

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 :...../2023



MEMOIRE

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

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : BERRAMDANE Yasser et HIMOURA Chems-eddine

Thème

Etude expérimentale du Régime de neutre TT

Soutenu publiquement, le 19/06/2023, devant le jury composé de :

M BOULOUH Messaoud	Professeur	Univ. Guelma	Président/ Encadreur
M FERAGA Chemseddine	MCA	Univ. Guelma	Examineur Principal
Mme GEROUJ Assia	MCA	Univ. Guelma	Examineur
Mme MERAIHIA Rachida	Enseignante	CFP A.H. Oumeddour Guelma	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Notre gratitude va au Tout-Puissant pour nous avoir accordé cette opportunité.

Nous avons besoin de force pour atteindre nos objectifs et mener à bien nos tâches.

Notre gratitude va au Professeur BOULOUH M., qui nous a guidé tout au long de ce projet. Nous tenons à lui exprimer notre sincère reconnaissance pour sa disponibilité sans faille, ses précieux conseils, son attitude patiente, son soutien constant et ses encouragements indéfectibles. Sans sa direction dévouée, cette thèse n'aurait pas vu le jour.

Nous voulons à exprimer ma gratitude aux professeurs de l'Université de Guelma, en particulier ceux du département de génie électrotechnique et automatique pour leur patience et leur soutien sans faille.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur amour indéfectible, leurs précieux conseils et leur soutien inconditionnel, qu'il soit émotionnel ou financier, qui nous a permis de poursuivre les études souhaitées et de terminer *ce mémoire*.

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

Dédicace

Je Dédie ce travail.

*A mes chers 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 : Feteh, Jelel, Nasrou,
Messaoud, Achraf, Aymen, Chouaib.*

A mes chers amis Aïssa, Boutheyra, Aziz

A tous ce qui me sont chers.

A Mon binôme Chemssou.

Yasser

Dédicace

Je Dédie ce travail.

*A mes chers 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 : Aziz, Houcine,
Chouaib, Bilal, Aïssa.*

A tous ce qui me sont chers.

A Mon binôme Yasser.

Chemssou

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'Isolation (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 التوصيل الأرضي TT (TT SLT أو نظام TT المحايد) والذي يهدف، مثل بقية مخططات TN و IT ، إلى حماية الأشخاص والمعدات من خلال التحكم في عيوب العزل. هذه الأخيرة، مهما كانت أسبابها، تشكل مخاطر على سلامة الانسان وأمن الممتلكات وتوافر الطاقة الكهربائية

يتم عرض ومناقشة النتائج التجريبية للتلاعبات التي تم إجراؤها، على منصة الاختبار التعليمي لمخطط التوصيل الأرضي SLT-TT ، مع البحث التلقائي عن الأخطاء "SLTXM200" ، والتي تم إجراؤها داخل مركز عبد الحق أومدور للتدريب المهني في قالمة.

الكلمات الدالة:

الشبكات الكهربائية. مخططات التوصيل الأرضي (SLT, IT, TT و TN)، والجهاز التفاضلي المتبقي (DDR) وحدة التحكم في العزل الدائم (CPI) ، تيار الخلل، التيار التفاضلي المتبقي ، الجهد المحدد ، الحد من الجهد .

LISTE DE FIGURES :

Chapitre 01 : généralités sur les mises à la terre

Figure.I.1 : Notion de résistivité.....	4
Figure. I.2 : prise de terre avec trous profonds.....	6
Figure. I.3 : Ajout de l'eau de la mer morte au trou du système de mise à la terre.....	7
Figure. I.4 : Ajout de l'eau de la Mer Morte avec du charbon et de la limaille de fer dans le trou du Système de mise à la terre.....	7
Figure I.5 : Tension de pas.....	7
Figure I.6 : Contact direct.....	8
Figure I.7 : Contact indirect.....	8
Figure. I.8 : Mise à la terre des pylônes	13
Figure.I.9 : Mise à la terre d'un poste électrique.....	14
Figure. I.10 : Schéma de liaison de neutre en TT.....	15
Figure. I.11 : Schéma de liaison de neutre en TN-C.....	15
Figure. I.12 : Schéma de liaison de neutre en TN-S.....	16
Figure. I.13 : Schéma de liaison de neutre en TN-C-S	16
Figure. I.14 : Schéma de liaison de neutre en IT	16

CHAPITRE II : Régimes de neutre

Figure II.1 : Signification des deux lettres utilisées en SLT.....	24
Figure II.2 : La fonction d'un schéma SLT	25
Figure II.3 : Régime TT, lors d'un défaut d'isolement.....	26
Figure II.4 : La fonction d'un schéma SLT	27
Figure II.5 : Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement.....	28
Figure II.6 : La fonction d'un schéma SLT	29
Figure II.7 : Régime IT, lors d'un défaut d'isolement.....	30
Figure II.8 : Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement	31
Figure II.9 : Risque d'incendie.....	32

Figure II.10: Comparaison entre les différents SLT.....	35
--	----

CHAPITRE III – Résultats expérimentaux

Fig.III.1 : Schéma TT/TN et l'autre face celle du Schéma IT	39
Fig.III.2 : Partie inférieure du banc d'essais	40
Fig.III.3 : Protection et commande du banc.....	40
Fig.III.4 : Face Schéma SLT TT.....	42
Fig.III.5 : Déclenchement au premier défaut.....	44
Fig.III.6 : Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat.....	44
Fig.III.7 : Schéma de montage Manipulation 01 SLT TT.....	46
Fig.III.8 : Schéma équivalent de la figure III.7	47
Fig.III.9 : Schéma équivalent de la figure III.7 ($R_A=39\Omega$).....	48
Fig.III.10 : Schéma de montage Manipulation 2 SLT TT.....	49
Fig.III.11 : Schéma équivalent de la figure II.10	50
Fig.III.12 : Schéma de Liaison à la Terre TT Manipulation 03.....	52
Fig.III.13 : Schéma équivalent de la figure III.12	53
Fig.III.14 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 4.....	55
Fig.III.15 : Schéma équivalent de la figure III.14.....	56
Fig.III.16 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 5.....	57
Fig.III.17 : Schéma équivalent de la figure III.15.....	58
Fig.III.18 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 6.....	59
Fig.III.19 : Schéma équivalent de la figure III.17	60
Fig.III.20 : Schéma équivalent de la figure III.17.....	60

Liste de Tableaux

Tableau.I.1 : La résistivité de différents types de sol.....	5
Tableau I.2 : Constitution d'une prise de terre par câblette(s) uniquement.....	11
Tableau I.3 : Constitution d'une prise de terre par grille.....	11

Sommaire

Introduction Générale : 1

Chapitre I - Généralités sur les mises à la terre

I.1. Introduction :	3
I.2. Définition et but d'un réseau de terre :	3
I.3. Elévation de potentiel autour d'un réseau de terre :	3
I.4. Caractéristiques du sol :	4
I.4.1. Résistance et résistivité de la terre :	4
I.4.2. Propriétés thermiques du sol :	5
I.4.3. Amélioration de la résistivité du sol :	6
I.5. Tension de pas :	7
I.6. Tension de touche:	8
I.6.1. Contact direct :	8
I.6.2. Contact indirect :	8
I.7. Système de mise à la terre :	9
I.8. Critères et contraintes à respecter dans la conception des installations de mise à la terre : ..	9
I.9. Différents types de mise à la terre :	9
I.9.1. Prise de terre par câblette seule :	10
I.9.2. Prise de terre par piquet :	10
I.9.3. Prise de terre par grille :	11
I.9.4. Prise de terre intégrant des procédés chimiques :	11
I.10. Règles pour la mise en œuvre :	12
I.11. Différents équipements mis à la terre :	13
I.11.1. Mise à la terre des pylônes :	13
I.11.2. Mise à la terre des postes :	14
I.11.3. Mise à la terre des masses :	14
I.11.4. Schéma de liaison à la terre (régime de neutre) en basse tension BT :	15
I.12. Essais de type sur prises de terre :	17
I.12.1. Contrôles préliminaires :	17
I.12.2. Test au brouillard salin :	17
I.12.3. Essai de tenue à l'onde de foudre :	17
I.12.4. Essai de mise en court-circuit :	18
I.13. Amélioration de la résistance d'une mise à la terre :	18
I.14. Liaisons équipotentielles :	18
I.15. Conclusion :	19

Chapitre II - Régimes de neutre

II.1. Introduction :	20
II.2. Causes des défauts d'isolement :	20
II.3. Risques liés au défaut d'isolement :	22
II.4. Les SLT et la protection des personnes :	23
II.4.1. Définitions :	23
II.4.2. Terminologies :	23
II.4.3. Classification des régimes de neutre :	24
II.4.3.1. Régime de neutre TT :	24
II.4.3.2. Régime de neutre TN :	27
II.4.3.3. Régime de neutre IT :	29
II.5. Les SLT et les risques d'incendie et de non disponibilité de l'énergie :	32
II.5.1. Risque d'incendie.....	32
II.5.2. Risque de non disponibilité de l'énergie	33
II.6. Critères de choix des schémas des liaisons à la terre :	34
II.6.1 les protections contre les effets de l'électrocution :	34
II.6.1.1. Protection contre les chocs électriques :	34
II.6.1.2. Protection contre le risque d'incendie d'origine électrique :	34
II.6.1.3. Protection contre les surtensions :	35
II.6.1.4. Protection contre les perturbations électromagnétiques :	35
II.6.2. Choix des Schémas de Liaison à la Terre :	36
II.6.3. Méthodologie pour choisir les Schémas de Liaison à la Terre :	37
II.7. Conclusion :	38

Chapitre III - Résultats Expérimentaux

III.1. Introduction :	38
III.2. Description de l'ensemble :	38
III.3. Manipulations sur le schéma de Liaison à la Terre TT :	43
III.3.1. Programme des manipulations SLT TT :	45
III.3.1.1. SLT TT Manipulation 01.....	45
III.3.1.2. SLT TT Manipulation 02 :	49
III.3.1.3. SLT TT Manipulation 03.....	51
III.3.1.4. SLT TT Manipulation 04 :	54
III.3.1.5. SLT TT Manipulation 05	57
III.3.1.6. SLT TT Manipulation 06.....	59
III.4. Conclusion :	61
Conclusion générale	62

Bibliographie

Annexes

Introduction Générale

Introduction Générale :

L'énergie électrique est un facteur primordial du développement du pays. L'Algérie, considérée un des pays en développement, connaît de nombreuses perturbations dans les réseaux de basse tension (la capacité des courants de court-circuit augmentent, foudre, surintensité...etc.), qui ont emmené à la réalisation des moyens de protections les plus fiables.

La protection contre ces perturbations nécessite généralement un système de mise à la terre pour l'écoulement rapide des courants de défauts dans le sol et assurer un fonctionnement adéquat des installations électriques.

En matière d'accidents, l'électricité constitue une cause relativement peu fréquente, mais elle comporte un facteur de gravité important. Le nombre d'accident d'origine électrique est diminué par rapport aux années Soixante (dont 1/10 des accidents graves), les accidents d'origine électrique sont dix fois plus souvent mortelles que l'ensemble des accidents de travail.

La protection des personnes et des biens utilisant de l'énergie électrique est devenue incontournable aujourd'hui depuis les évolutions réglementaires qui ont eu lieu ces dernières années.

Pour pallier ce problème, des schémas de liaison à la terre (SLT), anciennement dénommé « régime de neutre », ont été élaborés pour assurer la protection des personnes et biens contre les défauts d'isolement. Ils constituent une boucle appelée « boucle de défaut » permettant l'écoulement des courants de défaut et ainsi solliciter les dispositifs de protection par coupure automatique. Tout cela, en vue d'éviter les risques d'électrisation, voire d'électrocution.

Ce mémoire, s'inscrit dans le cadre d'étude des SLT. Il est formé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre des généralités sur les différents types des mises à la terre et les critères et contraintes à respecter dans la conception des installations de mise à la terre seront exposés.

Le deuxième chapitre, sera dédié à l'étude théorique des différents schémas de liaison à la terre, à savoir le schéma TT, le schéma IT et le schéma TN. Le chapitre commence par une analyse des causes et des risques potentiels liés aux défauts d'isolement. Ensuite, les différentes mesures prises pour protéger les individus contre les chocs électriques, les surtensions, les perturbations électromagnétiques et autres types de défauts seront abordés.

Le troisième chapitre de ce mémoire sera consacré à la partie expérimentale réalisée au sein de l'Institut National Spécialisé à la Formation Professionnelle (INSFP) Oumeddour Abdelhak

W. Guelma. Les expériences ont été réalisées sur un banc d'essai didactique des schémas de liaison à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", de la société Schneider Electric. Dans cette étude, nous nous sommes limités juste au régime TT.

Ce mémoire sera achevé par une conclusion générale, dans laquelle nous résumons les principaux résultats obtenus.

Chapitre I

Généralités sur les mises à la terre

I.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les notions de bases nécessaires à l'analyse de la mise à la terre des installations électriques à fréquence industrielle, en mettant un accent particulier sur les propriétés des sols et des mises à la terre : la résistance de la terre et sa résistivité, ainsi les différentes méthodes d'amélioration.

I.2. Définition et but d'un réseau de terre :

Un réseau de terre est constitué d'un ensemble de conducteurs enterrés, en contact direct avec le sol et reliés électriquement entre eux. D'une manière générale, il a pour but :

- La circulation de courant de défauts dans le sol (foudre, ou surtension, etc.).
- La sécurité des personnes et des animaux.
- La protection des installations de puissance.
- La protection des équipements sensibles.
- Le maintien d'un potentiel de référence.

A fréquence industrielle, l'étude du comportement d'un réseau de terre nécessite l'analyse préalable de la répartition du potentiel dans le sol qui l'entoure. Cette répartition est fonction des caractéristiques électriques du terrain, c'est-à-dire de sa résistivité (dans une moindre mesure sa permittivité aussi), des caractéristiques géométriques du réseau de terre et de la source. La conception d'un réseau de terre doit donc être précédée d'une étude géologique du sol.[1]

I.3. Elévation de potentiel autour d'un réseau de terre :

La circulation du courant dans l'impédance de terre provoque une élévation du potentiel développé entre l'électrode de terre et la terre éloignée.

Par exemple, la connexion au sol des sous-stations prend la forme d'un réseau maillé. Lors d'un défaut, l'environnement du poste subit des gradients de potentiel dont la forme et l'amplitude dépendent de la résistivité du sol et du courant injecté, ainsi que de la présence d'objets métalliques. La montée de potentiel est un critère très important qui permet une sélection optimale des dispositifs de protection, des câbles de communication connectés au poste, qui peuvent supporter toute la montée de potentiel. [3]

I.4. Caractéristiques du sol :

Le sol est composé de plusieurs matériaux dont la proportion va avoir une influence sur chacune de ces grandeurs (notamment l'eau, dont la proportion varie en fonction du temps).

[8]

La résistance d'un système de terre et la répartition du potentiel dans le sol dépendent des caractéristiques électriques du terrain.[4]

Le comportement électrique du sol est caractérisé par les trois grandeurs suivantes :

- **sa résistivité (ρ)** : La résistivité spécifique du sol est l'une des propriétés de conduction les plus importantes, il détermine la résistance d'une prise de terre. [5]

- **sa permittivité(ϵ)** : caractérise son comportement diélectrique. Elle est en fonction de la permittivité propre des différents composants du sol et de leur proportion. [5]

- **sa perméabilité (μ)** : On considère que le sol est constitué de matériaux amagnétiques (ce qui se vérifie toujours en pratique, sauf dans le cas de quelques roches riches en oxyde de fer comme la magnétite). Sa perméabilité relative μ est donc égale à 1. [5]

I.4.1. Résistance et résistivité de la terre :

Le sol (la terre) est constitué de matériaux à faible conductivité. Celle-ci est due aux sels et aux impuretés entre les isolants (oxyde de silice et oxyde d'aluminium).

A cause de la faible conductivité de la terre, tout courant qui passe à travers elle crée une grande chute de tension, ce qui revient à affirmer que le potentiel de la terre n'est pas uniforme.

La résistivité du sol est une quantité variable et la seule manière de la connaître avec précision est de la mesurer. Elle varie en fonction de plusieurs facteurs : la nature des sols, le taux d'impuretés, la salinité, le taux d'humidité, la température, ... [1].

L'ohmmètre ($\Omega.m$) est l'unité de mesure de la résistivité (ρ) du sol. Cette résistance théorique en Ohms équivaut à un cylindre de terre mesurant $1m^2$ sur $1m$ de long. En raison du type de sol et de l'emplacement, la résistivité a une grande variabilité (figure. I.1) [3].

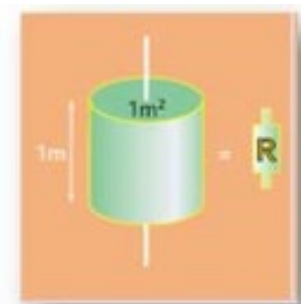


Figure.I.1 : Notion de résistivité.

Le tableau récapitulatif ci-dessous donne une indication sur les résistivités mesurées à 50Hz pour les principaux sols.

Tableau.I.1 : La résistivité de différents types de sol. [5]

Type de sol	Résistivité ρ ($\Omega.m$)	
	Plage de valeurs	Valeur moyenne
Argile, sol tourbeux, sol organique, sol végétal, humus, sol marécageux	2 à 200	40
Argile sablonneuse. argile poussiéreuse, sol blanc, marne sablonneuse	30 à 260	100
Sable argileux et poussiéreux, sol blanc composé d'argile sablonneuse	50 à 600	200
Sable. gravier. sol blanc composé de sable et de gravier	50 à 3000	400
Sable et gravier sec au-dessous de 3 m de profondeur	50 à 50 000	1000
Sol pierreux	100 à 8000	2000
Sol rocheux	1000 à 20 000	10 000
béton : 1 part de ciment + 3 de sable	50 à 300	150
1 part de ciment + 5 parts de gravier	100 à 8 000	400

La résistance d'une mise à la terre est directement proportionnelle à la résistivité du sol, si celle-ci peut être considérée comme homogène. Un autre facteur dont il faudra tenir compte est la caractéristique de l'électrode de mise à la terre : la matière, la forme, la profondeur dans le sol, le nombre, la structure, ... [1].

I.4.2. Propriétés thermiques du sol :

Lorsqu'un courant électrique traverse la terre, il génère de la chaleur par effet Joule, augmentant ainsi la température globale du milieu. La quantité de puissance dissipée par unité de volume dans le sol peut être illustrée comme suit [3] :

$$P = E \cdot J = \rho J^2 = \frac{E^2}{\rho} \left(\frac{W}{m^3} \right)$$

Où :

E (v/m) : le champ électrique dans le sol.

J (A/m²) : la densité du courant.

ρ ($\Omega.m$) : la résistivité du sol.

I.4.3. Amélioration de la résistivité du sol :

Dans certains cas, la résistivité du sol peut être si élevée que l'obtention d'une résistance satisfaisante à l'aide d'électrodes de terre est une tâche ardue.

