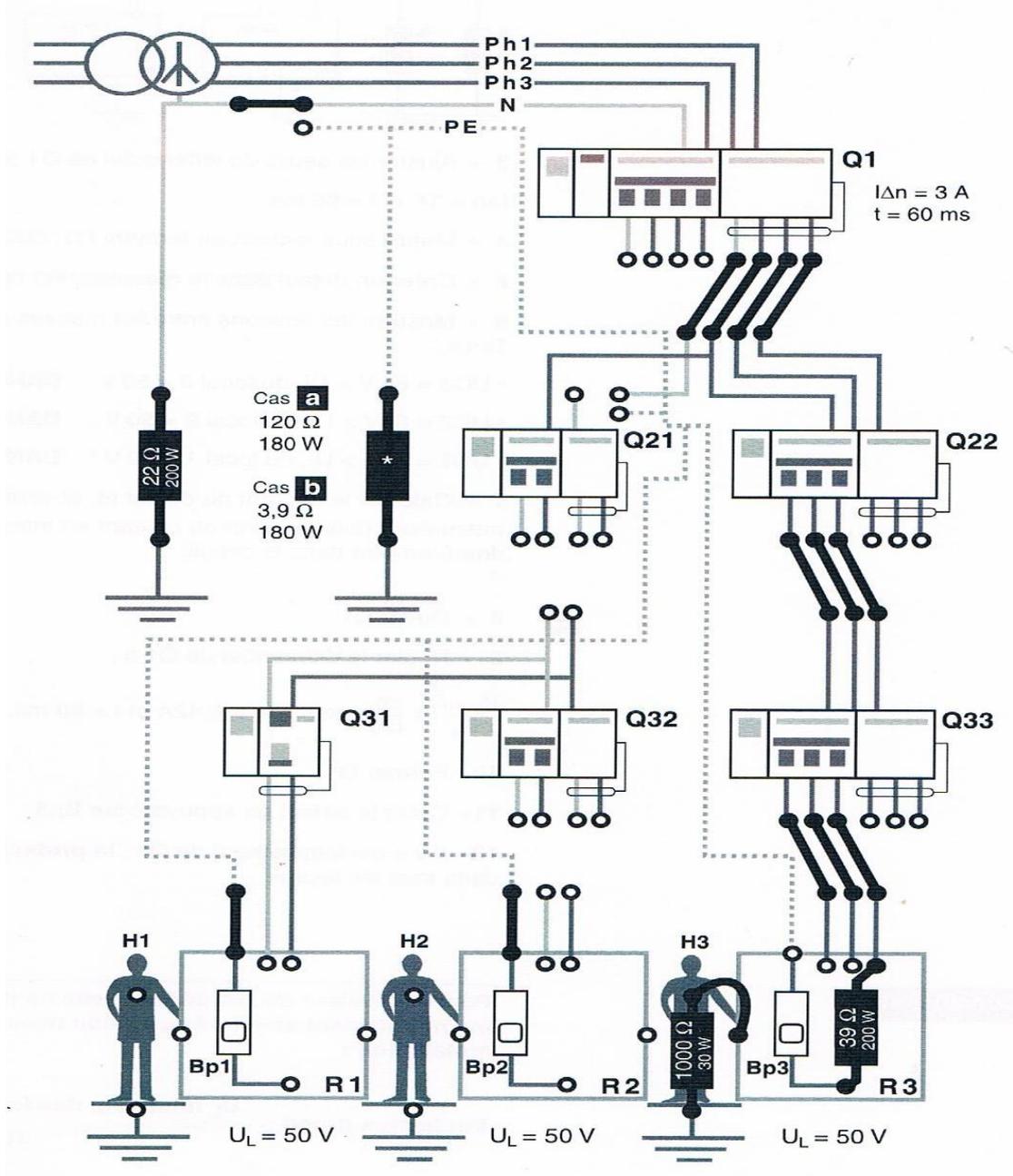


Fig.III.12. Schéma de Liaison à la Terre TT Manipulation 03 [8]

**Expérience A :**

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2- Réaliser le montage correspondant à la manipulation 3.

