

11/1621.855

République Algérienne Démocratique 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



Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux Electriques

Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Diagnostic des défauts à la terre.

Présenté par :
SEDDIKI NOUHED
ABAI DI F.ZOHRA

Sous la direction de :
D^r LEMZADMI Ahcene.

Juin 2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال الله تعالى:

﴿ أَقْرَأَ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ * خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ * أَقْرَأَ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ * الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ * عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ﴾ صدق الله العظيم.

قال رسول الله صلى الله عليه و سلم:

(تعلموا العلم، فإن تعلمه لله خشية وطلبه عبادة و مذكراته تسبيح) رواه البخاري.

قال علي بن أبي طالب :

ما الفخر إلا لأهل العلم إنهم
و فخر كل امرء بما كان يعلمه
فقر بعلم تعيش حياته أبدا
على الهدى لمن إستهدى أدلاء
و الجاهلون لأهل العلم أعداء
الناس موتى و أهل العلم أحياء

قال الشاعر:

و ما من كاتب إلا سيفنى
و يبقى الدهر ما كتبت يداه
ما كتبت بكفك خير شيء
بسررك يوم القيامة أن تراه

و الله الموفق لخير ما يرضاه.

Dédicaces

Je dédis ce mémoire

À mes très chers parents pour leurs conseils et leurs encouragements

À mon très cher mari

À ma très chère petite fille « Ritej » et mon future bébé

À mes chers frères et sœurs

À toute ma belle famille

À tous mes amis sans oublier les amis de sonatrach

À toute ma promotion

Sans oublier tous les professeurs



SEDDIKI NOUHED



Dédicaces

Je dédis ce mémoire

A mes très chers parents pour leurs conseils et leurs encouragements

A mon très cher mari

A mes très chères petites filles et mes très chers petits garçons

A mes chers frères et sœurs

A toute ma belle famille

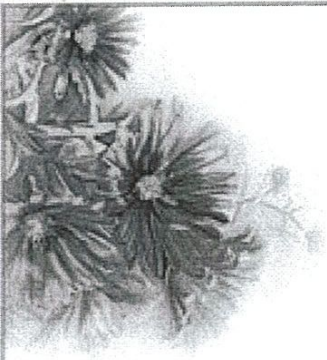
A tous mes amis

A toute ma promotion

Sans oublier tous les professeurs



ABAI DI F.ZOHRA



Remerciements

Notre profonde gratitude et nos plus grands remerciements vont en priorité à Dieu Tout Puissant qui sans Son aide, ce travail n'aurait jamais abouti.

Nous tenons à remercier en tout premier lieu D^r. LEMZADMI encadreur de ce mémoire de nous avoir proposé ce sujet et de nous avoir aidés par ses idées et ses conseils durant toutes les étapes de ce travail.