Pour remédier à cela, une gamme de substances telles que le charbon, la limaille de fer et des sels comme le sulfate de magnésium, le sulfate de cuivre, le chlorure de sodium, le chlorure de calcium peuvent être ajoutés pour le traitement chimique. D'autres substances, comme le graphite mélangé à de l'eau, ont également été expérimentées. Cependant, la décision finale sur la substance à utiliser dépend d'un équilibre entre le coût, la disponibilité et la résistance à la corrosion.[5]

Une nouvelle méthode a fait surface qui consiste à creuser des trous profonds dans des zones abondantes en eau souterraine. Cette technique utilise un tube métallique perforé pour extraire l'eau souterraine, qui humidifie ensuite le milieu environnant. La figure ci-dessous illustre la formation du puits de terre [5] :

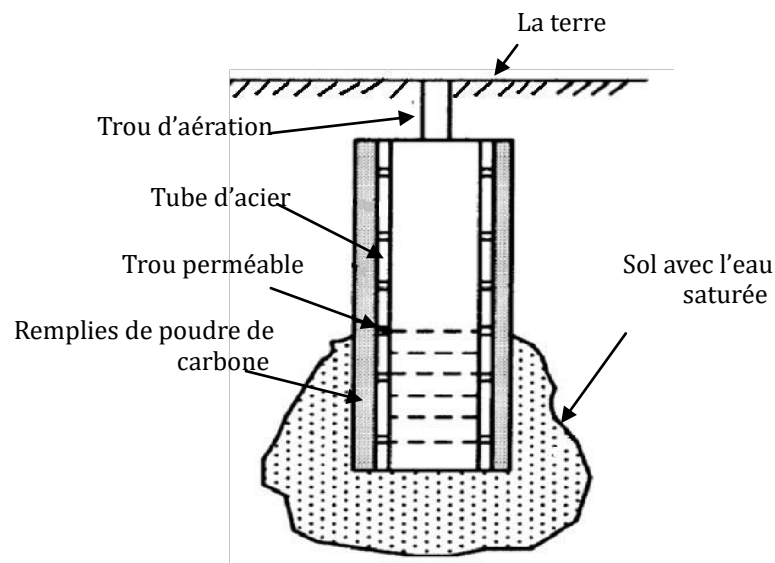


Figure. I.2 : prise de terre avec trous profonds [5]

Les éléments de traitement chimique du sol sont coûteux et l'amélioration obtenue par addition de ces éléments n'est pas particulièrement importante lorsque la profondeur de l'électrode est faible. Par conséquent, on propose dans [2] une méthode qui utilise l'eau de la mer morte à la place de ces éléments. Dans cette approche, l'eau de la mer morte est ajoutée dans un trou autour de l'électrode à une distance n'excédant pas 10 cm jusqu'à un niveau de 30 cm de la surface du sol (Figure.I.3).



Figure. I.3 : Ajout de l'eau de la mer morte au trou du système de mise à la terre [2].



Figure. I.4 : Ajout de l'eau de la Mer Morte avec du charbon et de la limaille de fer dans le trou du système de mise à la terre [2].

Pour réduire encore la résistance de terre, ils ajoutent l'eau de la mer morte avec charbon et de limaille de fer comme le montre la Figure. I.4.

I.5. Tension de pas :

Comme représenté à la figure I.5, la tension de pas (V_s) est la différence de potentiel entre deux points à la surface du sol, séparés par une distance d'un pas, que l'on assimile à un mètre, dans la direction du gradient de potentiel croissant [1].

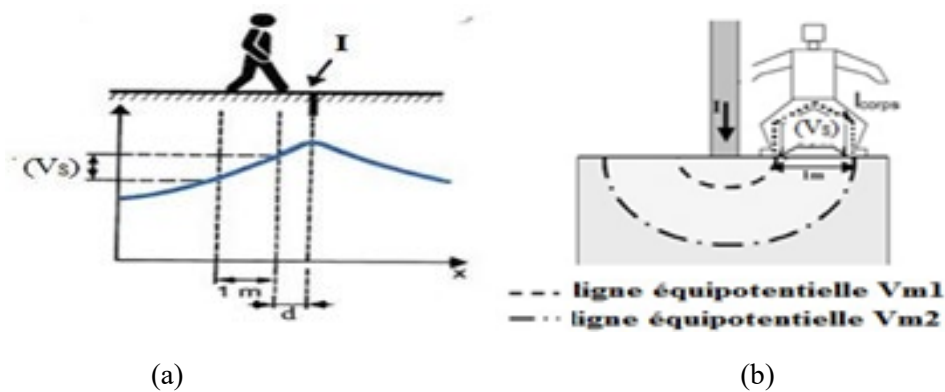


Figure I.5: Tension de pas.[1] : **a)** Tension de pas suivant le gradient.

b) Tension de pas entre deux de potentiel équipotentiel.

Dans un sol supposé homogène, la tension de pas est directement proportionnelle à la résistivité du sol. En général, elle dépend de la distribution de potentiel dans le sol.

I.6. Tension de touche:

La tension de contact est définie comme étant la différence de potentiel entre la main d'une personne, touchant une structure mise à la terre, et son pied [1]

Deux types de contacts peuvent se présenter : contacte directe et contact indirect.

I.6.1. Contact direct :

C'est le contact d'une personne avec une partie active d'un matériel sous tension. Le contact peut avoir lieu avec une phase ou avec le neutre (Figure I.6).

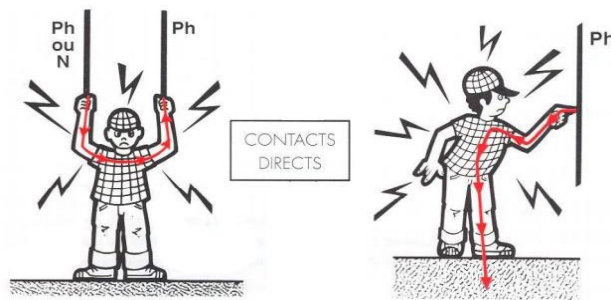


Figure I.6 : Contact direct. [6]

I.6.2. Contact indirect :

C'est le contact d'une personne avec une masse d'un récepteur mise accidentellement sous-tension à la suite d'un défaut d'isolement (Figure I.7).

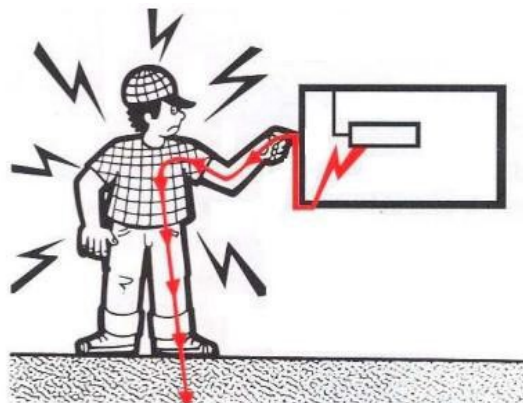


Figure I.7 : Contact indirect. [6]

I.7. Système de mise à la terre :

Un système de mise à la terre est défini comme "la connexion conductrice intentionnelle ou non entre un circuit ou un équipement mis à la terre et un conducteur électrique servant de terre". C'est également un moyen efficace de détourner les courants de défaut, les coups de foudre, des décharges électriques, des perturbations électromagnétiques et les interférences à haute fréquence. Le but de cette protection est de fournir à l'utilisateur une connexion à la terre, assurant que tous Sécurité au sein de l'établissement.[7]

I.8. Critères et contraintes à respecter dans la conception des installations de mise à la terre :

Des exigences doivent être respectées pour la conception des installations du système de mise à la terre :

- Capable de résister à la fois aux contraintes mécaniques et à la corrosion.
- Capable de supporter le courant de défaut le plus intense, thermiquement parlant.
- Minimiser les perturbations des systèmes d'alimentation.
- Il est essentiel de garantir la protection des personnes vis-à-vis des tensions pouvant survenir.
- Assurer une mise à la terre appropriée lors d'un événement de défaut à la terre.
- Garantir la résistance de la ligne aux coups de foudre.

Les paramètres à prendre en compte au départ pour le dimensionnement des installations des systèmes de mise à la terre sont :

- Les caractéristiques du sol,
- La valeur du courant de défaut,
- La durée du défaut.
- La distance vis-à-vis des ouvrages tiers ou des personnes.

L'étude prendra en compte le facteur des coûts de production. Pour contraster et évaluer diverses résolutions potentielles. [7]

I.9. Différents types de mise à la terre :

Une prise de terre est un assemblage qui se compose généralement de trois parties :

- des pièces métalliques enfouies dans le sol, dont le contact intime avec le sol constitue la liaison au sol proprement dite.
- Câble de terre du bloc métallique de l'équipement.
- Le lien entre les deux. La mise à la terre peut être réalisée en enfouissant simplement des conducteurs de différentes formes dans le sol. [3]

Remarque : est strictement interdit de réaliser une prise de terre dans le lit d'un cours d'eau.

I.9.1. Prise de terre par câblette seule :

La câblette en cuivre nu est une merveille de connexion à la terre. Elle affiche 78 brins totalisant 28 mm². Sa polyvalence se reflète dans la capacité de connecter la masse de l'équipement à la terre et à d'autres éléments conducteurs d'une connexion à la terre. [3]

I.9.2. Prise de terre par piquet :

Il existe deux variétés de poteaux disponibles :

a) Caractéristiques du piquet acier inoxydable :

Jetons un coup d'œil aux caractéristiques du poteau en acier inoxydable : Fabriqué en acier inoxydable, le piquet a une longueur de 1 mètre et un diamètre de 16 mm. Sa conception auto-extensible et sa grande rigidité mécanique le rendent idéal pour les terrains difficiles, en particulier les paysages rocheux, grâce à sa résistance aux rayures lors de l'enfoncement [3].

b) Propriétés du poteau en acier cuivré :

Un poteau en acier cuivré électriquement conducteur est créé par électrolyse ; l'âme en acier est recouverte d'un minimum de 350 microns de cuivre.

Les dimensions du poteau sont de 1 mètre de long et 17,3 mm de diamètre. Sa solidité et sa résistance aux dommages lors de la conduite le rendent idéal pour une utilisation sur des terrains à faible roche et à résistivité moyenne. De plus amples détails sur les configurations potentielles sont présentés dans le tableau ci-dessous. [3]

Tableau I.2 : Constitution d'une prise de terre par câblette(s) uniquement. [3]

Partie supérieure	Raccord	Partie inférieure
Extrémité Câblette	Cosse à sertir	Piquet auto-allongeable acier inox ou acier cuivré
	Cosse à emboutir	
	Cosse à serrage mécanique indémontable	
	Soudure aluminothermique (sur la tête du 1 ^{er} piquet)	

I.9.3. Prise de terre par grille :

Les différents assemblages possibles sont récapitulés dans le Tableau I.3:

Tableau I.3 : Constitution d'une prise de terre par grille [3]

Partie supérieure	Raccord	Partie inférieure
Extrémité câblette	Connecteur en ‘c’	Grille
	Soudure aluminothermique	

I.9.4. Prise de terre intégrant des procédés chimiques :

Le concept de base des connexions à la terre consiste à enfouir des conducteurs dans le sol ainsi que certains composants chimiques qui réduisent considérablement la résistance du sol. Les éléments des produits chimiques peuvent être directement incorporés dans les modules utilisés pour la construction de prises de terre à proximité immédiate de l'usine.

On ne sait pas à quoi le texte original faisait référence. Veuillez fournir plus de contexte afin que je puisse mieux vous aider.

- A une durée de vie moyenne de 40 ans.
- Peut supporter les courts-circuits à 50 Hz, y compris les doubles défauts monophasés phase/terre, calibrés à 5 kA. La durée n'était qu'une seconde.
- La résistance du parafoudre à une onde de foudre de 65 kA avec une forme d'onde 8/20 μ s est coordonnée. La résistance à la corrosion, notamment au niveau de la qualité de surface et des contacts, est testée par un essai au brouillard salin d'une durée de 240 heures, suivant la norme NF X 41-002.

- Résiste à des sollicitations mécaniques jusqu'à 500 N pendant 10 secondes sans déchirure.[3]

I.10. Règles pour la mise en œuvre :

a) Dans le scénario général, un câble est utilisé conjointement avec un piquet de tracteur :

Lorsqu'il s'agit d'une résistivité faible ou moyenne et d'un sol facilement submersible, l'utilisation d'un piquet de tracteur est conseillée car elle élimine le besoin de toute connexion souterraine qui pourrait nuire à la longévité de la connexion à la terre. Cette technique consiste à utiliser le piquet du tracteur uniquement comme entraînement mécanique pour enfoncer le câble dans le sol. Cependant, comme le câble fait tout le travail de mise à la terre, il doit rester indemne pendant le processus de conduite, limitant l'utilisation de cette technique dans un sol facilement submersible. Il est recommandé d'insérer une Autre technique (terrains à résistivité élevée) [3] :

b) Pile (sites d'accès difficiles) :

Dans les zones où la technologie des piquets de tracteur n'est pas disponible, utilisez des piquets en acier inoxydable ou en acier cuivré pour la connexion à la terre. La mise en place de ces piquets doit être obligatoire à l'aide des "punaises" prévues à cet effet.

c) Autre technique (terrains résistivité élevée)

Lorsqu'il s'agit de sols à haute résistivité, les méthodes standard d'établissement de connexions à la terre s'avèrent insuffisantes pour atteindre les valeurs ohmiques souhaitées. En conséquence, des techniques supplémentaires doivent être exécutées, notamment : Pour les scénarios plus difficiles, une stratégie consiste à établir un sol profond. Cependant, il convient de noter que cette technique n'est efficace que pour la circulation de courants de 50 Hz. Avant de se lancer dans la création d'un sol profond, il est essentiel d'évaluer s'il existe une couche de terre à faible résistivité à une profondeur spécifique, ce qui peut réduire considérablement la valeur de la connexion à la terre. Cela nécessite des mesures de résistivité en profondeur à l'aide d'un compteur de champ à faible résistivité homologué. [3]

I.11. Différents équipements mis à la terre :

I.11.1. Mise à la terre des pylônes :

Les connexions au sol pour les pylônes des lignes de transport d'électricité sont méticuleusement conçues pour maintenir une faible résistance. Ceci est important car si la chute de tension dans la prise de terre provoquée par la foudre sur le pylône dépasse la tension d'amorçage des isolateurs, il en résultera un court-circuit entre les trois phases de la ligne et la terre. Par conséquent, un grand soin est pris pour s'assurer que cela ne se produise pas.

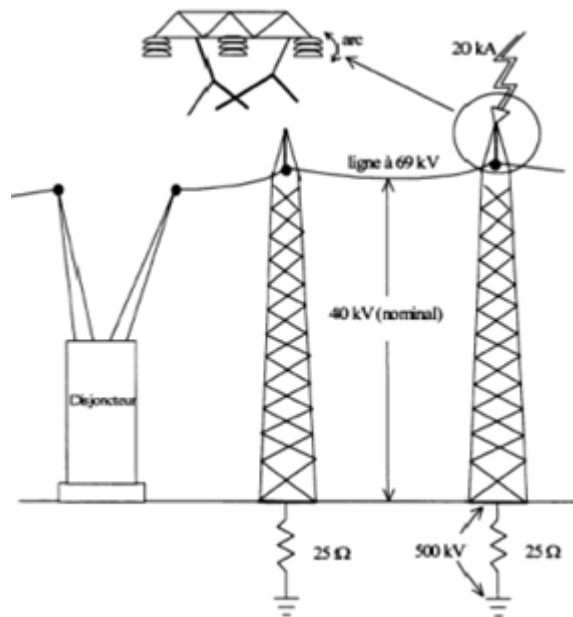


Figure. I.8 : Mise à la terre des pylônes [9]

Dans l'image représentée, si le pylône est frappé par la foudre, un courant électrique d'intensité importante sera généré. La connexion à la terre transporte un courant de 20 kA, ce qui peut entraîner une chute de tension.

La valeur finale, équivalente à la résistance de la prise de terre multipliée par le courant de foudre, est $I = 20000 \text{ A} * 25 \Omega$, soit 500 kV. Lorsqu'une tension de 500 kV est ajoutée à la tension nominale de 40 kV, la tension résultante des conducteurs par rapport à la terre sera de 540kV. Malheureusement, cette tension dépasse la tension de tenue aux ondes de choc des isolateurs, ce qui peut entraîner l'amorçage d'un arc électrique entre les bornes des chaînes d'isolateurs.

Ceci, à son tour, provoquera un court-circuit entre les trois phases, et le disjoncteur doit être activé pour mettre hors service la ligne de transmission. L'interruption du courant d'utilisation

est évitée en assurant une faible résistance de la prise de terre de la tour, qui peut avoir une valeur jusqu'à une valeur maximale de 15Ω sans conduire à un contournement chaîne isolante et ceci pour coup de tonnerre. L'intensité du courant ne dépasse pas 20 kA. A noter que les courants de foudre de magnitude 20 kA sont relativement fréquents. Même s'ils ne durent que quelques microsecondes, des éclairs d'une intensité bien supérieure à 20 kA doivent être pris en compte, ce qui implique que la résistance de la prise de terre doit être la plus faible possible. [3]

I.11.2. Mise à la terre des postes :

L'importance des sous-stations de mise à la terre ne peut être surestimée, compte tenu de leur rôle central dans le réseau. Par conséquent, il est essentiel de garder les accidents à distance et de maintenir une distance de sécurité avec eux. En adoptant une configuration de type grille, nous pouvons réduire efficacement la résistance de terre et limiter les tensions de pas [3] (Figure.I.9).

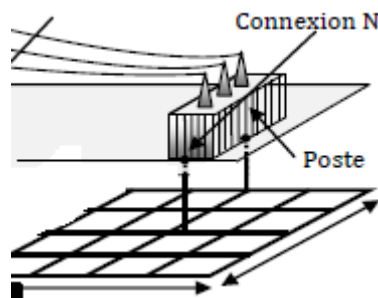


Figure.I.9 : Mise à la terre d'un poste électrique. [5]

I.11.3. Mise à la terre des masses :

Pour toute sous-station, il est obligatoire d'avoir une prise de terre constituée d'un conducteur en cuivre nu de 25 mm formant une boucle fermée. Cette boucle fermée doit être posée directement sur le sol en fond de fouille, servant de liaison pour les masses.

Les éléments qui doivent être reliés à la prise de terre des masses sont : Les masses métalliques constituent des circuits hauts et basse tension.

- L'enveloppe du tableau HT intègre des bornes dédiées à cet usage spécifique.
- Les écrans métalliques et conducteurs de terre des câbles haute tension,
- Tous les appareils ou raccords requis pour les câbles à haute tension.
- La cuve du transformateur,

- L'ossature des tableaux fonctionnant en basse tension,
 - Les réservoirs du transformateur et d'autres équipements peuvent nécessiter une mesure.
- Si présent, le radier contient des renforts métalliques.

Pour assurer la sécurité, la porte d'accès et les grilles de ventilation métalliques sont volontairement isolées du circuit de masse des masses. Ceci s'applique sauf si l'enveloppe extérieure du poste est entièrement métallique. Au lieu de cela, chaque masse doit être connectée à la terre individuellement. Il n'y a aucun mécanisme d'interruption comme un interrupteur, un disjoncteur ou une barre dans le circuit de mise à la terre.[3]

I.11.4. Schéma de liaison à la terre (régime de neutre) en basse tension BT :

Le schéma de raccordement à la terre, appelé « concept normalisé » (CEI 364 et NF C 15-100), intègre le régime du neutre BT. Ce système fait partie intégrante du mode de connexion à la terre. Il existe trois schémas normalisés pour les connexions à la terre :

*TT : La figure ci-dessous montre que TT est neutre par rapport à la terre

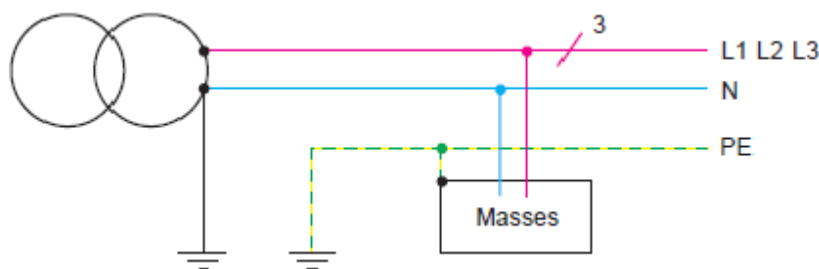


Figure. I.10 : Schéma de liaison de neutre en TT. [10]

TN : Dans le domaine de l'électrotechnique, une connexion neutre peut prendre différentes formes, telles que TN-C, TN-S et TN-CS :

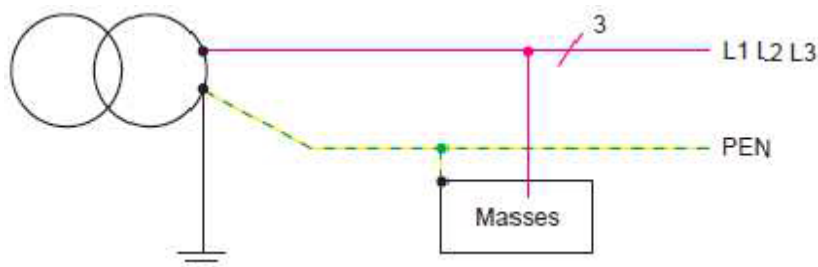


Figure. I.11 : schéma de liaison de neutre en TN-C. [10]

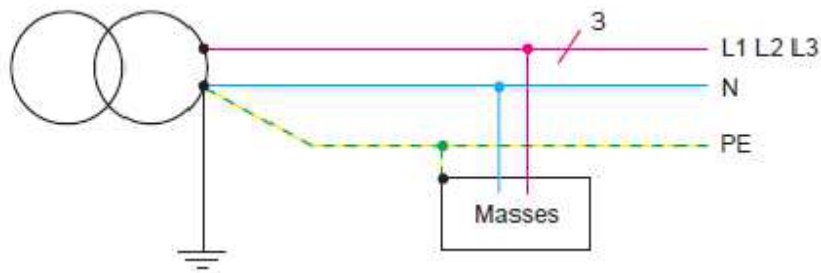


Figure. I.12 : Schéma de liaison de neutre en TN-S. [10]

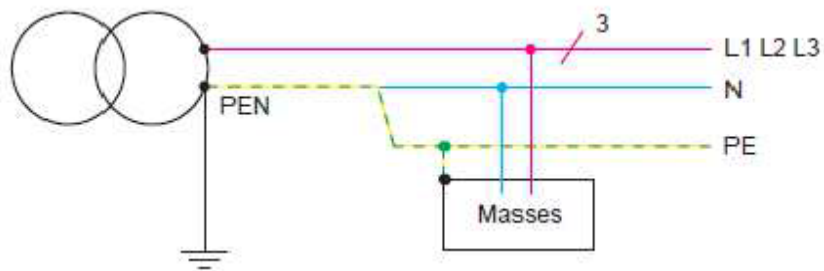


Figure. I.13 : Schéma de liaison de neutre en TN-C-S. [10]

IT : il s'agit de technologie de l'information, le neutre est souvent considéré comme étant soit isolé, soit comme un obstacle. Isolé de la planète Terre.