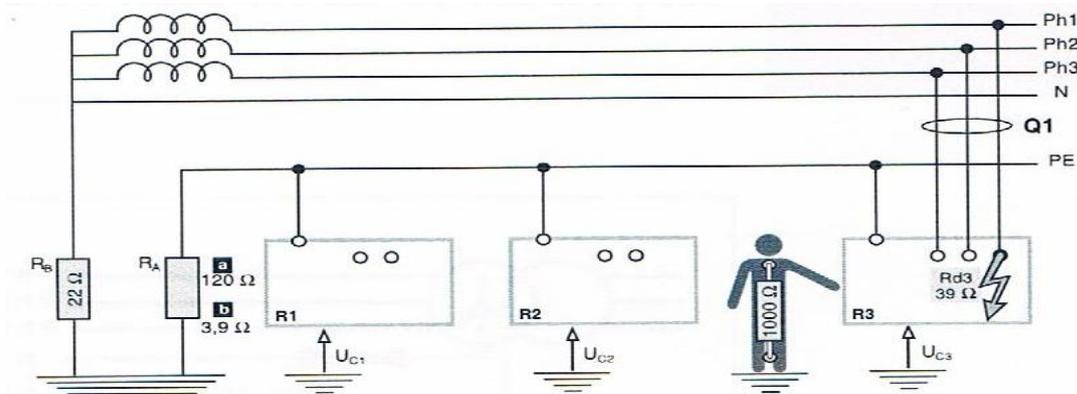


Fig.III.13. Schéma équivalent de la figure III.12 [8]

- 3 – Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :  $I_{\Delta n} = 3 \text{ A}$  et  $t = 60 \text{ ms}$
- 4- Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5 – Créer un défaut dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3.
- 6 – Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre:

- $U_{C3} = 85 \text{ V} > U_L$  du local 3 = 50 V : **DANGER**

- $U_{C2} = 85 \text{ V} > U_L$  du local 2 = 50 V : **DANGER**

- $U_{C1} = 85 \text{ V} > U_L$  du local 1 = 50 V : **DANGER**

- Vérifier ces mesures par calcul du courant de défaut  $I_d$ .

$$\bullet I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{39 + 22 + 120} = 0.701 \text{ A} \dots\dots\dots \text{(III.7)}$$

$$\bullet U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 0.701 \times 120 = 84.19 \text{ V} \dots\dots\dots \text{(III.8)}$$

**Expérience B :**

- 7- Ouvrir Q1.
- 8- Remplacer  $R_A = 120 \Omega$  par  $R_A = 3,9 \Omega$  (200W).
- 9 - Fermer Q1.
- 10- Créer le défaut en appuyant sur Bp3.
- 11- Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre :

- $U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = 8 \text{ V}$  : **pas de danger**

Vérifier ces mesures par calcul du courant de défaut  $I_d$ .

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{39 + 22 + 3.9} = 1.956 \text{ A} \dots\dots\dots \text{(III.9)}$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 1.956 \times 3.9 = 7.631V \dots \dots (III.10)$$

c) **Conclusion :** Pour une valeur de  $I_{\Delta n}$  choisie, la protection est efficace à condition que la prise de Terre des masses d'utilisation ( $R_A$ ) ait une valeur :

$$R_A \leq \frac{U_L \text{ minimum des locaux d'installation}}{I_{\Delta n}}$$

**III.3.1.4. SLT TT Manipulation 04**

a) **Objectif :**

Déclenchement par des DDR placés à divers niveaux.

b) **Schéma de montage et manipulation :**

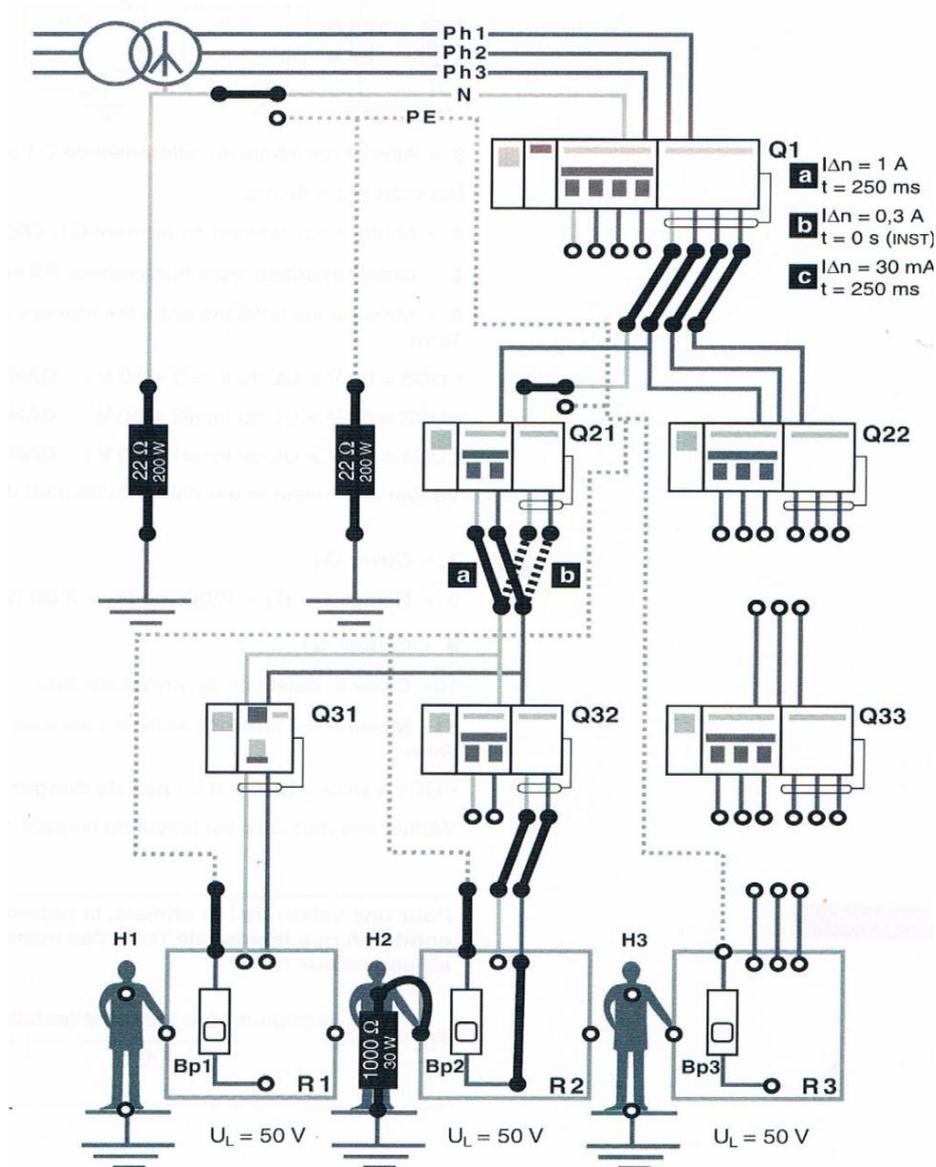


Fig.III.14. Schéma de montage SLT TT Manipulation 4[8]

**Expérience A :**

- 1-Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2-Réaliser le montage correspondant à la manipulation 4
- 3-Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :  $I_{\Delta n} = 1A$  et  $t = 250$  ms
- 4-Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.
- 5-Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2.

-Le disjoncteur différentiel Q32 s'ouvre.

Il y a sélectivité entre le DDR Q32 (instantané) et le DDR Q1 (temporisé à 250 ms).

On obtient ainsi une **protection sélective**.

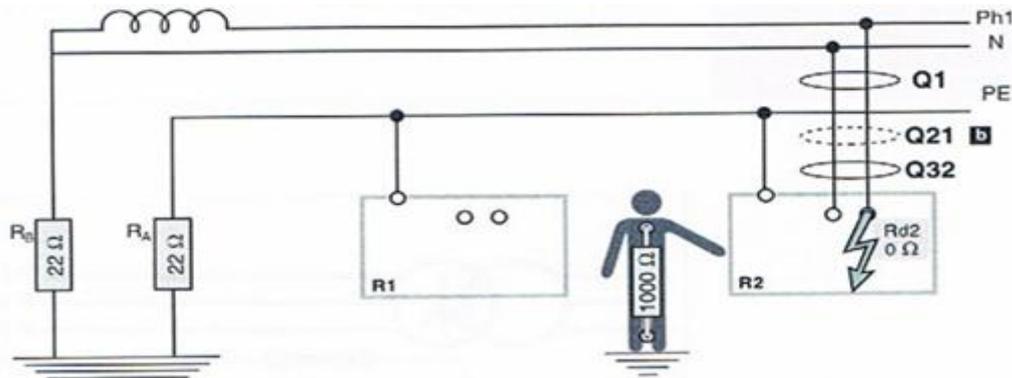


Fig.III.15. Schéma équivalent de la figure III.14[8]

- 6- Câbler le DDR de Q21, et régler le temps de déclenchement de Q1 à 0 (position INST).

**Expérience B :**

- 7- Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2:

-un des disjoncteurs Q32, Q21 ou Q1 s'ouvre, au hasard des dispersions des courbes de disjonction de chaque appareil.

Il n'y a pas de sélectivité entre les DDR Q32, Q21 et Q1, tous instantanés.

**Expérience C :**

- 8 - Réaliser le montage de l'expérience A.

Ajuster les seuils de Q1 à :  $I_{\Delta n} = 30$  mA et  $t = 250$  ms

- 9- Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2:

-Q32 s'ouvre avant Q1

Le déclenchement temporisé de Q1 permet la sélectivité entre Q32 et Q1.

**c) Conclusion:**

Un **DDR** temporisé doit toujours être associé à un **DDR** instantané en aval.