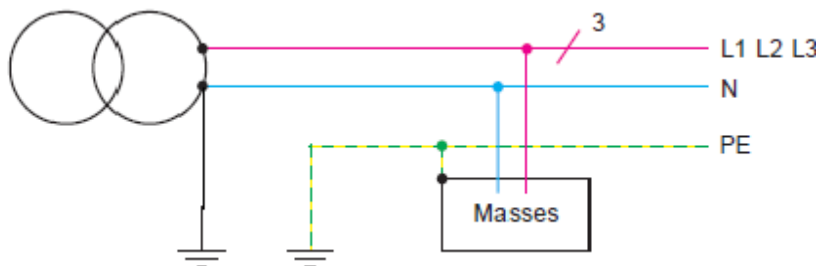


Figure. I.14 : schéma de liaison de neutre en IT [10]

I : isolé de la terre.

T : relié à la terre

N : relié au conducteur neutre (N)

La troisième lettre, facultative, concerne l'état du conducteur neutre (N) et sa sauvegarde (PE).

La fusion de N et PE aboutit à la formation d'un conducteur PEN largement utilisé. Il semble

que N et PE se soient séparés.[3]

I.12. Essais de type sur prises de terre :

Les fournisseurs sont liés par les attributs décrits précédemment pour diverses connexions à la terre, qui peuvent être vérifiées par des tests. L'objectif premier de ces tests est de s'assurer de la qualité de la prise de terre et de sa liaison au câble aérien. Réalisés à une température ambiante d'environ 20°C, les essais doivent respecter l'ordre suivant :

I.12.1. Contrôles préliminaires :

La bonne exécution des préconisations du fournisseur est vérifiée pour garantir le bon raccordement des assemblages.

I.12.2. Test au brouillard salin :

Le test respectera les directives NF X 41-002 pour une durée de 240 heures, en utilisant un mélange salin de concentration 5%. Le résultat attendu de cette expérience comprend les résultats suivants :

Description des attributs physiques : Après un brossage doux pour éliminer les dépôts superficiels, la tête ne doit présenter aucun signe perceptible d'oxydation.

Contrôle de la résistance électrique : La résistance électrique est mesurée à un courant de 10 mA avant et après le test au brouillard salin, le test de tenue aux ondes de foudre et le test de court-circuit.

Une section de 100 mm qui consiste à fixer les deux piquets ensemble. Un câble et une tête de connecteur, ainsi qu'un assemblage de tige, constituent une section de 100 mm.

I.12.3. Essai de tenue à l'onde de foudre :

Afin d'atteindre le contrôle de la résistance électrique, l'onde de choc qui en résulte est mise en œuvre :

- 8 ms pour le temps de montée.
- Ramener la durée à la moitié de son amplitude à 20 millisecondes.
- La magnitude atteint 10 000 ampères.

I.12.4. Essai de mise en court-circuit :

Pour vérifier ses propriétés électriques, un courant de 5 kA est administré pendant une durée d'une seconde.

I.12.5. Essai de tenue à l'arrachement :

Pendant 10 secondes, une force de 500 N est appliquée sur la tête et le câble de la tringlerie. Les résultats souhaités sont clairs : cohésion homogène et pas de dérapage. [3]

I.13. Amélioration de la résistance d'une mise à la terre :

Selon la littérature, ajouter plus d'électrodes (piquets) pour une meilleure résistance de mise à la terre pourrait en fait diminuer sa valeur. Au lieu d'augmenter le diamètre, il faut éviter de traiter le sol avec des substances comme le charbon de bois et le sel pour abaisser sa résistivité, car elles peuvent diminuer l'efficacité de la mise à la terre avec le temps. Il est conseillé d'entourer l'électrode d'un matériau à faible résistivité pour améliorer ses performances. [3]

I.14. Liaisons équipotentielles :

Indispensables pour assurer la sécurité dans les zones résidentielles, les liaisons équipotentielles dérivent de la prise de terre. En appliquant un potentiel uniforme sur tous les éléments conducteurs d'une maison (au niveau du sol), le risque de choc électrique ou de potentiels différents entre les composants électriques et non électriques est effectivement annulé. Les conducteurs de protection permettent aux boîtiers des récepteurs électriques de rester pratiquement au même potentiel que les composants non électriques connectés au conducteur de masse principal. En cas de défaut, tel qu'un court-circuit entre la phase et le boîtier métallique, il peut y avoir une différence de potentiel non dangereuse entre le boîtier du récepteur électrique et les pièces métalliques connectées à la liaison équipotentielle principale du conducteur. Cette disparité résulte de la chute de tension dans le conducteur de protection du récepteur. Il est donc crucial de prioriser l'établissement de liaisons équipotentielles.[9]

I.15. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré les concepts théoriques fondamentaux associés à la mise à la terre. Dans un premier temps, nous avons fourni une introduction concise au concept de système de mise à la terre et les propriétés des sols (résistivité, permittivité, perméabilité). Nous avons mis en évidence les différentes méthodes d'amélioration la résistivité de sol. Ensuite nous avons exposé les notions de base nécessaire et les paramètres permettant de faire une bonne mise à la terre des installations électriques à fréquence industrielle.

Dans le chapitre qui suit, nous donnons une description succincte des différents schémas de Liaison à la terre, à savoir le schéma TT, le schéma IT et le schéma TN.

Chapitre II

Régimes de neutre

II.1. Introduction :

Un système triphasé se compose de trois tensions distinctes, chacune mesurant de leurs phases respectives trouve généralement entre trois enroulements qui sont connectés dans une configuration en étoile, et il peut ou non être distribué ou sorti. En règle générale, le neutre est dispersé dans les circuits basse tension, mais pas souvent dans les circuits moyenne tension. Il est important de noter que le point neutre peut être mis à la terre ou non, ce qui le caractérise comme un système neutre. Habituellement, la mise à la terre du neutre est effectuée au niveau de la sous-station. Le système neutre est un aspect crucial pour assurer la continuité de service, la protection du réseau et la sécurité des personnes, en plus de l'architecture du réseau. Le rôle crucial du système neutre dans l'exploitation du réseau ne peut être surestimé, car il est étroitement lié à la fois à la sécurité et à la protection de l'approvisionnement.

Le régime de neutre ou "Schéma des Liaisons à la Terre" (SLT) est l'objet principal de ce chapitre, dont l'objectif est d'analyser la fonction, les critères de sélection des différents SLT.

Nous traitons ensuite les défauts d'isolement, leurs causes et les risques associés. Enfin, les méthodes de sélection du schéma de mise à la terre le plus approprié pour assurer la protection nécessaire des installations électriques seront données.

II.2. Causes des défauts d'isolement :

Pour assurer la protection des personnes et la continuité d'exploitation, les conducteurs et les pièces sous tension d'une installation électrique sont « isolées » par rapport aux masses reliées à la terre.

- L'isolement est réalisé par.
- L'utilisation de matériaux isolants.
- L'éloignement qui nécessite des distances d'isolement dans les gaz (par exemple dans l'air) et des lignes de fuite (concernant l'appareillage, par exemple chemin de contournement d'un isolateur).
- Un isolement est caractérisé par des tensions spécifiées qui, conformément aux normes, sont appliquées aux produits et aux équipements neufs.
- Tension d'isolement (plus grande tension du réseau).
- Tension de tenue au choc de foudre.

- Tension de tenue à la fréquence industrielle ($2 U + 1\ 000\ \text{V}/1\text{mn}$).
- Exemple pour un tableau BT de type PRISMA.
- Tension d'isolement : 1 000 V ;
- Tension de choc : 12 kV.

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

La maintenance de l'installation :

Ces grandeurs, chiffrables, font l'objet d'exigences de plus en plus fortes dans les usines et les immeubles tertiaires. Par ailleurs, les systèmes de contrôle-commande des bâtiments -GTB- et de gestion de la distribution d'énergie électrique -GTE- jouent un rôle de plus en plus important au niveau de la gestion et de la sûreté.

Cette évolution du besoin de sûreté n'est donc pas sans effet sur le choix du SLT.

Il faut rappeler que les considérations de continuité de service (garder un réseau sain en distribution publique en déconnectant les abonnés avec un défaut d'isolement) ont joué un rôle lors de l'émergence des SLT.

Durant l'installation :

La détérioration mécanique de l'isolant d'un câble.

Pendant l'exploitation :

- Les poussières plus ou moins conductrices.
- Le vieillissement thermique des isolants dû à une température excessive ayant pour causes :
 - Le climat.
 - Un nombre de câbles trop important dans un conduit,
 - Une armoire mal ventilée.
 - Les harmoniques.
 - Les surintensités.

Les forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit qui peuvent blesser un câble ou diminuer une distance d'isolement,

- Les surtensions de manœuvre, de foudre,
- Les surtensions 50 Hz 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 SLT 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.[11]

II.3. Risques liés au défaut d'isolement :

Tout type de dysfonctionnement de l'isolation constitue une menace importante pour la vie humaine et les biens, ainsi que pour l'approvisionnement régulier en électricité. La sécurité, sous tous ses aspects, est de la plus haute importance dans de telles situations.

Un défaut d'isolement, peut présenter les risques suivants :

- Risque de choc électrique pour les personnes : Lorsqu'un individu ou un animal est exposé à une charge électrique, il s'électrise.
- Le potentiel de risques d'incendie.
- La possibilité d'indisponibilité de l'énergie.
- Désactivation des appareils de sécurité discrets.
- Les industries qui s'appuient sur des processus complexes sont confrontées à un risque économique accru en cas de perte de production.
- La perspective de redémarrages coûteux et prolongés exige des stratégies de gestion des risques vigilantes. En cas de courant de défaut élevé :
- Des dommages importants à l'installation ou aux récepteurs peuvent augmenter considérablement les coûts et les délais de réparation.
- Les courants de défaut élevés qui circulent couramment entre le réseau et la terre peuvent perturber les équipements sensibles, en particulier s'ils sont intégrés à un système "courant faible". [14]

II.4. Les SLT et la protection des personnes :

II.4.1. Définitions :

Le régime de neutre en BT ou 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 isolée 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 [10].

Il est assez important de rappeler ici les différents SLT (régimes de neutre) car les valeurs des résistances de mises à la terre dépendent fortement de ceux-ci, tant du point de vue du fonctionnement des réseaux électriques (sécurité du matériel) que de la sécurité des personnes.[1]

II.4.2. Terminologies :

Ce paragraphe décrit les risques potentiels d'électrification et d'électrocution associés à divers SLT, tels que définis par le Comité Electrotechnique International dans la norme CEI 364.

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

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

- La première pour le raccordement du neutre du transformateur :
 - T pour raccorder à la terre
 - I pour isoler de la terre.
- La deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation :
 - T pour raccorder directement à la terre,
 - N pour raccorder au neutre à l'origine de l'installation, le quel est raccordé à la terre.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

- **TT** « Si le neutre du transformateur raccordé à la terre et la masse raccordé directement à la terre ».

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

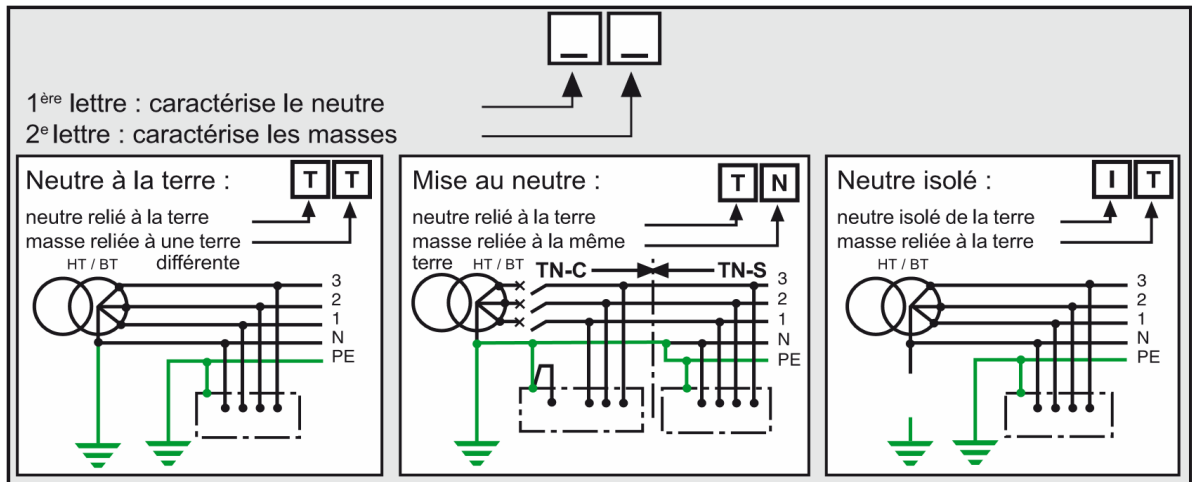


Figure II.1: Signification des deux lettres utilisées en SLT [14].

Remarque1 : Le schéma TN, selon la CEI 364 et la norme NFC15-100, comporte plusieurs sous- schémas :

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

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

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

II.4.3. Classification des régimes de neutre :

II.4.3.1. Régime de neutre TT :

TT Subir le " défaut terre" mais limiter les conséquences, Pour minimiser l'impact du "défaut à la terre" et l'empêcher de se transformer en court-circuit, des dispositifs différentiels sont utilisés. C'est le concept fondamental des réseaux "neutre à la terre" TT qui permet d'intégrer de nouveaux départs en les raccordant à un DDR (voir à l'annexe 1).

En ce qui concerne les courts-circuits, la seule façon d'améliorer la disponibilité est d'améliorer la sélectivité. Ceci peut être réalisé en mettant en place plusieurs étapes de protection différentielle, ce qui permet de minimiser l'interruption dans la moindre mesure possible du réseau.

Remarque : les DDR sont :

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

Exemple : réglé à 300 mA, il prévient à 150 mA [14].

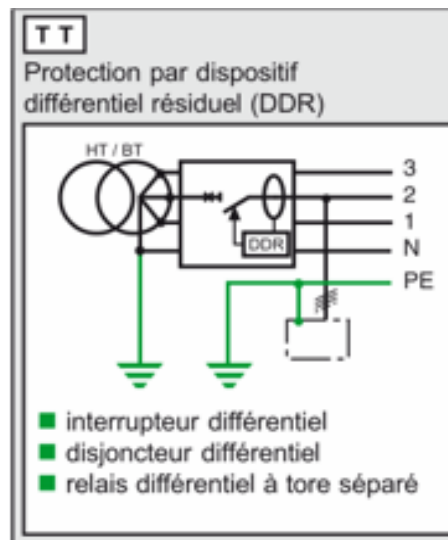


Figure II.2: La fonction d'un schéma SLT [14].

II.4.3.1.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TT :

a) Présentation du défaut :

L'installation ci-dessous peut présenter un danger dû à un défaut d'isolement, en cas de contact avec un organe humain.

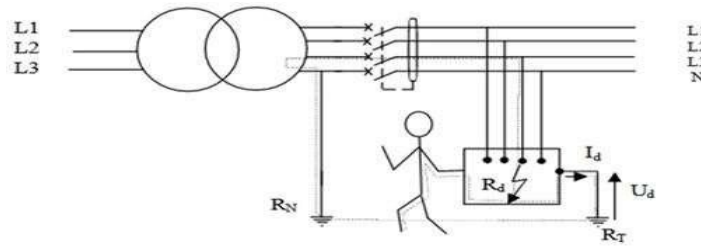


Figure II.3: Régime TT, lors d'un défaut d'isolement. [12]

Où :

R_T : Résistance de prise des masses.

R_N : Résistance de la prise de terre neutre.

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

I_d : Courant de défaut.

U_d : Tension de défaut.

b) Tension de défaut

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

$$U_d = R_d I_d$$

Exemple :

Soient : $R_T = 20 \Omega$, $R_N = 15 \Omega$, $R_d = 0 \Omega$ et $U_n = 220 V$

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

Cette tension peut être dangereuse pour les personnes, donc il faut prévoir un appareillage de déclenchement différentiel au premier défaut, on utilise généralement le DDR [12].

c) Avantages du régime TT :

- La coupure au premier défaut.
- Ne nécessite aucune personne qualifiée.
- Protection plus simple à mettre en œuvre, à contrôler et à exploiter.

d) Inconvénients du régime TT :

- Pas de continuité de service lors d'un défaut d'isolement.
- Il faut installer un DDR sur chaque départ pour obtenir une sélectivité totale.

II.4.3.2. Régime de neutre TN :

TN Subir le défaut...mais provoquer le déclenchement pour se protéger, Le défaut peut être assimilé à un court-circuit, donc violent et destructeur et dans ce cas, le disjoncteur est conçu pour se déclencher au premier défaut.

- C'est le principe des réseaux "raccordés au neutre TN qui permettent de ne pas mettre de protections complémentaires du type différentiel ou CPI (voir l'annexe 2). De ce fait, c'est le champion de l'économie à l'installation ! Ce principe s'avère très vite coûteux en cas de modifications ou d'extensions. De plus, il met à rude épreuve les installations par les effets de court-circuit sur les câbles et les récepteurs, ainsi que les chutes de tension pouvant perturber les ordinateurs, etc...
- Pour minimiser les conséquences du défaut à la seule partie du réseau concernée, il faut mettre en place les méthodes de Sélectivité : ampèremétrique, chronométrique ou énergétique.
- Une autre possibilité est offerte avec la mise en place du TNS directement en aval du transfo, ce qui donne l'avantage de déclencher par les DDR du fait de la détection avant le court-circuit.
- Un vaste choix de disjoncteur mono / tri / tétra permet de répondre parfaitement de 1 à plus de 6300A avec les gammes Multi 9, Compact, Masterpacte [14].

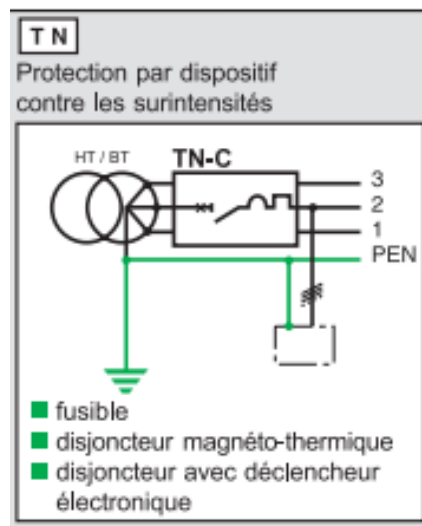


Figure II.4: La fonction d'un schéma SLT. [14]

II.4.3.2.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TN :

a) Présentation de défaut :

La terre sert de point de mise à la terre pour le neutre dans ce système particulier, tandis que les masses sont reliées au neutre via un conducteur de protection.