### III.3.1.5. SLT TT Manipulation 05

#### a) Objectif

Déterminer le seuil de DDR pour éviter le risque d'incendie.

#### b) Schéma de montage et manipulation :

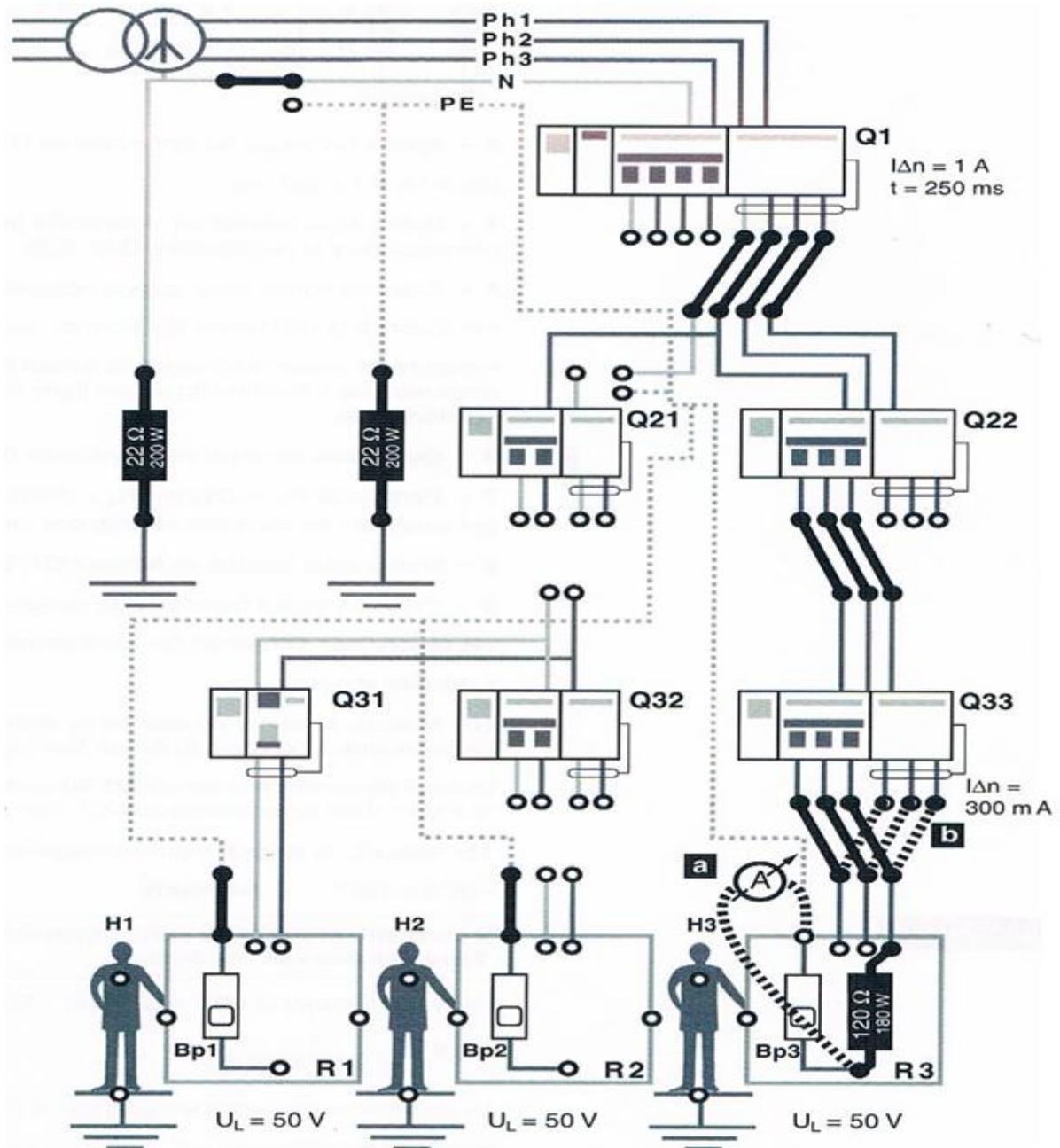


Fig.III.15. Schéma de montage SLT TT Manipulation 5[8]

#### Expérience A :

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2- Réaliser le montage correspondant à la manipulation 5.

- 3- Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à  $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$  et  $t = 250 \text{ ms}$
- 4- Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5- Créer un défaut de  $120 \Omega$  dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3:
  - le disjoncteur Q33 ne s'ouvre pas.
  - calculer le courant de défaut  $I_d$ .