On distingue les régimes TNC et TNS :

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

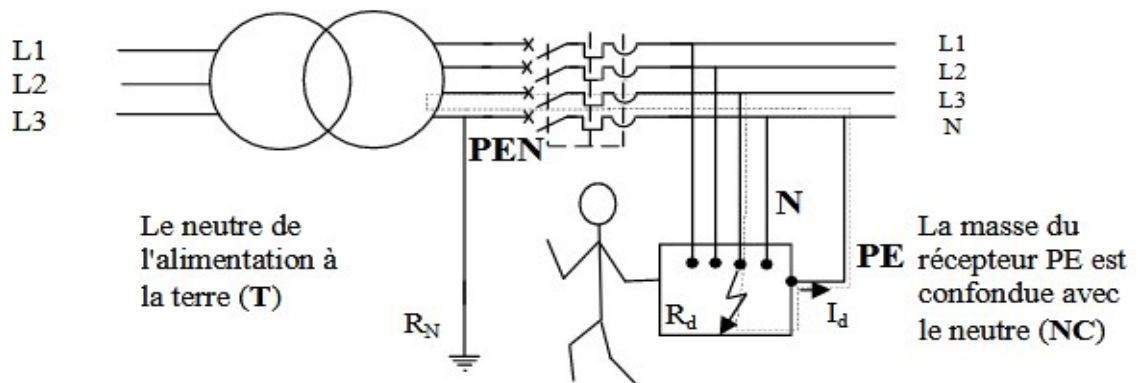


Figure II.5: Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement [12].

b) Courant du défaut :

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance câbles et de la source de tension, ce qui donne un courant de défaut très élevé :

$$I_d = \frac{U_n}{Z_n} \dots \dots \dots (II.2)$$

Où :

U_n : Tension simple.

I_d : Courant de défaut.

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

- La résistance de défaut d'isolement.
- La résistance du câble du circuit.
- L'impédance de l'enroulement secondaire du transformateur. [12]

c) Avantages du régime TN :

- La coupure au premier défaut.
- TN-C économiques dans une installation.

d) Inconvénients du régime TN :

- Il nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance en exploitation.
- Il nécessite un bon niveau d'isolement du réseau.
- La vérification des déclenchements après toute intervention sur le réseau.

II.4.3.3. Régime de neutre IT :***IT rendre le défaut inoffensif en utilisant des réseaux à neutre isolé IT,***

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

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

C'est le champion de la disponibilité !

- Par contre laisser un défaut terre sur un tel réseau, revient à laisser une liaison directe entre le réseau et la terre, comme précédemment.
- Dans ce cas, l'apparition d'un 2^{ème} défaut crée un courant dangereux qui doit provoquer un déclenchement de même nature que dans les réseaux à la terre TT ou TN.
- C'est pourquoi, ce type de réseau à neutre isolé ne prend tous on intérêt que si l'on détecte les vrais défauts d'isolement dès leur apparition grâce à la gamme Vigil ohm System qui permet de détecter automatiquement et immédiatement les départs en défauts, y compris les défauts fugitifs (la bête noire des utilisateurs). C'est ce que fait le CPI XM200 avec les détecteurs XD 301 (1départ) ou XD312 (12départs) associés à des tores A fermés ou OA ouvrants.
- Pour satisfaire les sites les plus exigeants en disponibilité, il existe des appareils qui permettent de mesurer la résistance et la capacité départ par départ et de communiquer ces informations en locale et en supervision pour aller vers la maintenance préventive, afin de ne jamais subir le défaut terre avec les appareils suivants : XM300C, XD308C, XL308, XL316, et interfaces XAS local, XL1200, XL1300, XTU300 suivant la configuration de l'installation [14].

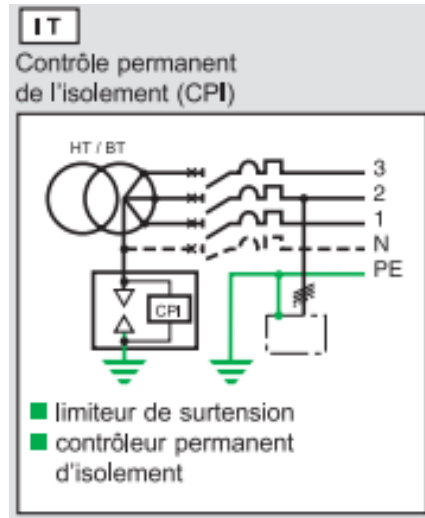


Figure II.6: La fonction d'un schéma SLT [14].

II.4.3.3.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime IT :

a) Présentation :

Dans ce régime le neutre est isolé, les masses sont reliées à la terre, c'est le cas de certaines installations où l'utilisateur possède son propre transformateur HT/BT, puisque le neutre isolé. Il faut prévoir un appareil de contrôle et d'écoulement de toute sorte de surtension ou de coup de foudre. Ce dispositif est un limiteur de surtension d'impédance Z.

b) Défaut simple :

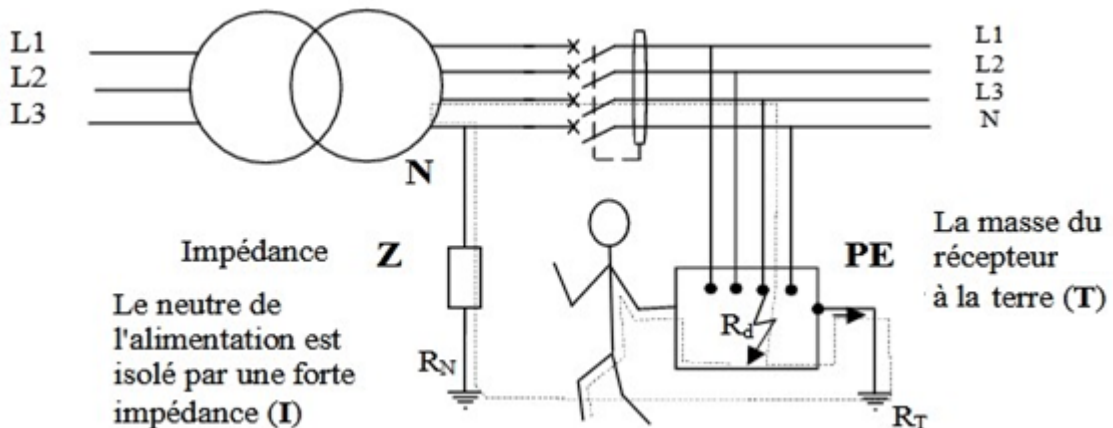


Figure II.7: Régime IT, lors d'un défaut d'isolement [12].

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

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

R_T : Résistance de prise des masses.

R_N : Résistance de la prise de terre neutre.

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

Z_I : Impédance d'isolement.

I_d : Courant de défaut.

V_d : Tension de défaut telle que : $V_d = I_d R_d \dots\dots\dots$ (II.4)

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

Exemple :

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

$$I_d = \frac{V_n}{R_T + R_N + R_d + Z_I} = \frac{220}{0 + 0 + 0 + 10000} = 2,2A$$

Et $V_d = I_d R_d \approx 0V$

Conclusion : Dans ce cas, il se présente un courant de défaut très faible. Ce dernier n'est pas dangereux pour l'utilisateur, mais il faut être vigilant devant un deuxième défaut.[12]

c) Double défaut :

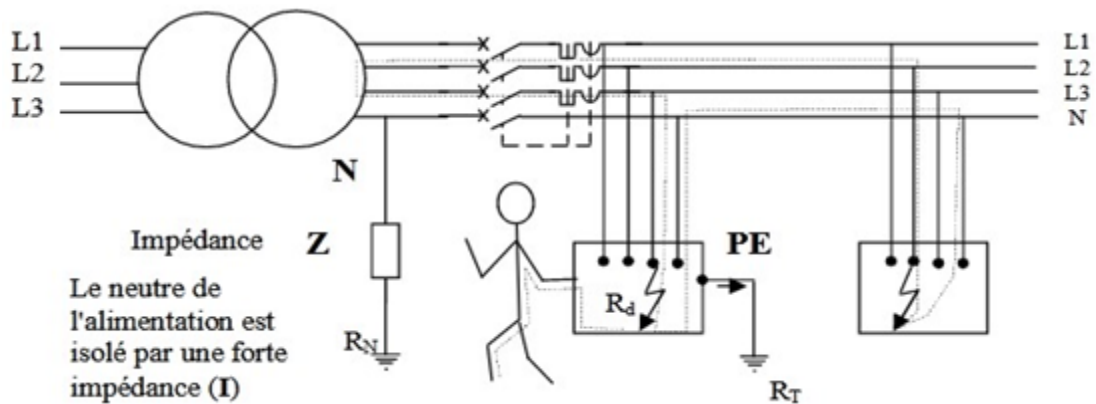


Figure II.8: Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement [12].

Le courant de défaut dans ce cas :

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

Z_L : Impédance d'une ligne.

U_n : Tension composée.

I_d : Courant de défaut.

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

Où :

ρ : Résistivité du conducteur.

S : Section su conducteur.

l : Longueur du conducteur.

Exemple :

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

$$I_d = \frac{0,8U_n}{2Z_L} = \frac{0,8*380}{2*0,02} = 5629 \text{ A}$$

Conclusion :

Dans ce cas, il se présente un courant de défaut très fort, d'où une coupure obligatoire de l'alimentation dans un temps inférieur à celui prescrit par les courbes de sécurité. [12]

d) Avantages du régime IT :

- Une meilleure continuité de service (pas de coupure en 1^{er} défaut).
- Lors d'un défaut d'isolement, l'intensité de court-circuit est très faible.
- Utilisé pour les installations très courtes dimensions.

e) Inconvénients du régime IT :

- Nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer ce défaut très rapidement, avant l'apparition d'un deuxième défaut.
- Ce schéma oblige la mise en place d'un (CPI), signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation.

II.5. Les SLT et les risques d'incendie et de non disponibilité de l'énergie :

II.5.1. Risque d'incendie :

Il a été démontré, puis accepté par les normalisateurs, qu'un contact ponctuel entre un conducteur et une pièce métallique peut provoquer, dans les locaux particulièrement sensibles, un incendie lorsque le courant de défaut dépasse 300 mA.

A titre d'exemple :

- Locaux à risque important : usines pétrochimiques, fermes ;

- Locaux à risque moyen, mais où les conséquences peuvent être très graves : immeubles de grande hauteur recevant du public...

En neutre isolé, le risque « incendie » :

- Est très faible au premier défaut,
- Est aussi important qu'en TN au deuxième défaut.

Pour les SLT TT et surtout TN, le courant de défaut est dangereux vu la puissance développée ($P = R_d I^2$).

- En TT = 5 A < I_d < 50 A.
- En TN = 1 kA < I_d < 100 kA.

La puissance mise en jeu au point de défaut est, surtout en schéma TN, considérable et il convient d'agir dès les plus bas niveaux de courant et le plus vite possible pour limiter l'énergie dissipée ($\int R_d i^2 dt$).

Cette protection, prescrite par la norme CEI et exigée par les normes françaises (NFC 15-100§ 482-2-10), est réalisée par un DDR instantané à seuil i 300 mA et ce, quel que soit le SLT. Lorsque des risques d'incendie sont particulièrement importants (fabrication/stockage de matière inflammable, ...), il est nécessaire, voire obligatoire, d'utiliser un SLT à masses à la terre minimisant naturellement ce risque (TT ou IT).

A noter que le TN-C est interdit en France par la norme NF C 15-100 lorsqu'il y a un risque d'incendie (conditions BE2) et/ou d'explosion (conditions BE3) : les conducteurs PE et de neutre étant confondus, il n'est pas possible de mettre en œuvre des DDR.[11]

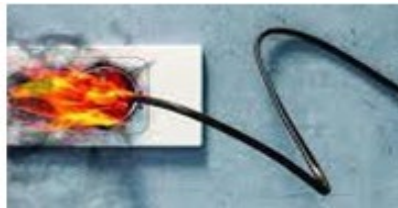


Figure II.9 : Risque d'incendie.

II.5.2. Risque de non disponibilité de l'énergie :

L'importance de la gestion de ce risque s'est accrue ces derniers temps. En effet, l'élimination du défaut est impérative car elle entraîne la déconnexion automatique du composant défaillant, entraînant :

- Il existe un danger potentiel pour la personne concernée.
Par exemple : l'absence brutale de lumière et la désactivation des équipements de sécurité, peuvent constituer une menace pour le bien-être.

- La circulation de forts courants de défaut en mode commun (entre réseau et Terre) peut également perturber des équipements sensibles, surtout si ceux-ci font partie d'un système « courants faibles » géographiquement réparti avec des liaisons galvaniques.
- Enfin, à la mise hors tension, l'apparition de surtensions et/ou de phénomènes de rayonnement électromagnétique peuvent entraîner des dysfonctionnements voire des dégradations d'équipements sensibles.
- Un risque économique du fait de la perte de production. Ce risque doit être Particulièrement maîtrisé dans les industries à procès pour lesquelles le redémarrage peut être long et coûteux.[13]

II.6. Critères de choix des schémas des liaisons à la terre :

II.6.1 les protections contre les effets de l'électrocution :

II.6.1.1. Protection contre les chocs électriques :

Tant que les schémas de connexion à la terre sont utilisés et exécutés conformément aux normes prescrites, ils garantissent une protection uniforme contre les chocs électriques.

II.6.1.2. Protection contre le risque d'incendie d'origine électrique :

Dans les systèmes TT et IT lors du premier défaut d'isolement, où l'ampérage entraîné par le défaut est respectivement faible ou très faible, le risque d'incendie est faible. d'autre part:

- ✓ En cas de défaut franc, l'intensité du courant entraîné par le défaut d'isolement est élevée dans les réseaux de type TN, et les dommages occasionnés sont importants.
- ✓ Dans le cas de défauts d'impédance, le schéma TN réalisé sans différentiel n'assure pas une protection suffisante et il est recommandé de passer au schéma TN-S associé à l'utilisation de différentiels.
- ✓ En fonctionnement normal, le système TN-C présente un risque d'incendie plus élevé que les autres systèmes. En effet, le courant de déséquilibre de charge circule en permanence non seulement dans le conducteur PEN, mais également dans les éléments qui lui sont reliés : ossature métallique, masse, blindage...etc. Lors d'un court-circuit, l'énergie consommée dans ces trajets non planifiés est fortement augmentée. C'est pourquoi l'utilisation des systèmes TN-C est interdite dans les endroits où il y a un risque d'explosion ou d'incendie.
- ✓ Le choix du schéma IT évite toutes les conséquences néfastes d'un défaut d'isolement :
 - Creux de tension.

- Effets parasites des courants de défaut.
- Dommages matériels.
- Ouvrir le chargeur défectueux. Sa bonne utilisation rend la deuxième erreur vraiment impossible.

Remarque : La continuité de l'approvisionnement dépend de plusieurs dispositions fonctionnant ensemble telles que le doublement des sources, les onduleurs, la sélectivité des protections, le système informatique et le service de maintenance.

II.6.1.3. Protection contre les surtensions :

La protection est une considération essentielle dans tous les schémas de mise à la terre. Pour choisir le mode de protection approprié, il faut tenir compte de l'exposition du site, de la nature de l'établissement et des équipements utilisés. Il est crucial de comprendre les différences entre les différentes méthodes de mise à la terre, y compris la mise à la terre du système, de l'équipement et de la protection contre la foudre. Une mise à la terre adéquate peut empêcher les chocs électriques, protéger l'équipement contre les dommages et même éviter les incendies. Engagé dans une activité. Décider de la quantité et de la qualité des zones équipotentielles est crucial pour déterminer les mesures de protection appropriées telles que les parafoudres pour les lignes des systèmes électriques entrants ou sortants.

Remarque :

Les parafoudres sont souvent nécessaires lors de l'utilisation du système TT. Ces mesures ne peuvent être supprimées d'aucun régime. Le réseau IT nécessite un limiteur de surtension pour se prémunir contre les surtensions provoquées par les défauts MT.

II.6.1.4. Protection contre les perturbations électromagnétiques :

Le choix du schéma est indifférent :

- Pour toutes les perturbations de mode différentiel pour toutes les perturbations (mode commun ou mode différentiel) de fréquence supérieure au MHz.
- Les schémas TT, TN-S et IT peuvent donc satisfaire à tous les critères de compatibilité électromagnétique. On notera seulement que le schéma TN-S amène davantage de perturbations pendant la durée du défaut d'isolement, car le courant de défaut est plus élevé.
- En revanche les schémas TN-C ou TN-C-S sont déconseillés : dans ces schémas, le

conducteur PEN, les masses des matériels et les blindages des câbles sont parcourus par un courant permanent lié au déséquilibre des charges. Ce courant permanent crée des chutes de tension perturbatrices entre les masses des matériels sensibles reliés au PEN.

- La présence d’harmoniques de rang multiple de trois a amplifié nettement ce courant dans les installations modernes.

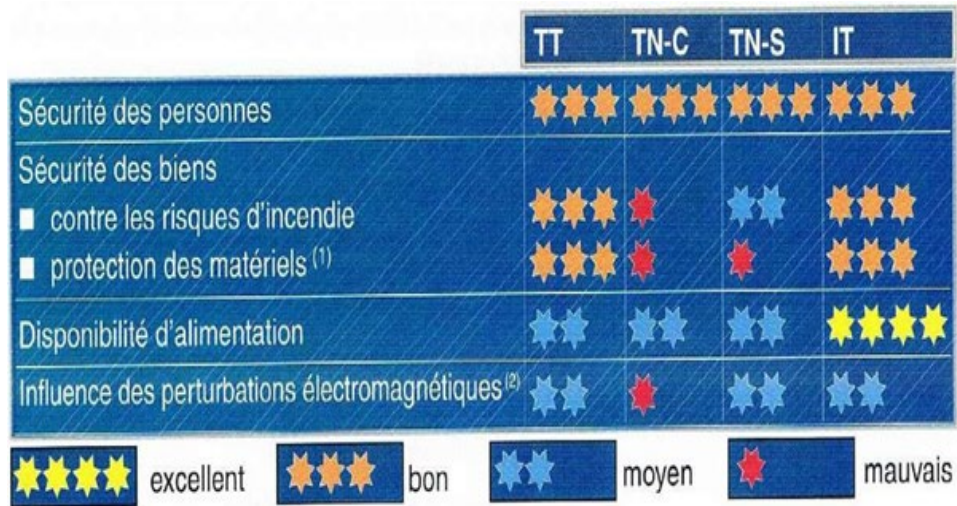


Figure II.10: Comparaison entre les différents SLT. [14]

- : Cas de défaut d’isolement.
- : Ensemble des perturbations électromagnétiques :
 - Externes : défaut sur réseau de distribution HT, surtensions de manœuvre, surtensions d’origine atmosphérique ...
 - Interne : courant de défaut d’isolement, harmoniques sur réseau BT. [14]

II.6.2. Choix des Schémas de Liaison à la Terre :

Les SLT, qui sont normalisés à l'échelle mondiale dans le cadre de la réglementation IEC364, partagent l'objectif commun d'assurer une sécurité optimale.

Sous réserve du respect de toutes les règles d'installation et de fonctionnement, les trois schémas de raccordement à la terre offrent des niveaux de protection des personnes équivalents.

Comme chaque schéma de connexion à la terre a ses propres caractéristiques uniques, il est impossible de faire un choix prédéterminé sans un examen attentif. Pour que cette décision soit prise, l'utilisateur doit consulter le concepteur du réseau, qui peut inclure les

bureaux d'études de l'installateur et d'autres parties concernées, afin de s'assurer que tous les facteurs sont pris en compte :

- 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.[14]

II.6.3. Méthodologie pour choisir les Schémas de Liaison à la Terre :

- Il est essentiel de garder à l'esprit que les trois schémas de raccordement à la terre peuvent être présents dans une seule installation électrique, garantissant ainsi une sécurité et une disponibilité optimales.
- Il est important de vérifier que le choix n'est pas imposé ou suggérée par des normes ou réglementations telles que des décrets ou des arrêtés ministériels.
- Engagez une conversation avec l'utilisateur pour comprendre ses besoins et ses ressources :
 - besoin de continuité de service.
 - service d'entretien ou non.
 - risque d'incendie.