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 120} = 0.774 \text{ A} \dots \dots \dots (\text{III.11})$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 0.774 \times 22 = 17.036 \text{ V} \dots \dots \dots (\text{III.12})$$

- 6- Placer un ampèremètre aux bornes de Bp3 et mesurer le courant de fuite à la Terre:
  - $I_d = 800 \text{ mA}$  : **DANGER D'INCENDIE** puisque  $I_d > 500 \text{ mA}$   
( $500 \text{ mA}$  = courant limite pouvant provoquer l'incandescence du point de contact de deux pièces conductrices).

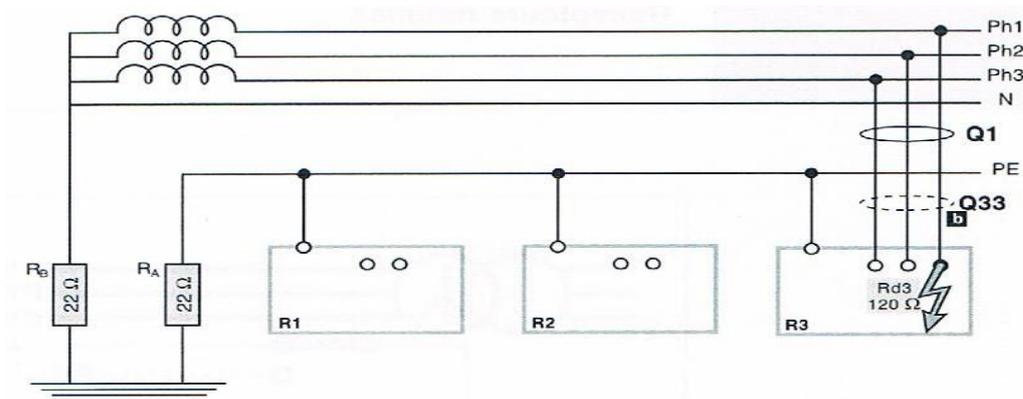


Fig.III.16 Schéma équivalent de la figure III.15 [8]

### Expérience B :

- 7 -Débrancher l'ampèremètre.
- 8-Ouvrir Q33.
- 9-Brancher R3 sur le DDR de Q33, sensibilité sur  $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$ .
- 10-Fermer Q33.
- 11-Créer le défaut de  $120 \Omega$  dans le récepteur R3 en fermant Bp3:
  - le disjoncteur différentiel Q33 s'ouvre.

### c) Conclusion:

Les récepteurs placés dans les locaux présentant des risques d'incendie devront être protégés par des DDR de seuil  $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ . (article 482.2.10 de la norme NF C 15-100).

III.3.1.6. SLT TT Manipulation 06 :

a) Objectif :

Protection en cas de récepteurs mobiles

b) Schéma de montage et manipulation :