Globalement :

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

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

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

- Risque d'incendie : IT si service d'entretien et emploi de DDR 0,5 A ou TT.
- Tenir compte de la spécificité du réseau et des récepteurs :
 - Réseau très étendu ou à fort courant de fuite : préférer le TN-S.
 - Utilisation d'alimentations de remplacement ou de secours : préférer le TT.
 - Récepteurs sensibles aux forts courants de défaut (moteurs) : préférer le TT ou l'IT.
 - Récepteurs à faible isolement naturel (fours) ou avec filtre HF important (gros ordinateurs): préférer le TN-S.
 - Alimentation des systèmes de contrôle-commande : préférer l'IT (continuité de service) ou le TT (meilleure équipotent alité des appareils communicants). [14]

II.7. Conclusion :

Les schémas de connexion actuellement utilisés dans les installations électriques ont été présentés dans ce chapitre. La sécurité d'approvisionnement est fortement influencée par le système neutre, qui joue un rôle crucial pour assurer la continuité du service, la protection du réseau et la sécurité du personnel. Il existe des situations où s'appuyer uniquement sur un seul schéma de liaison à la terre peut ne pas être la solution optimale. Dans de nombreux cas, il convient d'exécuter plusieurs schémas de raccordement à la terre dans une même installation.

En matière d'installations, il est généralement préférable d'opter pour une conception en « râteau » qui priorise les sources de secours ou les alimentations sans interruption et les distingue clairement, plutôt qu'une installation arborescente monolithique. Le troisième chapitre sera dédié aux résultats expérimentaux des différentes manipulations du SLT : cas du schéma TT.

Chapitre III

Résultats

Expérimentaux

III.1. Introduction :

Dans ce troisième et dernier chapitre de ce mémoire nous exposons et analysons les résultats obtenus suite aux essais expérimentaux effectués au sein de l'Institut National Spécialisé à la Formation Professionnelle (INSFP) Oumeddour Abdelhak W. Guelma. Les expériences ont été réalisées sur un banc d'essai pédagogique des schémas de liaison à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", de la société Schneider Electric.

Cette partie expérimentale, qui comprend six essais, est concentré uniquement autour du régime TT, qui est le seul régime fonctionnel actuellement. Nous commençons, donc, par un aperçu complet du banc d'essai utilisé avant de passer aux résultats expérimentaux et leurs discussions.

III.2. Description de l'ensemble : [14]

- Un ensemble pédagogique nommé "SLTXM200" a été créé dans le but de fournir une étude et une compréhension approfondies des normes et réglementations de sécurité concernant les schémas de connexion à la terre (SLT) et leur sélection et mise en œuvre appropriées.
- L'équipement comporte deux surfaces de travail entièrement séparées et isolées, permettant à deux groupes d'apprenants de réaliser simultanément des exercices pratiques.
- L'étude des schémas de raccordement à la terre TT/TN est facilitée d'un côté, tandis que l'autre offre la possibilité d'examiner le schéma de raccordement à la terre de l'IT XM200.
- L'équipement est composé de deux faces de travail sur sa moitié supérieure. Chacun représente une installation de distribution d'équipements et de machines à plusieurs endroits, indispensable pour la compréhension et la mise en œuvre pratique. Pour le raccordement aux prises sécurisées, le câblage s'effectue à l'aide de cordons souples munis de fiches (voir Fig.III.1).
- La partie inférieure contient des appareils de contrôle et de protection de l'ensemble, ainsi que des résistances de puissance de valeurs variables qui simulent des défauts et indiquent la valeur du courant. Différents types de disjoncteurs sont également utilisés, comme la montre (la Figure III.2).

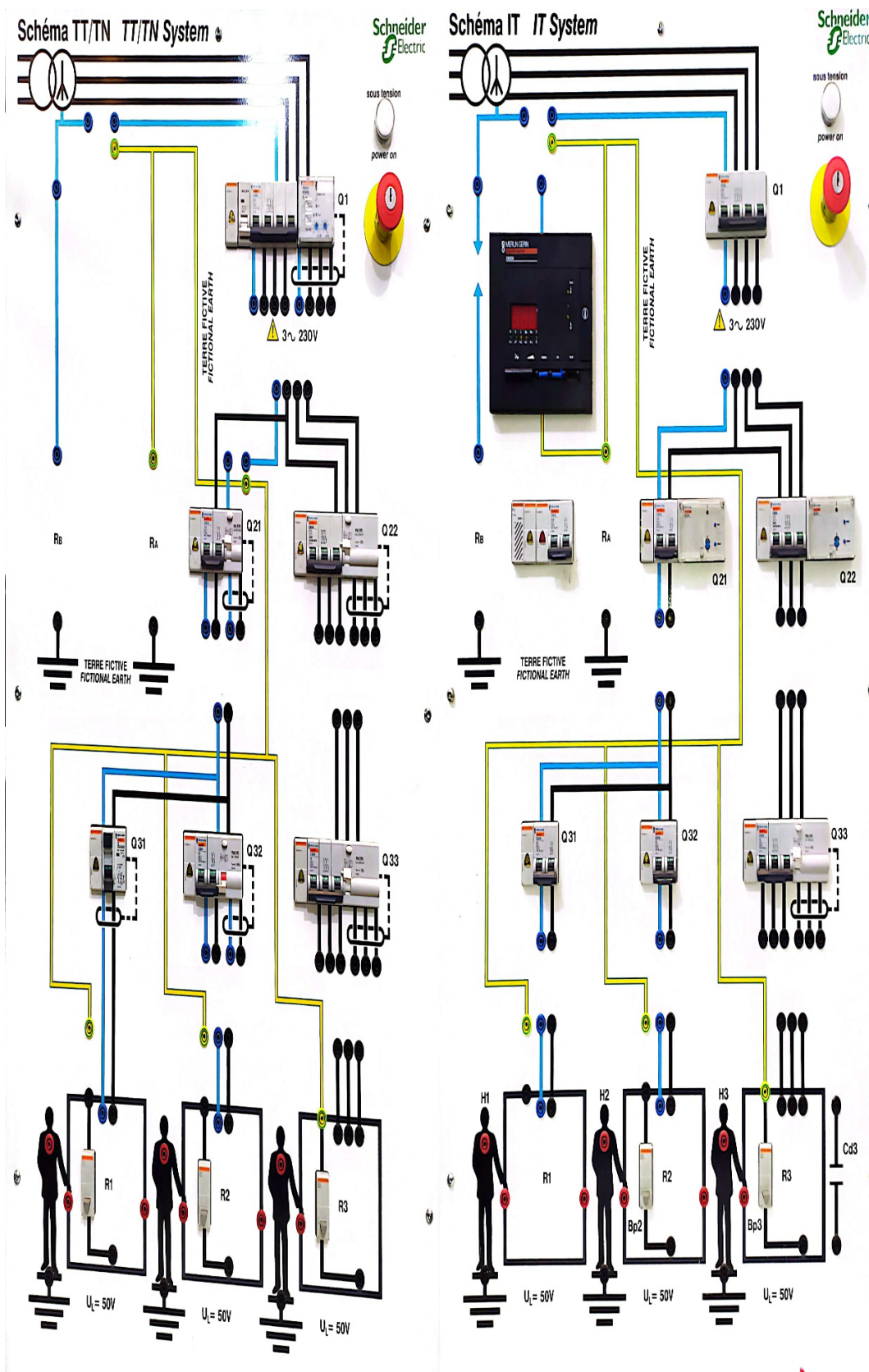


Fig.III.1 : Schéma TT/TN et l'autre face celle du Schéma IT. [14]

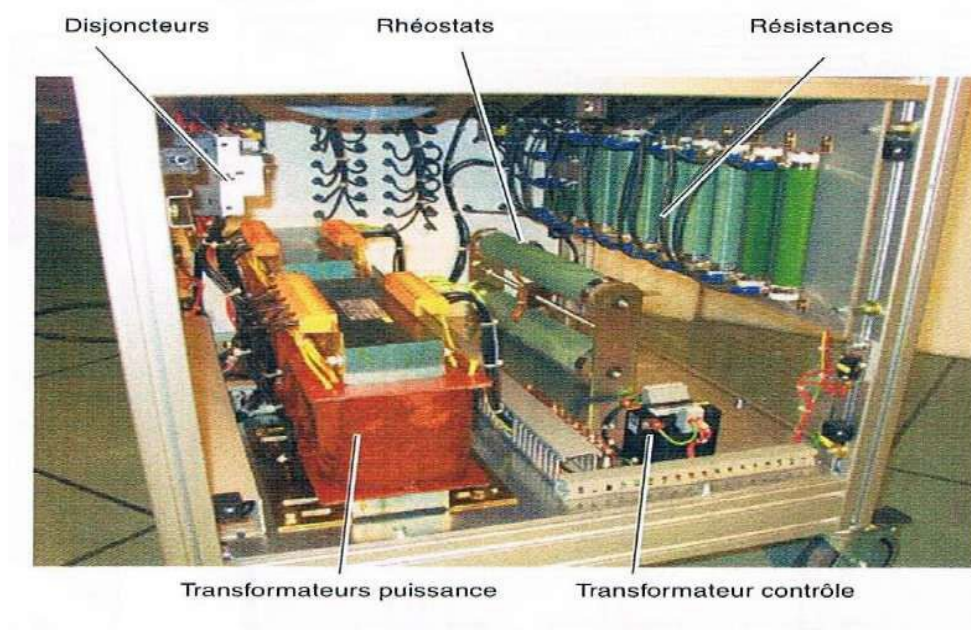


Figure III.2: Partie inférieure du banc d'essais.[14]

➤ Assurer les mesures de sécurité tout en maintenant l'autorité. Chaque aspect a son propre ensemble de contrôles sécurisés et de protections qui fonctionnent indépendamment. La procédure de répartition sur les faces de travail est la suivante :

*L'appareil est relié à un réseau présentant une configuration triphasée 400V + terre.

*En cas de problème de sécurité (voir chapitre "Chaîne de sécurité"), la tension des deux côtés est coupée par l'entrepreneur général (KMO) (comme illustré à la Fig.III.3).

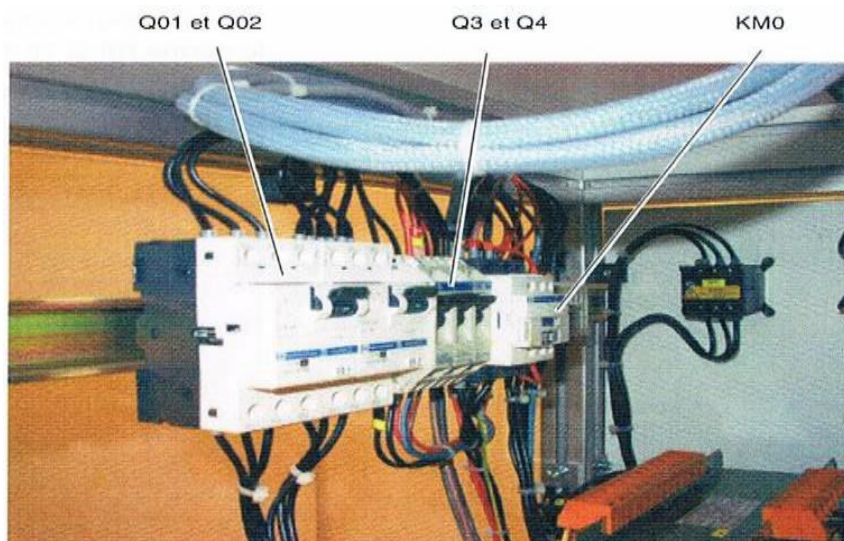


Fig.III.3 : Protection et commande du banc [14]

○ **Pour chaque Côté :**

- Disjoncteurs magnétothermiques (Q01 et Q02) pour la protection des transformateurs (Figure III.3).
- Interrupteurs triphasés Q3 et Q4 (Figure III.3).
- Un transformateur de puissance triphasé triangle/étoile de 2 KVA (TR1 et TR2) avec distribution de tension sur la face utile de 230V triphasé entre phases et 130V entre phase et neutre (Figure III.2).

▪ **Côté "Croquis TT/TN"**

- Cette face montre les appareils installés dans trois pièces.
 - La salle 1 et la salle 2 contiennent chacune un récepteur monophasé (R_1 et R_2). Ils sont classés dans des conditions normales et la tension limitée normale (U_L) doit être inférieure à 50V
 - La salle 3 contient un récepteur triphasé (R_3), qui est classé comme normal et doit avoir une tension limitée habituelle (U_L) inférieure à 50 V.
 - La tension limite générale (U_L) est déterminée par la norme NFC15-100.
 - Il est supposé que le récepteur R_3 est installé dans une pièce où il y a un risque d'incendie.
 - Les dispositifs de coupure et de protection à partir du transformateur côté utilisateur de l'équipement sont :
 - Disjoncteur tétrapolaire calibre Q1 16A avec relais Vigirex réglable pour différentes intensités de défaut (de 30mA à 1A avec des facteurs multiplicateurs de 1, 10, 100 et 1000, temporisation de déclenchement instantané réglable jusqu'à 1 seconde), qui Une plage réglable de 30mA à 1A est donnée (Figure III.4).
Il est également équipé d'un additif et d'un indicateur de sous-tension. Peut-être câblé avec ou sans relais Vigirex.

○ **Distribué sur deux circuits**

- Le premier est protégé par un interrupteur de neutre sommé Q21 calibre 10A Protection différentielle fixe 300mA et un indicateur. Peut-être câblé sans protection différentielle.

- Le second est protégé par un disjoncteur Q22 triphasé 10A percé avec protection différentielle fixe 300mA et indicateur. Le câblage peut être réalisé sans protection différentielle (Figure III.4).

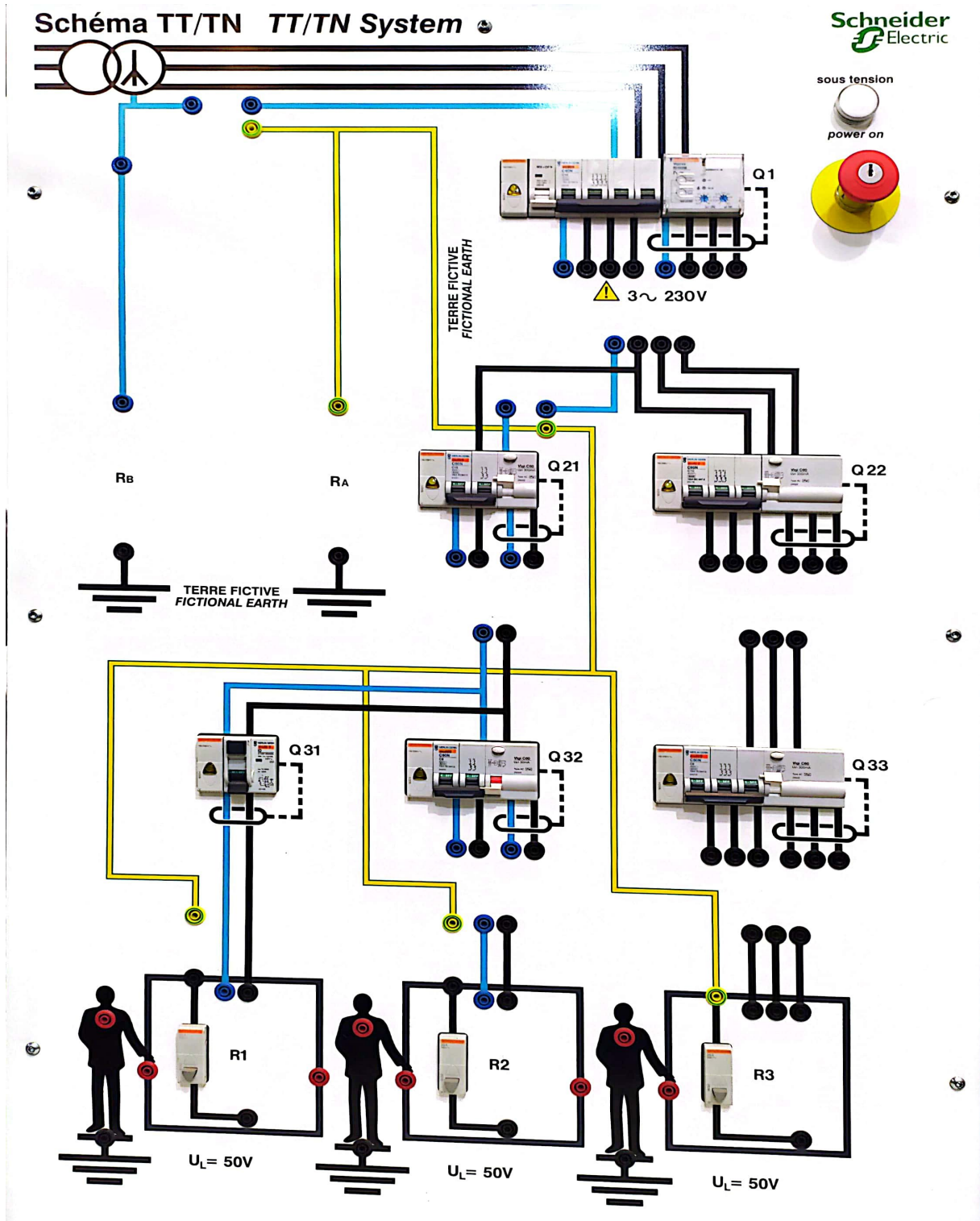


Fig.III.4 : Face Schéma SLT TT.[14]

○ **Puis un gardien par chambre**

Pour la chambre (R_1), ajouter un interrupteur différentiel neutre Q31 calibre 25A, protection différentielle 10mA, fixe (Figure III.4). Le local (R_2) est protégé par un disjoncteur sommateur neutre Q32 calibre 6A avec protection différentielle fixe 30mA et indicateur. Le câblage peut être réalisé sans protection différentielle (Figure III.4).

Le local (R_3) est protégé par un disjoncteur Q33 triphasé 6A avec protection différentielle fixe 300mA et voyants lumineux. Le câblage peut être réalisé sans protection différentielle (Figure III.4).

Tous les liens sont restaurés via des sockets sécurisés. Le système comporte des fentes qui permettent aux connexions de résistance d'imiter les défauts. Plus précisément, une résistance représentant la résistance de ligne de connexion de masse théorique est connectée à l'emplacement " R_A ". Une résistance est liée à l'emplacement " R_B " pour signifier la résistance de ligne lors de la connexion du neutre à la terre, comme indiqué sur (la Figure III.4.)

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

- Le point neutre du transformateur est directement relié à la terre R_B .
(Première lettre T)
- Masse utilisateur du récepteur connecté directement à la masse R_A .
(Deuxième lettre T)
- Le conducteur PE ne doit pas être coupé.
- Dans toutes les pièces, la tension de contact UC doit rester $\leq U_L$: soit

$$R_A \cdot I_f \leq U_L \dots\dots\dots (III.1) \quad \text{ou} \quad R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L \dots\dots\dots (III.2)$$

R_A : Résistance de terre du groupe d'utilisateurs du récepteur.

i_f : Le courant de fuite qui assure le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps spécifié par la courbe de sécurité.

$I_{\Delta n}$: seuil nominal du dispositif DDR

U_L : tension limitée de sécurité habituelle pour le lieu considéré (valeur limite maximale de la tension de contact pouvant rester indéfiniment inférieure au seuil de tension dangereuse).

Schéma simplifié :

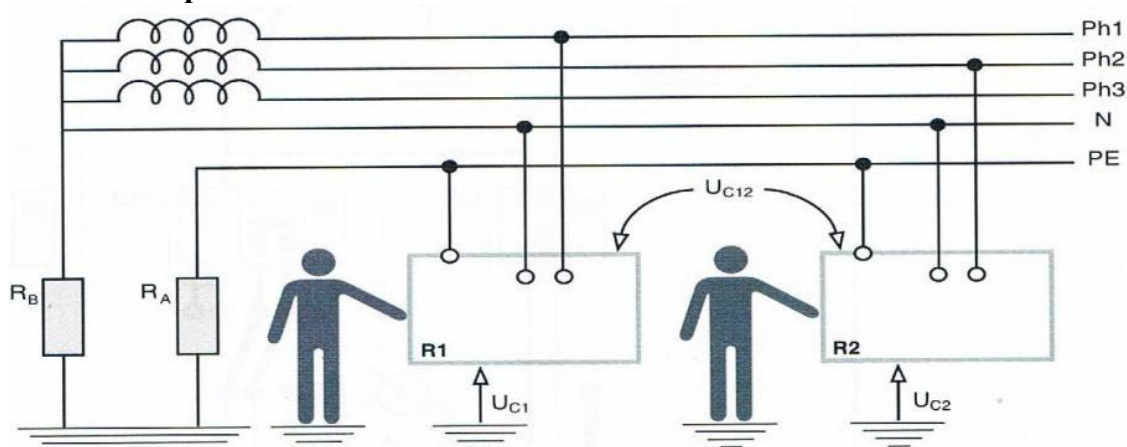


Fig.III.5 : Déclenchement au premier défaut. [14]

Les circuits de défaut sont créés à l'aide de résistances conçues pour effectuer des manipulations spécifiques. Le degré de ces manipulations est déterminé par la valeur des résistances, qui décide également du courant de déclenchement. Ces résistances peuvent être connectées sur des prises côté TT/TN, ainsi que sur des prises sécurisées côté résistance, potentiomètre et rhéostat.