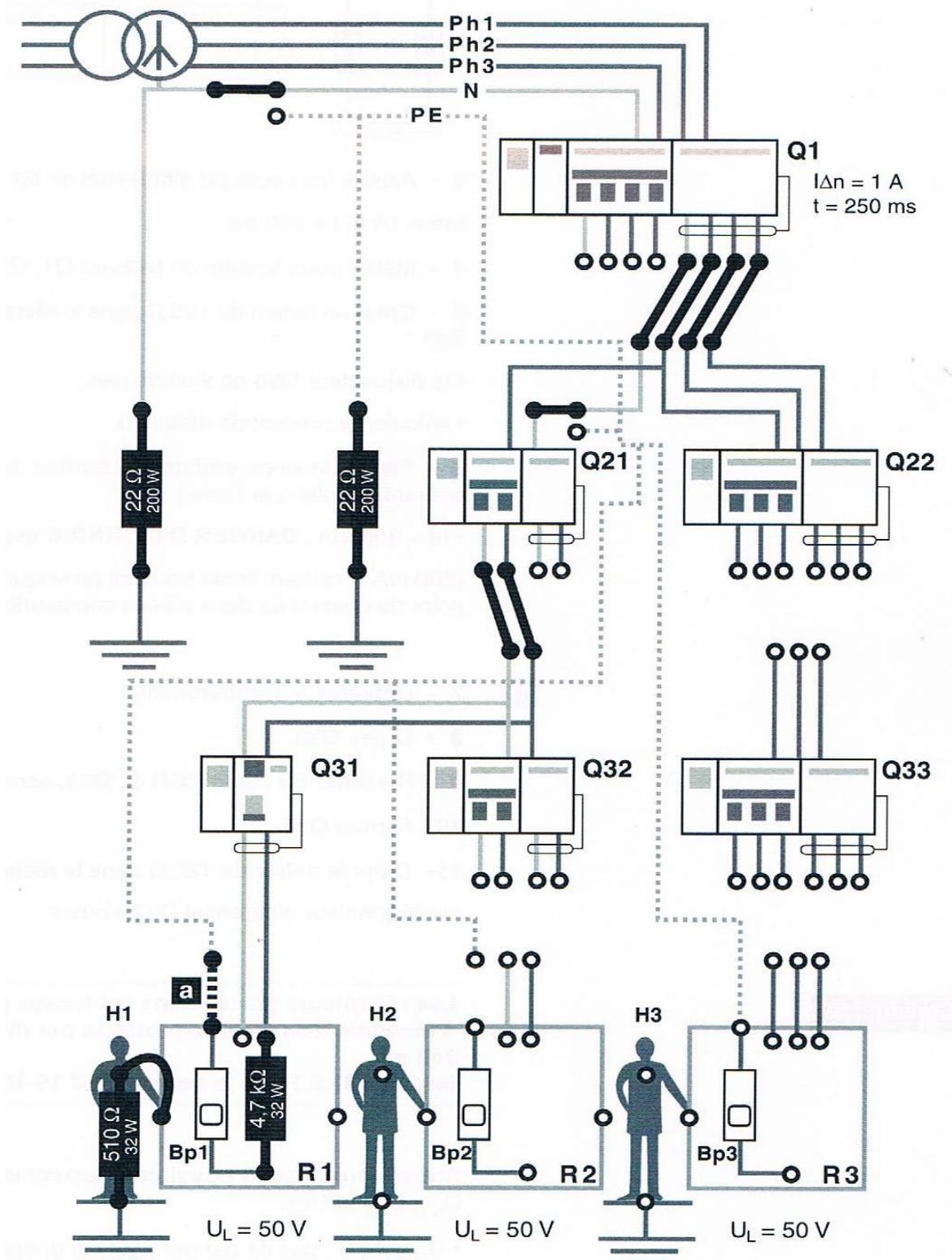


Fig.III.17. Schéma de montage SLT TT Manipulation 6[8]

**Expérience A :**

- 1-Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2-Réaliser le montage correspondant à la Manipulation 6.
- 3- Mettre sous tension en fermant Q1, Q21, Q31.
- 4 – Créer un défaut de 4,7 kΩ dans le récepteur R1 en fermant Bp1:
  - l'interrupteur différentiel Q31 s'ouvre : Il y a donc protection
  - calculer le courant de défaut  $I_d$ .

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 4700} = 0.0267A \dots \dots \dots (III.13)$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 0.0267 \times 22 = 0.5889V \dots \dots \dots (III.14)$$

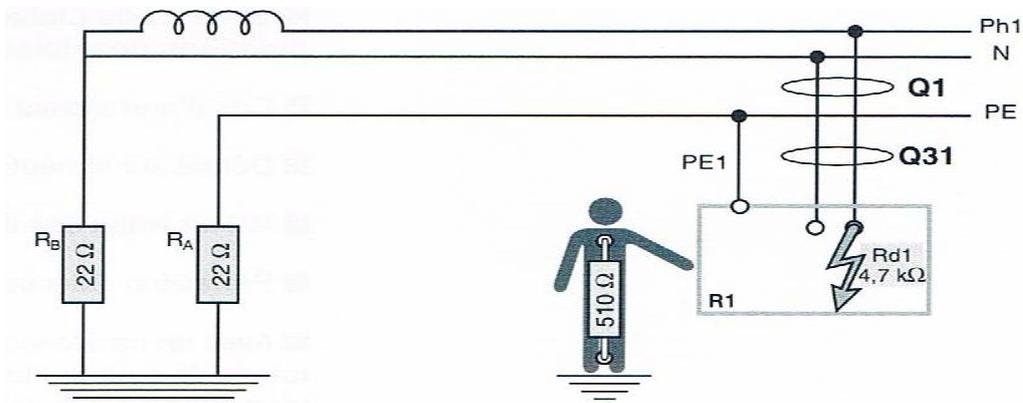


Fig.III.18 Schéma équivalent de la figure III.17[8]

**Expérience B :**

- 5- Supprimer la mise à la Terre de la masse du récepteur R1 en retirant le pont PE1. (Simulation du câble détérioré).