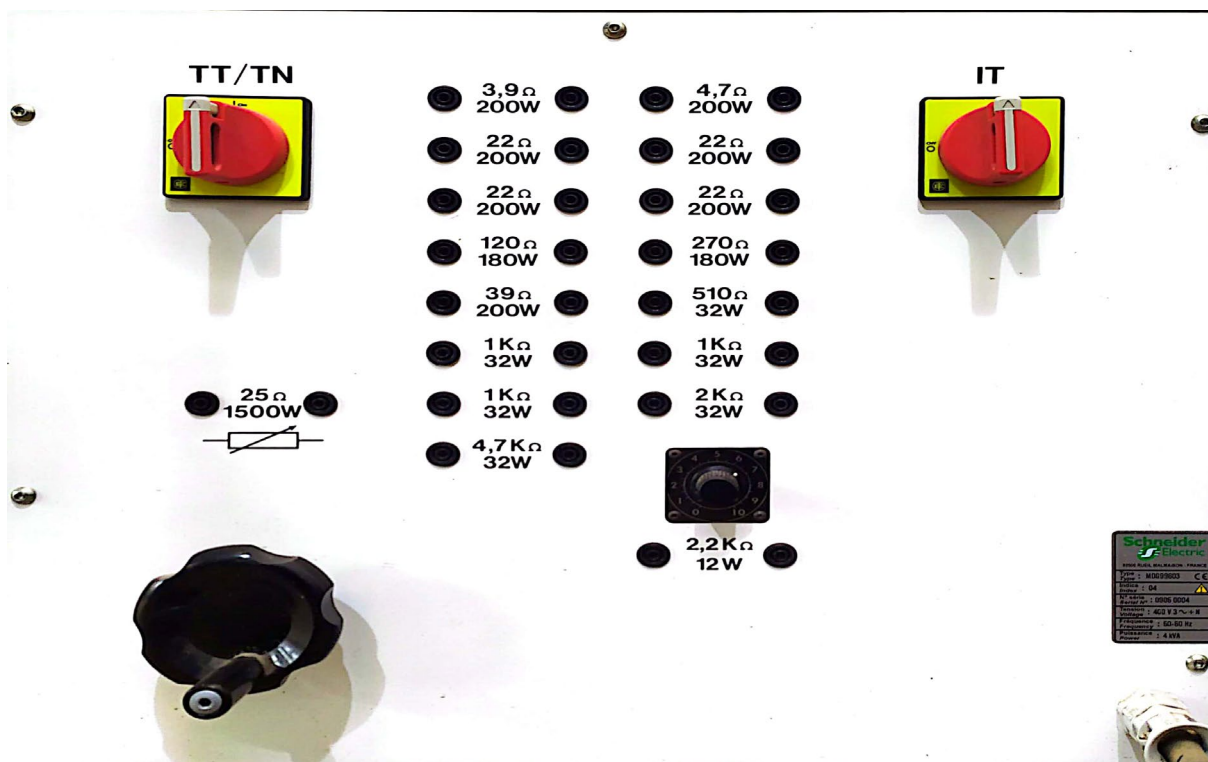


Fig.III.6 : Douilles sécurisées des résistances, potentiomètre et rhéostat. [14]

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 :** Empêcher les disjoncteurs thermomagnétiques d'offrir une protection contre les contacts indirects

b) Schéma de montage et manipulation :

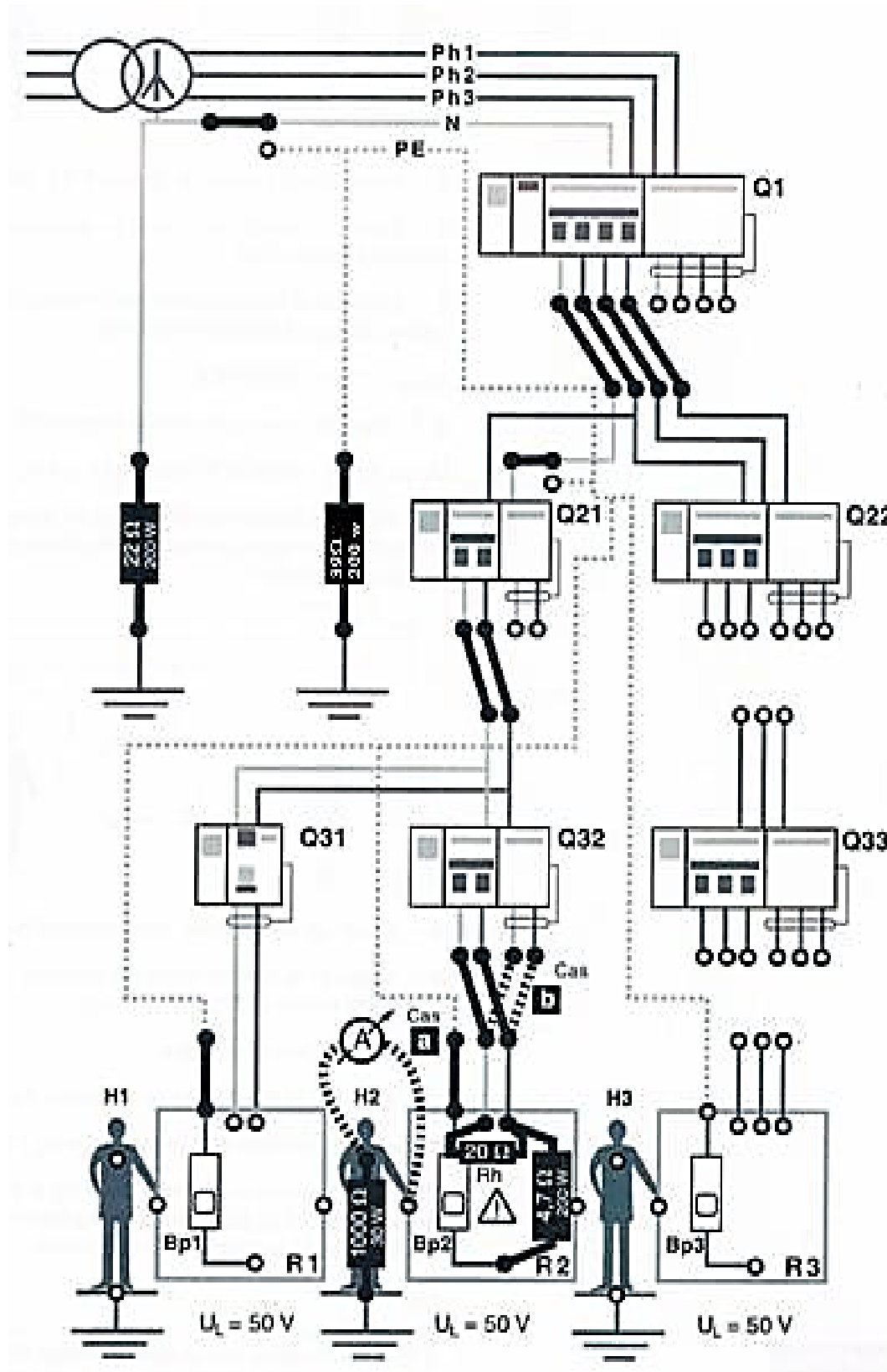


Fig.III.7 : Schéma de montage Manipulation 01 SLT TT. [14]

Expérience A

- 1- Ouvrir tous les sectionneurs (Q1 à Q33).
- 2- Effectuez le montage correspondant à l'opération 1. (pour une charge de 20 Ω sur la sortie n°2 utiliser une varistance).
- 3- Mettez sous tension Q1, Q21 et Q32.

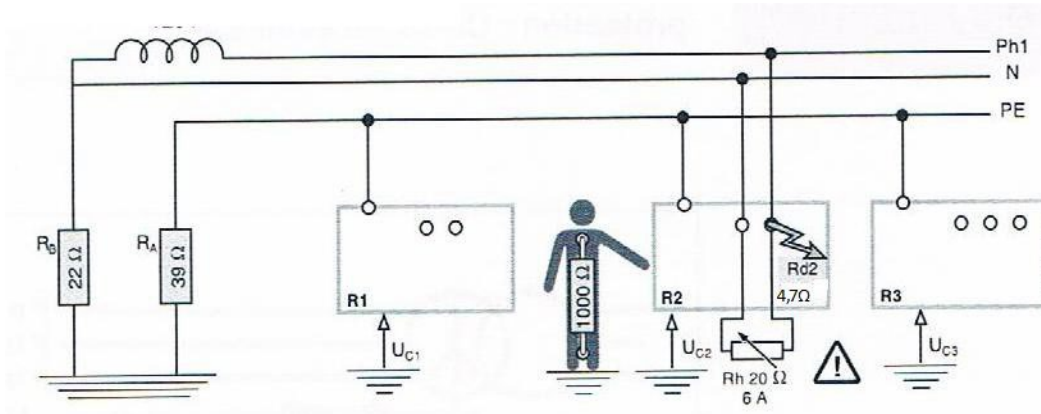


Fig.III.8 : Schéma équivalent de la figure III.7. [14]

- 4- Créer un défaut dans le récepteur R2 en appuyant sur Bp2 ($R_A=39\Omega$ et $R_{d2}=4.7\Omega$).
- 5- Calculer le courant de défaut théorique I_d et déterminer U_{C1} et U_{C2} .

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d + R_h} = \frac{127}{39 + 22 + 4.7 + 22} = 1.481 \text{ A} \dots\dots\dots \text{(III.3)}$$

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

- 6- Mesurez la tension entre la masse du récepteur et la terre

$U_{C3} = 54\text{V} > U_L = 50\text{V}$: **Dangereux**

$U_{C2} = 54\text{V} > U_L = 50\text{V}$: **Dangereux**

$U_{C1} = 54\text{V} > U_L = 50\text{V}$: **(pas de disjoncteur déclenché)**

- 7- Mesurer le courant traversant H2. $I_{H2} = 1.2\text{A}$

Note :

- Bien que le circuit ait été chargé aux limites de Q32 ($I_n = 6.2A$), nous avons remarqué qu'un défaut à la terre n'a pas déclenché le déclenchement de l'aimant chaud Q32.
- Bien que le disjoncteur Q31 soit ouvert, il y a une tension excessive entre la masse du récepteur R_1 et la masse. ($U_{C1} = 54V > U_L = 50V$). Cette tension, dangereuse dans la pièce humide où réside R_1 , est renvoyée par l'interconnexion de la masse.

Expérience B:

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

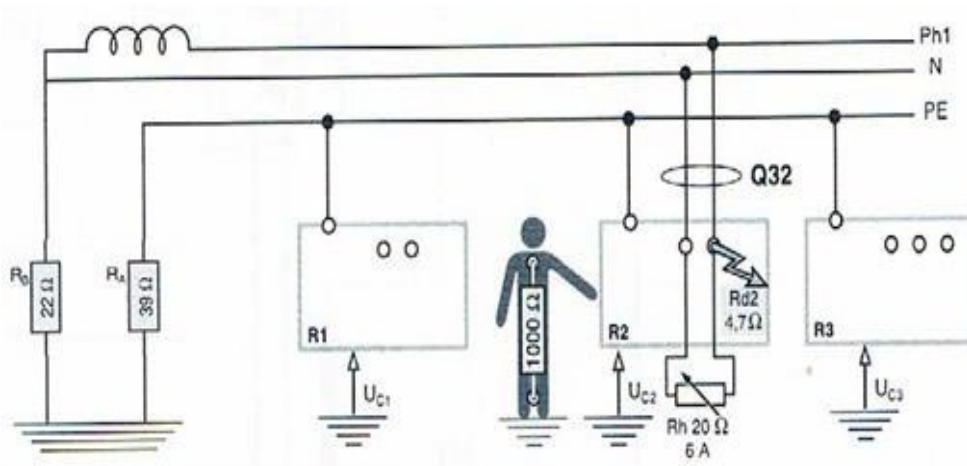


Fig.III.9 : Schéma équivalent de la figure III.7 ($R_A = 39\Omega$). [14]

9- Mettre sous tension en fermant Q32.

10- Créer un défaut dans le récepteur R_2 en appuyant sur $Bp2$ ($R_A = 39\Omega$ et $R_{d2} = 4.7\Omega$) : Déclencher Q32 immédiatement : plus de danger aux niveaux de tension renvoyés à la qualité du récepteur.

c) Conclusion :

En conclusion, la protection par DDR est importante pour la sécurité.

III.3.1.2. SLT TT Manipulation 02 :

a) Objectif :

Bien que l'utilisation de disjoncteurs différentiels soit impérative, elle ne suffit pas à elle seule à garantir une protection complète.

- Sélection du seuil $I_{\Delta n}$.

Schéma de montage et manipulation :

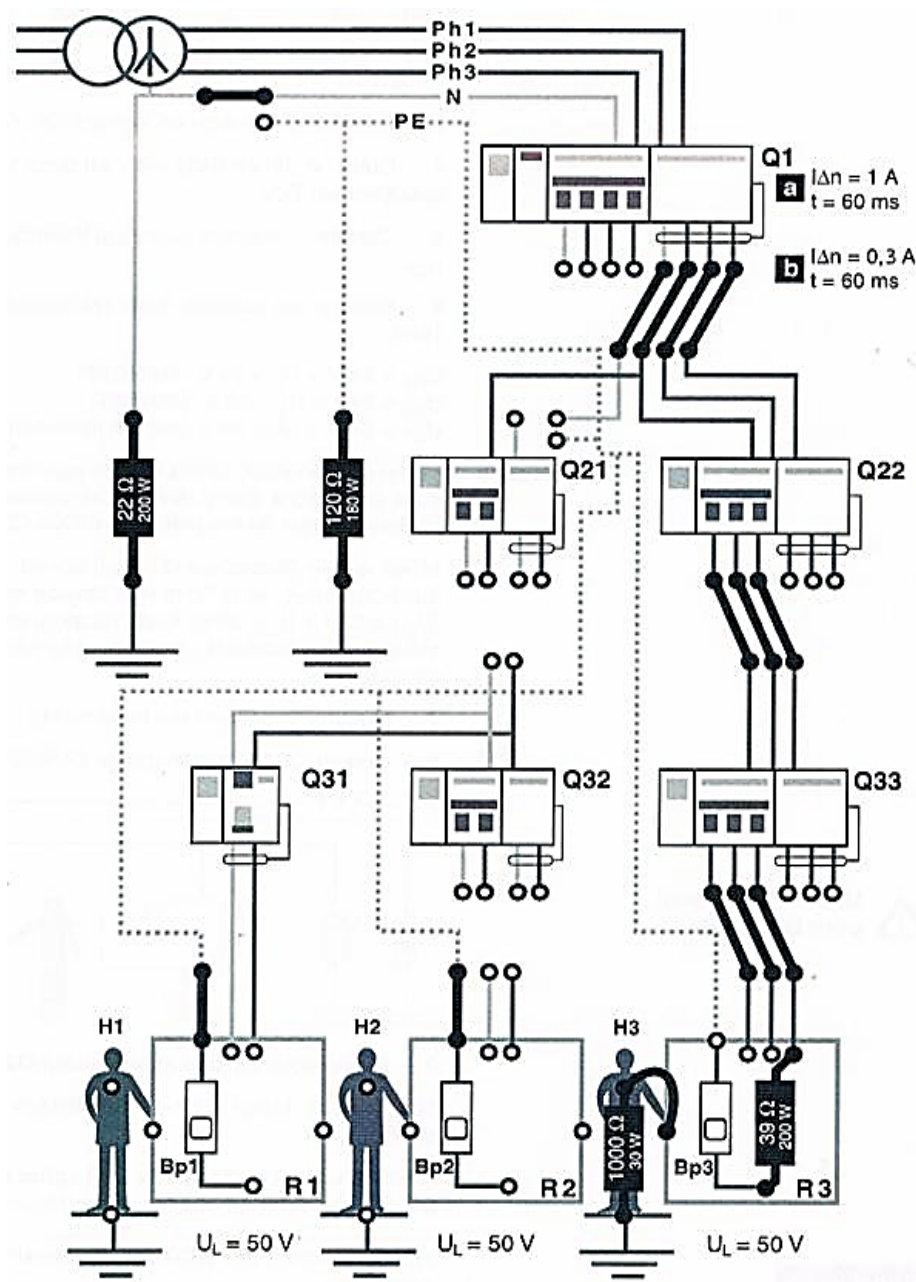


Fig.III.10 : Schéma de montage Manipulation 2 SLT TT. [14]

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 $t = 60 \text{ ms}$.

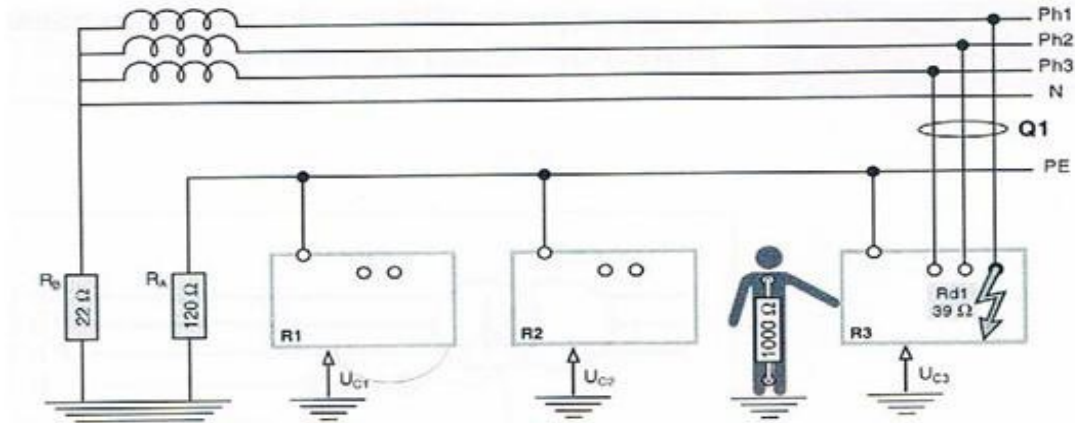


Fig.III.11 : Schéma équivalent de la figure III.10.[14]

- 4- Mettez sous tension en éteignant Q1, Q22 et Q33.
- 5- Appuyez sur Bp3 pour créer un défaut dans le récepteur R3.
- 6- Mesurez la tension entre la masse du récepteur et la terre.

- $U_{C3} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Salle 3 : **DANGER**
- $U_{C2} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Salle 2 : **DANGER**
- $U_{C1} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Salle 1 : **DANGER**

- 7- Calculer le courant de défaut I_d , vérifier la valeur mesurée de UC et la valeur de UC Calculée :

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{39 + 22 + 120} = 0.701 \text{ A} \dots \dots \dots (III.5)$$

$U_c = I_d \times R_A$ Alors

$$U_{C2} = U_{C3} = U_{C1} = I_d \times R_A = 0.701 \times 12 = 84.19 \text{ V} \dots \dots \dots (III.6)$$

Expérience B :

8- Ouvrir Q01.

9- Régler le différentiel de Q1 à : $\frac{U_{Lmin}}{R_A} \leq \frac{50}{120}$,

Soit : $I_{\Delta n} \leq 0.42$ A et $t = 60$ ms. On fixera $I_{\Delta n} = 0.3$ 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 établir une installation, une valeur R_A spécifique doit être utilisée (sans possibilité de sélection mais avec un potentiel d'amélioration). Les éléments suivants doivent être présents : L'équation pour I est exprimée comme :

$$I_{\Delta nmax} \leq \frac{U_{Lminimum \text{ des locaux d'installation}}}{R_A}$$

III.3.1.3. SLT TT Manipulation 03**a) Objectif :**

- L'emploi de DDR est nécessaire, mais insuffisant, pour garantir la protection. -
- Sélection de la valeur R_A appropriée selon le DDR existant.

b) Schéma de montage et manipulation

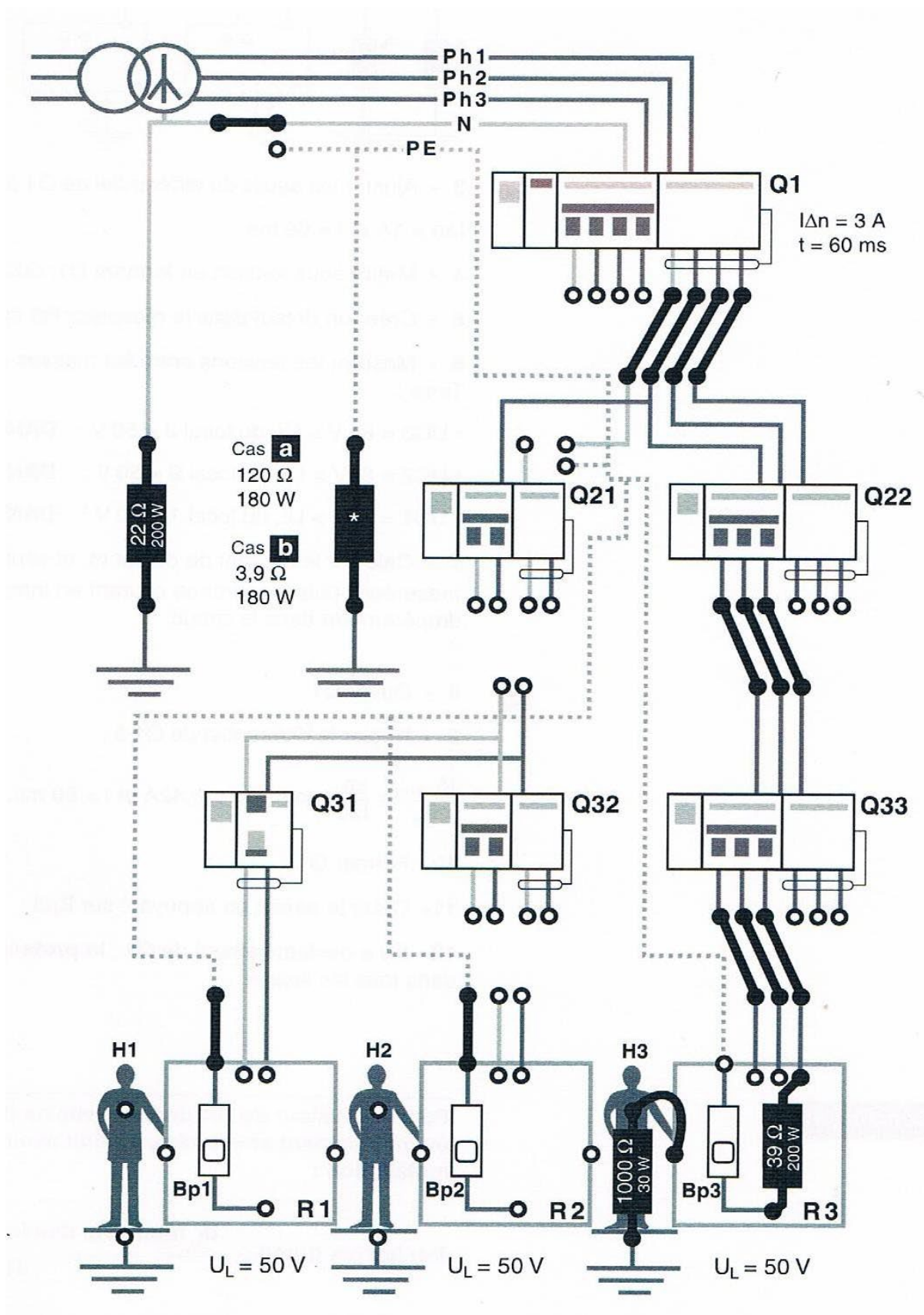


Fig.III.12 : Schéma de Liaison à la Terre TT Manipulation 03. [14]

Expérience A :

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2- Effectuez le montage correspondant à l'opération 3.

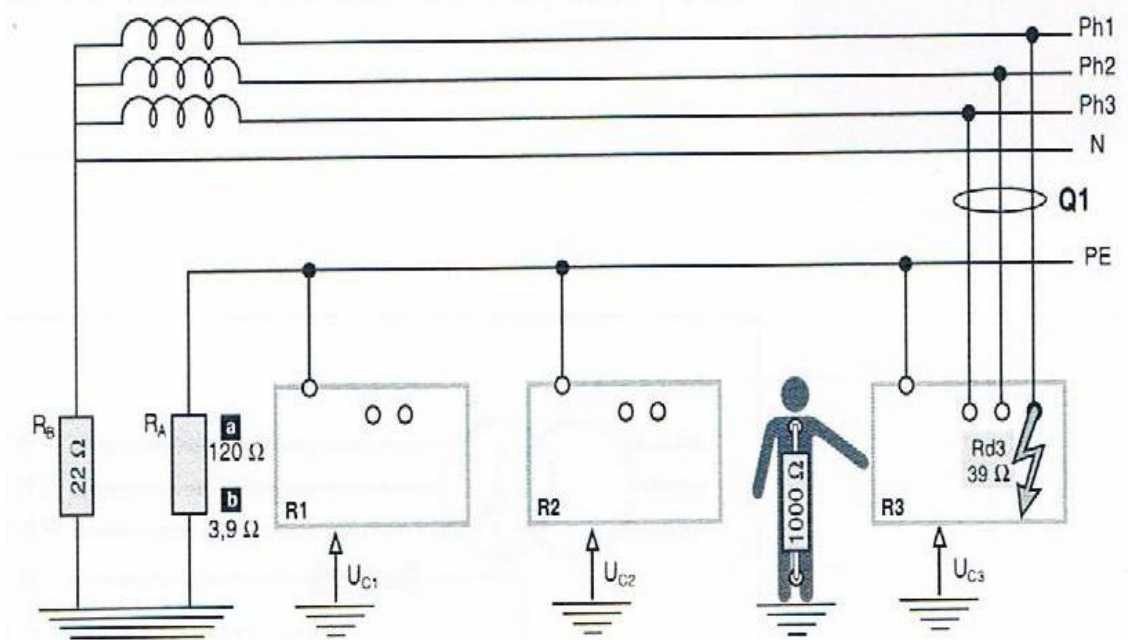


Fig.III.13 : Schéma équivalent de la figure III.12. [14]

- 3- Ajuster le seuil différentiel Q1 à : $I_{\Delta n} = 3 \text{ A}$ et $t = 60\text{ms}$
- 4- Mettez sous tension en éteignant Q1, Q22 et Q33.
- 5- Appuyez sur Bp3 pour créer un défaut dans le récepteur R3.
- 6- Mesurer la tension entre la masse du récepteur et la Terre.

- $U_{C3} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Salle 3 : **DANGER.**
- $U_{C2} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Salle 2 : **DANGER.**
- $U_{C1} = 85 \text{ V} > U_L = 50 \text{ V}$ pour Pièce 1 : **DANGER**
- Vérifier ces mesures en calculant le courant de défaut I_d .

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{39 + 22 + 120} = 0.701 \text{ A} \dots\dots\dots \text{(III.7)}$$

$$U_C = I_d \times R_A$$

Alors :

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

Expérience B :

- 7- Ouvrir Q1.
 8- Remplacer $R_B = 120 \Omega$ par $R_A = 3,9 \Omega$ (200W).
 9- Fermer Q1.
 10- Appuyez sur Bp3 pour créer un défaut.
 11- Mesurer la tension entre la masse du récepteur et la terre :

- $U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = 8V$: **aucun danger**

Vérifier ces mesures en calculant le courant de défaut I_d

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

$U_c = I_d \times R_A$ donc :

$$U_{C_2} = U_{C_3} = U_{C_1} = I_d \times R_A = 0.701 \times 3.9 = 7.631 \text{ V} \dots \dots \dots \text{(III.10)}$$

c) Conclusion : En conclusion, si la prise de terre des masses utiles (RA) est d'une certaine valeur pour le $I_{\Delta n}$ choisi, alors le système de protection est réputé efficace. L'équation (III.11) est la suivante :

$$R_A \leq \frac{UL_{\text{minimum des locaux d'installation}}}{I_{\Delta n}} \dots \dots \dots \text{(III.11).}$$

III.3.1.4. SLT TT Manipulation 04 :**a) Objectif :**

Tout d'abord, le but : Déclenché par des différentiels placés à différents niveaux.

b) Schéma de montage et manipulation:

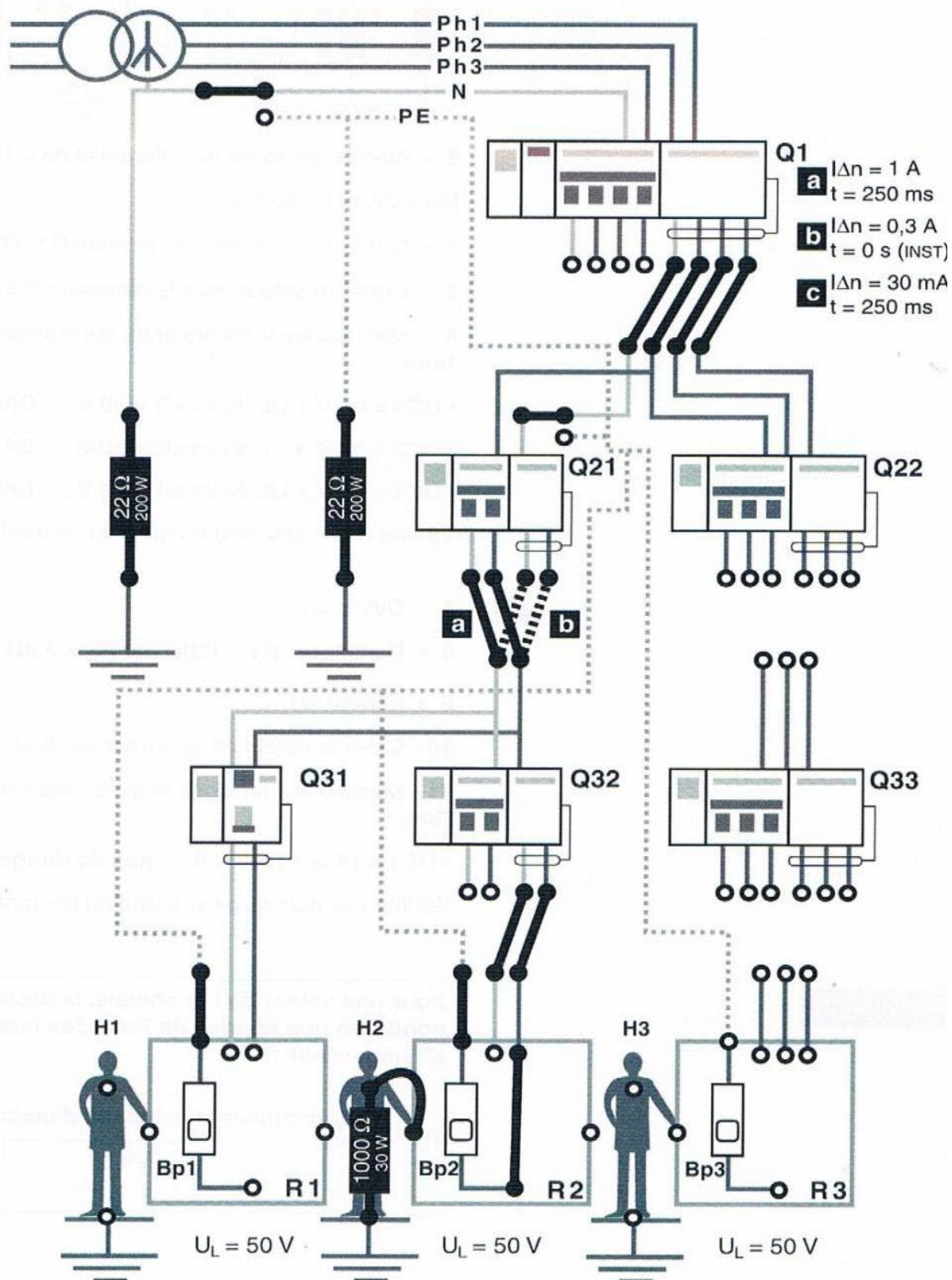


Fig.III.14 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 4[14]

Expérience A :

- 1-Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2-Faire le montage correspondant à l'opération 4
- 3-Ajuster le seuil différentiel Q1 à : $I_{\Delta n} = 1A$ et $t = 250$ ms
- 4-Mettez sous tension en éteignant Q1, Q21 et Q32.
- 5-Créer un défaut dans le récepteur R2 en fermant Bp2.
 - Q32 Le disjoncteur différentiel est ouvert.
 - Il y a une sélectivité entre la DDR Q32 (instantanée) et la DDR Q1 (temporisée 250ms). Ceci fournit **une protection sélective**.

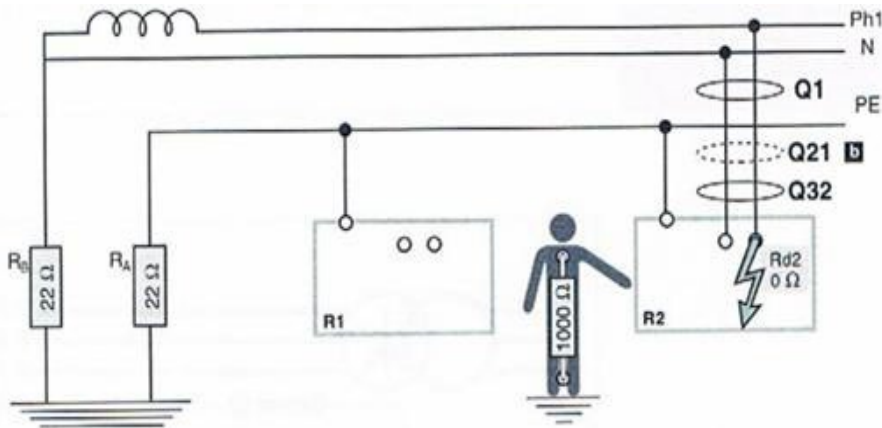


Fig.III.15 : Schéma équivalent de la figure III.14.[14]

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

Expérience B :

- 7-Créez un défaut dans le récepteur R2 en fermant Bp2 :
 - Ouverture d'un des disjoncteurs Q32, Q21 ou Q1, ouvert hasardeusement à partir de la dispersion des courbes de déclenchement de chaque appareil.
 Il n'y a pas de différence entre les différentiels Q32, Q21 et Q1, tous sont instantanés.

Expérience C :

- 8-Construire l'expérience A. Ajuster le seuil Q1 à : $I_{\Delta n} = 30$ mA et $t = 250$ ms
- 9-Créez une faute matérielle dans le récepteur R2 en fermant Bp2 :
 - Q32 s'ouvre avant Q1
 Un déclenchement retardé de Q1 permet une sélectivité entre Q32 et Q1.

c) Conclusion :

En conclusion, Un DDR temporisé doit toujours être relié à un DDR instantané en aval

III.3.1.5. SLT TT Manipulation 05

a) Objectif

- Pour atténuer le risque d'incendie, il est crucial d'établir le seuil

b) Schéma de montage et manipulation :

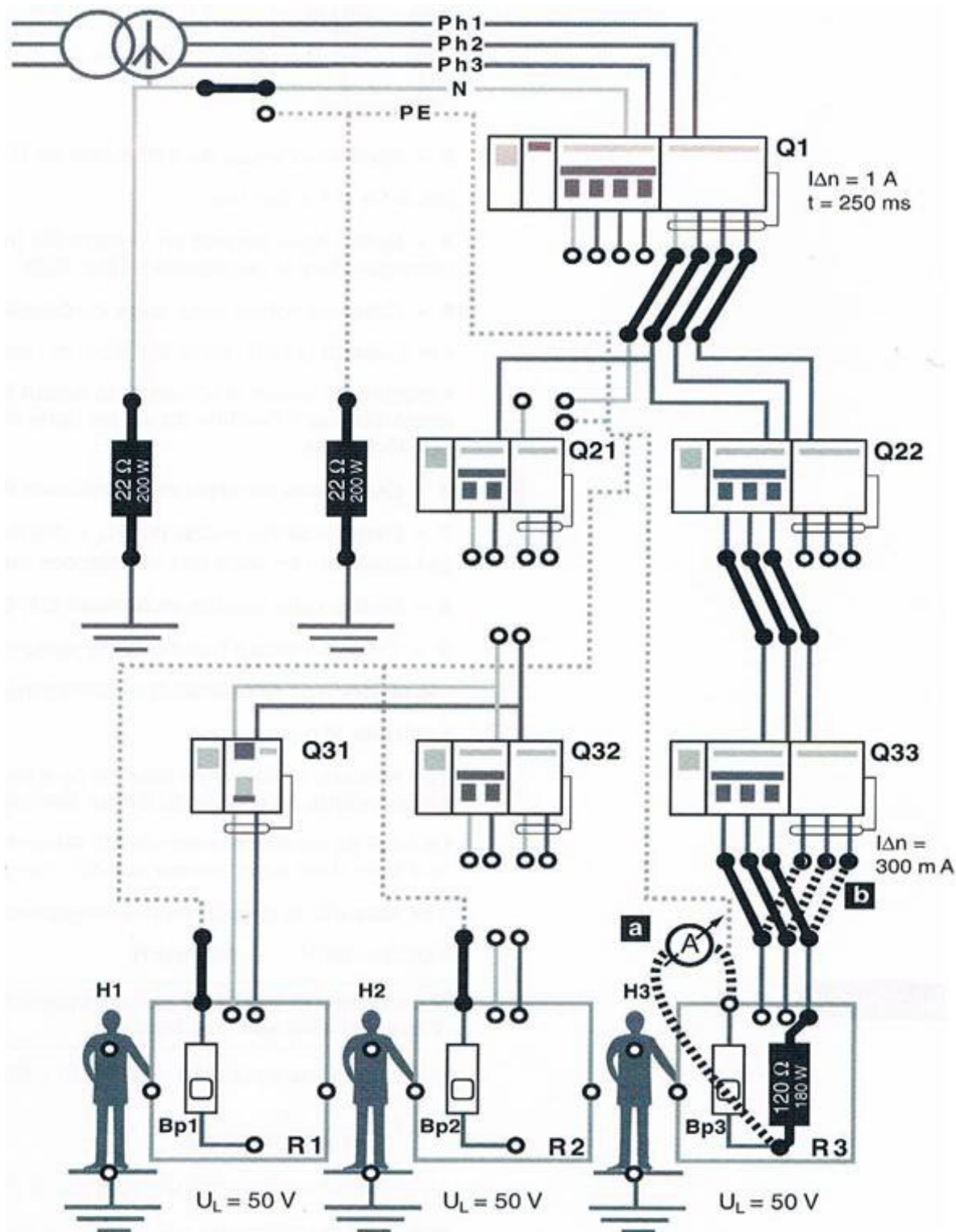


Fig.III.16 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 5[14]

Expérience A :

- 1- Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2- Effectuez le montage correspondant à l'opération 5.
- 3- Régler le seuil différentiel Q1 à $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$ et $t = 250 \text{ ms}$
- 4- Mettez sous tension en éteignant Q1, Q22 et Q33.
- 5- Appuyez sur Bp3 pour créer un défaut 120Ω dans le récepteur R3 :

 - Le disjoncteur Q33 ne s'ouvre pas.
 - Calcul du courant de défaut I_d .

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 120} = 0.774 \text{ A} \dots \dots \dots \text{(III.11)}$$

$U_c = I_d \times R_A$ donc :

$$U_{C_2} = U_{C_3} = U_{C_1} = I_d \times R_A = 0.774 \times 22 = 17.036 \text{ V} \dots \dots \dots \text{(III.12)}$$

- 6- Placer un ampèremètre aux bornes de Bp3 et mesurer le courant de fuite à la terre :
 - $I_d = 800 \text{ mA}$: risque d'incendie dû à $I_d > 500 \text{ mA}$
 (500 mA = courant limite pouvant provoquer l'incandescence du point de contact de deux parties conductrices).