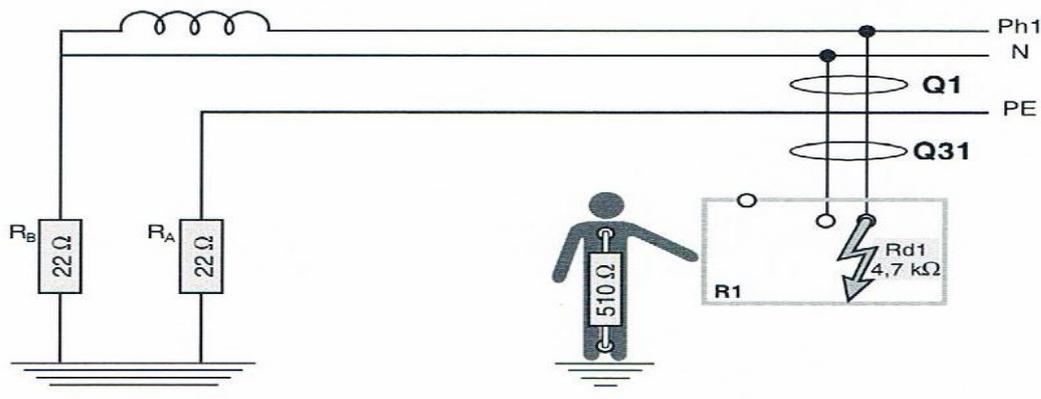


Fig.III.19. Schéma équivalent de la figure III.17 [8]

6- Créer un défaut de  $4,7 \text{ k}\Omega$  dans le récepteur R1 en fermant Bp1 :

- l'interrupteur différentiel Q31 ( $I_{\Delta n} = 10\text{mA}$ ) s'ouvre : Il y a aussi protection.

- calculer le courant de défaut  $I_d$

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 4700} = 0.0267\text{A} \dots \dots \dots (\text{III.15})$$

$$U_C = I_d \times R_A \text{ Donc } U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = I_d \times R_A = 0.0267 \times 22 = 0.588\text{V} \dots \dots \dots (\text{III.16})$$

### c) Conclusion:

Un DDR seuil 10mA assure la protection des personnes même en cas de coupure du câble de mise à la Terre des récepteurs mobiles.

#### Remarque:

Imposition normative de DDR à haute sensibilité pour les récepteurs mobiles, à condition que le courant  $I_n$  soit inférieur ou égal à 32 A.

## III.4. Conclusion

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

1. Une protection par DDR est nécessaire pour assurer la sécurité.
2. L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais n'est pas suffisante pour assurer la protection. Pour que la protection soit efficace il faut bien calculer:
  - ✓ le seuil du courant différentiel résiduel  $I_{\Delta n}$ , pour une valeur  $R_A$  donnée;
  - ✓ le seuil de la résistance de ligne du raccordement des masses  $R_A$ , pour une valeur de  $I_{\Delta n}$  choisie.
3. Un DDR temporisé doit toujours être associé à un DDR instantané en aval.
4. Les récepteurs placés dans les locaux présentant des risques d'incendie devront être protégés par des DDR de seuil  $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ .
5. Un DDR seuil 10mA assure la protection des personnes même en cas de coupure du câble de mise à la Terre des récepteurs mobiles.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

### Conclusion Générale

L'objectif de notre travail est la maîtrise du régime de neutre TT, pour cela nous avons, d'abord, fait une étude théorique des différents types de schémas de liaisons à la terre à savoir TT, TNC, TNS et IT.

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.

Pour arriver à mettre en œuvre une protection des différents récepteurs d'une installation électrique, il faut bien choisir quel type de schémas de liaisons à la terre doit-on utiliser. Le choix des schémas des liaisons à la terre se fait selon les critères suivants:

- 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.

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 SLT dans une même installation, ce qui est une garantie pour obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.

D'après les résultats expérimentaux, des six manipulations effectuées sur le banc d'essais utilisé "SLTXM200", on peut déduire que:

1. Une protection par DDR est nécessaire pour assurer la sécurité.
2. L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais n'est pas suffisante pour assurer la protection. Pour que la protection soit efficace il faut bien calculer:
  - le seuil du courant différentiel résiduel  $I_{\Delta n}$  , pour une valeur  $R_A$  donnée .
  - le seuil de la résistance de ligne du raccordement des masses  $R_A$  , pour une valeur de  $I_{\Delta n}$  choisie.
3. Un DDR temporisé doit toujours être associé à un DDR instantané en aval.
4. Les récepteurs placés dans les locaux présentant des risques d'incendie devront être protégés par des DDR de seuil  $I_{\Delta n} \leq 300$  mA .
5. Un DDR seuil 10mA assure la protection des personnes même en cas de coupure du câble de mise à la Terre des récepteurs mobiles.

**RÉFÉRENCE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## **BIBLIOGRAPHIE**

[1] Oubelaid H., `` Intégration des D-FACTS aux réseaux électrique de distribution``, Mémoire de master en Génie électrique Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014.

[2] Boughezala M., ``Généralité sur la protection électrique``, Mémoire de master en Génie électrique Université de Biskra, 2013.

[3] Marjorie C., ``Stabilité du réseau électrique de distribution. Analyse du point de vue automatique d'un système complexe``, Thèse de doctorat en Science et Technologies de l'Information et de la Communication Université Paris-Saclay, 2016.