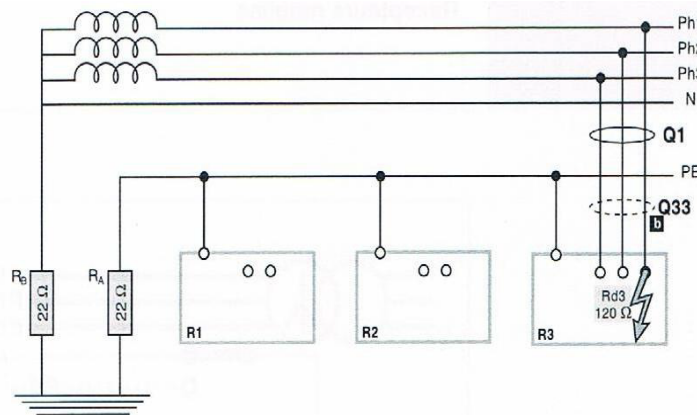


Fig.III.17 : Schéma équivalent de la figure III.15 [14]

Expérience B :

- 7 - Débrancher l'ampèremètre.
- 8- Ouvrir Q33.
- 9- Connecter R3 au DDR Q33, sensibilité sur $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$.
- 10- Fermer Q33.
- 11- Créer un défaut 120Ω dans le récepteur R3 en fermant Bp3 :
 - Le disjoncteur différentiel Q33 est ouvert.

c) Conclusion :

Pour assurer la sécurité, il est nécessaire de protéger les récepteurs situés dans des locaux potentiellement dangereux avec des différentiels. Conformément à l'article 482.2.10 de la norme NF C 15-100, les DDR doivent avoir un seuil $I_{\Delta n}$ inférieur ou égal à 300 mA.

III.3.1.6. SLT TT Manipulation 06 :

a) Objectif :

Mesures de protection pour les appareils mobiles.

b) Schéma de montage et manipulation :

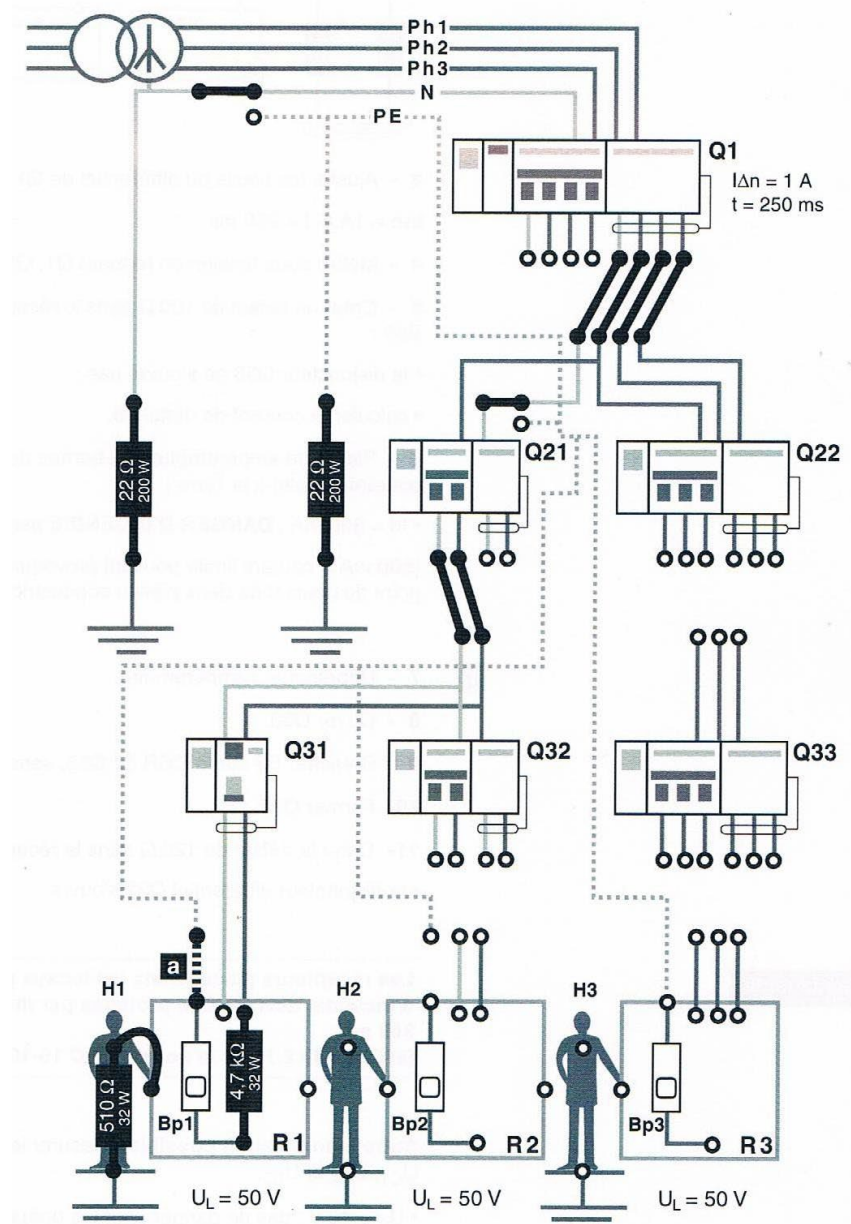


Fig.III.18 : Schéma de montage SLT TT Manipulation 6.[14]

Expérience A :

- 1-Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2-Effectuez le montage correspondant à l'opération 6.
- 3-Mettre sous tension en éteignant Q1, Q21, Q31.
- 4-Créer un défaut 4,7 kΩ dans le récepteur R1 en désactivant Bp1 :

- L'interrupteur différentiel Q31 est ouvert : donc protégé
- Calcul du courant de défaut I_d .

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 4700} = 0.0267 \text{ A} \dots \dots \dots \text{ (III.13)}$$

$U_c = I_d \times R_A$ Alors :

$$U_{C_1} = U_{C_2} = U_{C_3} = I_d \times R_A = 0.0267 \times 22 = 0.5889 \text{ V} \dots \dots \dots \text{ (III.14)}$$

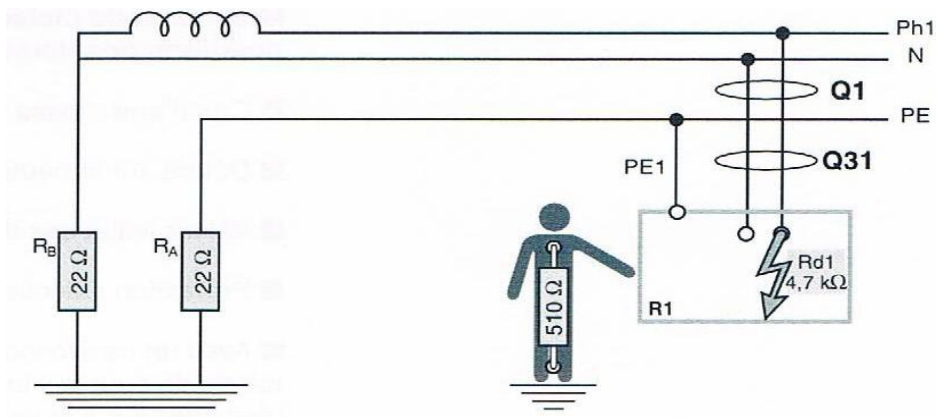


Fig.III.19 : Schéma équivalent de la figure III.17.[14]

Expérience B :

- 5-Retirer la masse de la masse du récepteur R1 en retirant le pont PE1. (Simulant un câble rompu).

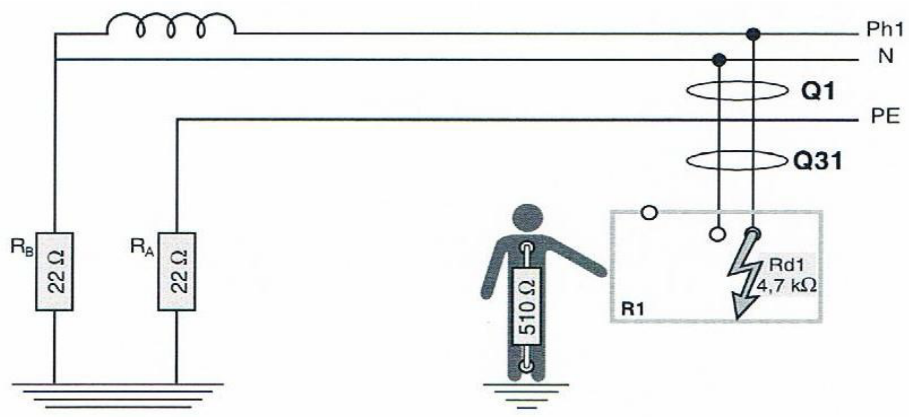


Fig.III.20 : Schéma équivalent de la figure III.17. [14]

6-Créer un défaut 4,7 kΩ dans le récepteur R1 en éteignant Bp1 : - Interrupteur différentiel Q31 ($I_{\Delta n} = 10\text{mA}$) ouvert : également protégé.

- Calcul du courant de défaut I_d

$$I_d = \frac{u_0}{R_A + R_B + R_d} = \frac{127}{22 + 22 + 4700} = 0.0267 \text{ A} \dots \dots \dots \text{(III.15)}$$

$U_c = I_d \times R_A$ Alors :

$$U_{C_2} = U_{C_3} = U_{C_1} = I_d \times R_A = 0.0267 \times 22 = 0.588 \text{ V} \dots \dots \dots \text{(III.16)}$$

c) Conclusion :

Il est essentiel de tirer une conclusion bien équilibrée qui résume toutes les informations présentées. En cas de coupure du câble de mise à la terre des récepteurs mobiles, un DDR à seuil de 10mA garantit la protection des personnes.

Remarque :

Si le courant I_n est de 32 A ou moins, il est recommandé d'utiliser des différentiels à haute sensibilité pour les récepteurs mobiles comme pratique normative.

III.4. Conclusion :

Les résultats divulgués dans ce chapitre révèlent que :

Pour garantir la sécurité, la protection par DDR est une condition nécessaire.

L'utilisation du DDR est un composant essentiel, mais il ne garantit pas à lui seul la sécurité. Pour assurer une sécurité maximale, il est impératif d'effectuer des calculs précis.

Le seuil du courant différentiel résiduel, $I_{\Delta n}$, est déterminé sur la base d'une valeur spécifique de R_A .

Le seuil de résistance de ligne en connexion de masse, R_A , est déterminé pour une valeur spécifique de $I_{\Delta n}$. choisi.

Il est indispensable d'appairer un disjoncteur différentiel (DDR) temporisé avec un DDR instantané en aval.

Pour assurer la sécurité, les locaux à risque d'incendie doivent disposer de récepteurs équipés de DDR (Dispositifs Différentiels) à seuil $I_{\Delta n 3}$.

Pour assurer la sécurité personnelle dans le cas improbable d'une rupture du câble de mise à la terre d'un récepteur mobile, un DDR de protection à seuil de 10 mA est incorporé.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les risques électriques liés à une non mise en sécurité des installations électriques peuvent présenter de réels dangers pour la vie des personnes et des biens matériels, car une personne soumise à une tension électrique subit, selon l'importance de celle-ci, des effets plus ou moins graves pouvant aller jusqu'à la mort.

Parmi les solutions proposées pour protéger les personnes et les biens matériels, les SLT, qui ont fait l'objet de ce mémoire.

- Chaque schéma se différencie par le mode de connexion du neutre de la source d'alimentation par rapport à la terre, ainsi que la manière dont on met à la terre les masses métalliques de l'installation.
- D'après la norme IEC364, on peut distinguer trois types de SLT :
 - TT - mise à la terre du neutre, et mise à la terre des masses métalliques,
 - TN - mise à la terre du neutre, mise au neutre des masses métalliques,
 - IT -neutre isolé de la terre, mise à la terre des masses métalliques,
- Ces trois schémas ont pour objectif commun d'assurer la meilleure protection des biens et des personnes contre les défauts d'isolement. Ils peuvent coexister dans une même installation électrique ce qui garantit d'obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.
- En matière d'installations, il est généralement préférable d'opter pour une conception en «râteau » qui priorise les sources de secours ou les alimentations sans interruption et les distingue clairement, plutôt qu'une installation arborescente monolithique.
- Sur le plan de la protection des personnes, les 3 régimes sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.
- Etant donné les caractéristiques spécifiques à chaque régime, il ne peut donc être question de faire un choix à priori.
- Ce choix doit résulter d'une concertation entre l'utilisateur et le concepteur de réseau sur:
 - ✓ Les caractéristiques de l'installation,
 - ✓ Les conditions et impératifs d'exploitation.

Globalement :

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

- Les extensions sont simples à réaliser (pas de calcul).
- Continuité de service non impérative et service d'entretien compétent : préférer le TN-S (réparation et extensions rapides et exécutées selon les règles).
- Continuité de service non impérative et pas de service d'entretien : préférer le TT.
- Risque d'incendie : IT si service d'entretien et emploi de DDR 0,5 A ou TT.
- Tenir compte de la spécificité du réseau et des récepteurs :
- Réseau très étendu ou à fort courant de fuite : préférer le TN-S.
- Utilisation d'alimentations de remplacement ou de secours : préférer le TT.
- Récepteurs sensibles aux forts courants de défaut (moteurs): préférer le TT ou l'IT.
- Récepteurs à faible isolement naturel (fours) ou avec filtre HF important (gros ordinateurs): préférer le TN-S.
- Alimentation des systèmes de contrôle-commande : préférer l'IT (continuité de service) ou le TT (meilleure équipotent alité des appareils communicants) [2].
- 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.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] Jean-Pierre NZURU NSEKERE. « Contribution à l'analyse et à la réalisation des mises à la terre des installations électriques dans les régions tropicales. Thèse de doctorat. Université de Liège-Belgique.2009.
- [2] Yousif El-Tous, Salim A. Alkhalaf, An Efficient Method for Earth Resistance Reduction Using the Dead Sea Water, Energy and Power Engineering, Vol. 6, pp. 47-53, April 2014.
- [3] Boussaid Hayet, Mise à la terre, Mémoire Master, Université Akli Mohand Oulhadj, Soutenu le 16 /11/2017
- [4] J. He, R. Zeng, and B. Zhang, Methodology and technology for power system grounding. John Wiley and Sons Singapore Pte. Ltd., 2013
- [5] Mr : Tahar ROUIBAH, Contribution à la modélisation et à la simulation des prises de terre des installations électriques, these doctota, UNIVERSITE FERHAT ABBES - SETIF 1 UFAS, Soutenu le : 11/11/2015.
- [6] Bonnefoy M. & Lepeut P., « Risques Physiques : Les Schémas de Liaisons à la Terre ou Les régimes des neutres », 2008, www.cnam.fr/physique/.../LES_REGIMES_DES_NEUTRES_2008_JJB.pdf
- [7] Jérémie ADJAGBE, Etude comparative de plusieurs configurations de prise de terre sur un sol multicouches, Mémoire Master, UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI, 2021-2022.
- [8] Legrand X., « Modélisation des systèmes de mise a la terre des lignes électriques soumis a des transitoires de foudre », Thèse de Doctorat en Sciences, l'Ecole Doctorale Electronique, Electrotechnique et Automatique de Lyon, 2007.
- [9] George Semaan/évaluation de l'effet de la mer et du contre poids sur le profil de la tension d'un système de mise à la terre d'une ligne de transport d'énergie à haute tension, école de technologie supérieure, université de quebec, septembre2011
- [10] <https://fr.scribd.com/document/335223733/ELT-FLY-BT-CC-030-v1-01-pdf>.
- [11] Cahier technique n°172 Les schémas des liaisons à la terre en BT(régime de neutre).
- [12] "Etude d'un défaut d'isolement en régime TT, IT, TN"
<https://www.technologuepro.com/electricite-generale/chapitre-7-Regimes-de-neutre.pdf>
- [13] Cahier technique n°178 : Le schéma IT à neutre isolé des liaisons à la terre en BT.
- [14] brochure de bondonnai de schémas de liaisons à la terre avec recherche automatique de défaut "SLTXM200", Schneider Electric.

Annexes

Annexe 1 :

Le Dispositif Différentiel Résiduel (DDR)

I) Principe :

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

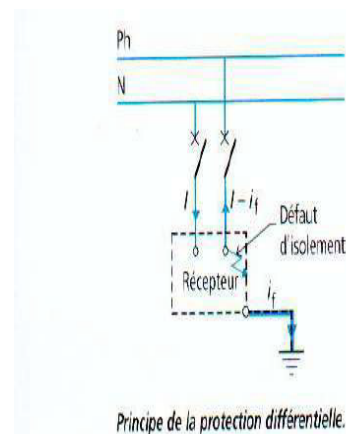
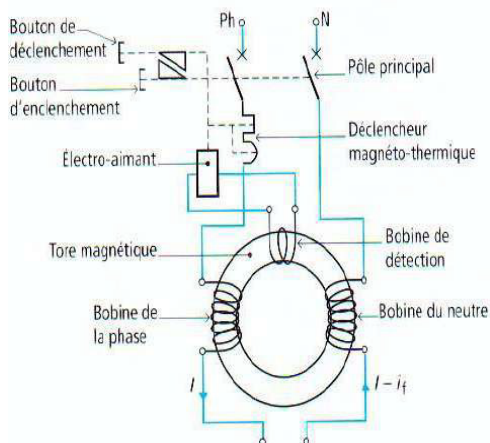
I-1) Principe De Fonctionnement.

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

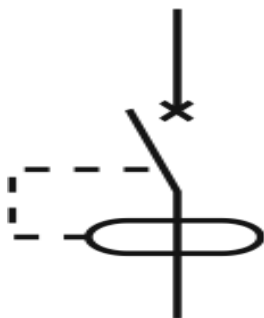
En l'absence de courant de fuite (ou courant résiduel de défaut), les flux produits par les bobines s'annulent, il ne se passe rien.

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

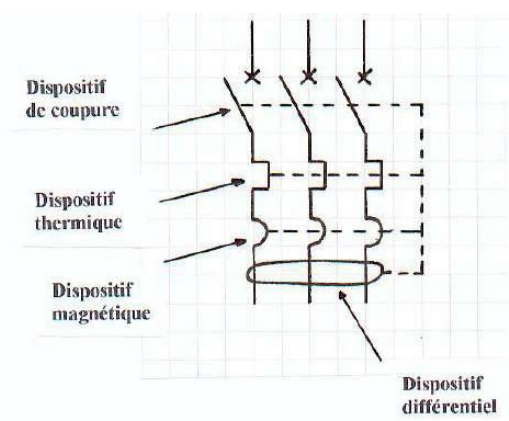
La bobine de mesure est alors le siège d'une force électromotrice qui alimente un petit électro-aimant provoquant le déverrouillage du disjoncteur.



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



Symbole d'un DDR



Symbole d'un disjoncteur différentiel

II) Caractéristiques Et Choix

II-1) Caractéristiques :

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

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

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

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

On distingue les appareils de :

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

- *Haute sensibilité* : 30, 12, 6 mA

II-2) Choix.

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

- Fonction assurée (interrupteur, disjoncteur).
- Intensité nominale du circuit à protéger : de 2 à 63 A(2,3,6,10,16,20,25,32,40,63).
- Tension du réseau et nombre de phase 230V, 400V.
- Tension limite de sécurité : 12, 25 ou 50 V suivant les locaux.
- Valeur de la résistance de terre des masses métalliques.

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

$$I_{\Delta n} = U_L / R_A$$

Δn : sensibilité du DDR en mA

U_L : tension limite de sécurité en volts

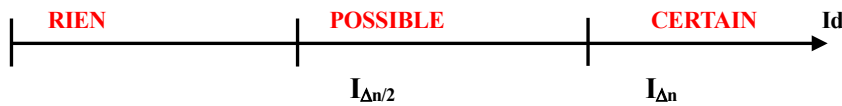
R_A : résistance de la prise de terre des masses en ohms

Exemples :

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

II-3) Seuil de réglage

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



II-4) Temps de déclenchement

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

Exemple:

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

III) Application:

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

- Disjoncteurs différentiels
- Interrupteurs différentiels
- Relais différentiels

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

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

Le disjoncteur différentiel est placé soit :

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



DDI bi 10-32 A

III-2) L'interrupteur différentiel (Fig1)

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

III-3) Relais différentiels (Fig 2)

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



Fig. 1



Fig.2



Fig.3

Annexe 2 :

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 créée 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.