[4] Chibane A., `` Etude et dimensionnement du nouveau poste de livraison 30kv à Sonatrach de Bejaia``, Mémoire de Master en électrotechnique Université de Abderrahmane Mira-Bejaia ,2014.

[5] <https://fr.scribd.com/document/65802373/Regime-Du-Neutre>

[6] <https://fr.scribd.com/document/335223733/ELT-FLY-BT-CC-030-v1-01-pdf>

[7][http://ww2.cnam.fr/physique/DOCUMENTS/SLT/LES\\_REGIMES\\_DES\\_NEUTRES\\_2008\\_JJB.pdf](http://ww2.cnam.fr/physique/DOCUMENTS/SLT/LES_REGIMES_DES_NEUTRES_2008_JJB.pdf)

[8] brochure de bondonnai de schémas de liaisons à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", Schneider Electric

# **ANNEXES**

# **ANNEXE 1**

## **Fonctionnement d'un CPI**

### **1.1 Installation d'un Contrôleur Permanent d'Isolement**

Dans un réseau à neutre isolé, il faut un dispositif qui contrôle en permanence le niveau d'isolement de façon à ne pas laisser perdurer le défaut. Ceci pour éviter une détérioration du matériel en défaut et éviter un déclenchement dans l'éventualité d'un deuxième défaut d'isolement. Le premier défaut doit être recherché et éliminé par le personnel d'exploitation.

Le contrôleur permanent d'isolement réalise la fonction de contrôle de l'isolement. Il applique une tension continue entre le neutre et la terre, ou entre une phase et la terre si le neutre n'est pas accessible. Cette tension crée dans les résistances d'isolement, un courant de fuite indépendant des capacités des câbles (en courant continu, les condensateurs ont une impédance infinie). En cas de défaut d'isolement, un courant continu traverse le contrôleur qui provoque une alarme.

### **1.2 Installation d'un limiteur de surtension**

Sa fonction est d'écouler à la terre les surtensions dangereuses susceptibles d'apparaître comme un défaut à la terre dans le poste de transformation ou un amorçage entre enroulements HT et BT d'un transformateur.

Il est installé entre le neutre et la terre du transformateur ou entre une phase et la terre si le neutre n'est pas accessible.

### **1.3 Recherche du premier de faut d'isolement**

Rappelons, pour mémoire, que la première méthode employée pour la recherche de défaut était : « la recherche par mise hors tension successive des départs ». Elle consiste à ouvrir successivement les départs en commençant pas les départs principaux. Lors de l'ouverture du départ en défaut, le courant injecté par le CPI

Diminue fortement, repassant en-dessous du seuil de détection. L'alarme sonore généralement commandée par le CPI s'interrompt alors, et permet à distance de connaître le départ défectueux. Cette procédure qui nécessite l'interrompre l'exploitation sur chaque départ est contraire à la philosophie d'utilisation du schéma IT qui est la continuité de service. Bien utilisée par le passé, elle disparaît

progressivement avec le développement des nouveaux systèmes de recherche de défaut qui permettent une recherche sous tension (sans coupure).

La localisation sous tension est réalisée à l'aide d'une génératrice basse fréquence. Ce générateur peut être intégré au CPI ou être un élément indépendant (suivant les fabricants). Il injecte un courant basse fréquence (entre 2 et 10Hz) entre le neutre et la terre ou une phase et la terre, si le neutre n'est pas accessible. Lors d'un défaut d'isolement sur un départ, un courant de fuite basse fréquence s'écoule vers la terre.

Ce courant peut être détecté :

- manuellement à l'aide d'une pince ampérométrique reliée à un amplificateur sélectif accordé à la fréquence du générateur ; on teste alors chaque départ, jusqu'à ce que l'amplificateur détecte un courant.

- par des transformateurs tores installés sur chaque départ ; ceux-ci sont reliés à un commutateur de sélection (DLD : dispositif de localisation de défaut) qui détermine le départ en défaut. Le commutateur est relié à un amplificateur sélectif accordé à la fréquence du générateur.

Notons que l'on ne peut pas utiliser une injection de courant continu pour localiser un défaut à la terre car un transformateur tore ou une pince ampérométrique ne peuvent détecter que du courant alternatif.

L'amplificateur sélectif est généralement capable de discriminer un courant résistif dû à un défaut d'isolement d'un courant capacitif d'un départ sain (en cas de défaut, les départs sains voient un courant capacitif proportionnel à la capacité des câbles). C'est le cas pour l'appareillage Schneider de la gamme Vigil ohm par exemple. Ils sont de plus insensibles aux perturbations harmoniques.