Nous remercions également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

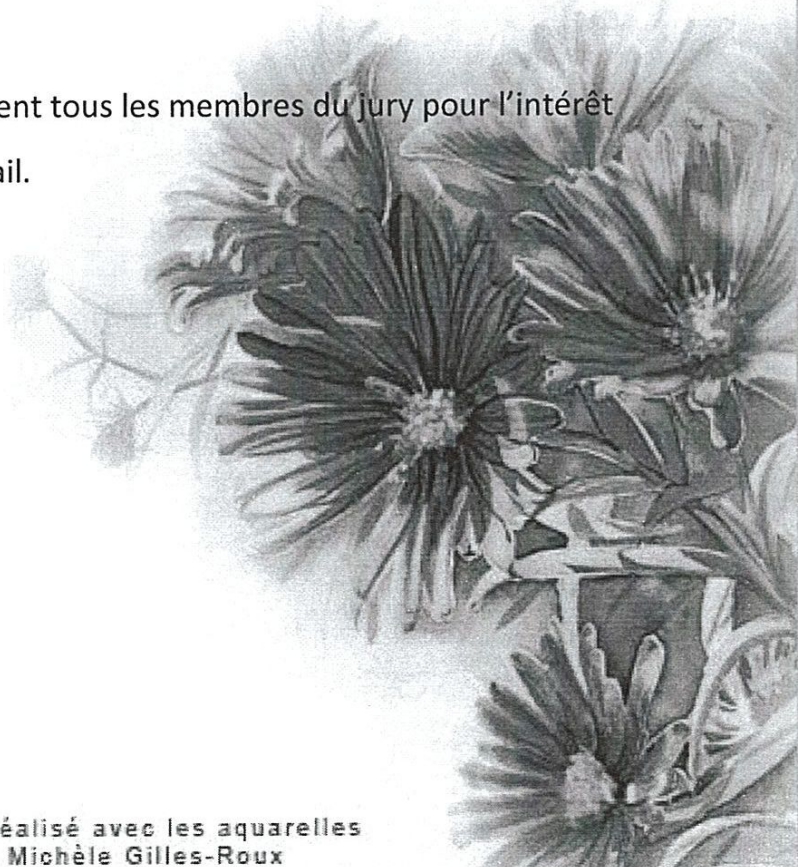


Table des matières

Designation	PAGE
Liste Des Abbreviations	
Liste Des Figures	
Liste Des Tableaux	
Introduction Générale	A
Chapitre I : Généralités Sur Les Mise A La Terre	
I.1. Introduction	2
I.2. Définition de la mise à la terre	2
I.3. Prise de terre et résistance de terre	3
I.3.1. Réalisation d'une prise de terre	3
I.4. Différents type de prise de terre	5
I.5. Rôle de la mise à la terre	5
I.5.1 sécurité des personnes et des animaux	6
I.5.2 protection des installations de puissance	8
I.5.3 protection des équipements sensibles	9
I.5.4 maintien d'un potentiel de référence	9
I.6. Résistivité de la terre et la résistance de la terre	9
I.7. Régime de neutre	11
I.7.1. Introduction	11
I.7.2. Les différents régimes de neutre	12
I.8. Influence de régime de neutre	15
I.8.1. Régime de neutre et courant de défaut.	15
I.8.2. Tension de contact	16
I.9. Le Dispositif Différentiel DDR	17
I.9.1. Définition d'un DDR	17
I.9.2. Principe de fonctionnement d'un DDR	17
I.9.3. Choix d'un dispositif différentiel	18

Table des matières

I.10. Les Effets physiologiques du courant électrique	19
I.10.1. Sensation du passage du courant électrique	19
I.10.2. Contraction musculaire	19
I.10.3. Arrêt respiratoire	19
I.10.4. Fibrillation ventriculaire	20
I.10.5. Risques de brûlures	20
I.10.6. Résumé du passage du courant dans l'organisme	20
I.11. Conclusion	21
Chapitre II : Etudes Des Différents Schémas (SLT)	
II.1. REGIME TN	23
II.1.1. Principe de fonctionnement	23
A. Schéma électrique	23
B. Boucle de défaut	24
II.1.2. Courbes de sécurité	24
II.1.3. Règles de protection pour le régime TN	25
II.1.4. Dispositifs de protection contre contacts indirects	26
A. Protection par fusible	26
B. Protection par disjoncteur	27
II.2. REGIME IT	29
II.2.1. Principe de fonctionnement	29
II.2.2. Règles de protection en régime IT	30
A. Premier défaut	30
II.2.3. Dispositif de protection contre contacts indirects au défaut	30
A. Protection par disjoncteur	31
B. Protection par fusibles	32
C. Contrôleur permanent d'isolement (CPI)	32

Table des matières

II. 3. REGIME TT	33
II.3.1.principe de fonctionnement	33
II.3.2. Dispositif de protection contre contacts indirects	35
A. Sensibilité du différentiel $I_{\Delta n}$	35
B. Emplacement des dispositifs différentiels	35
II.3.3.Caractéristiques techniques	36
II.3.4. Domaine d'utilisation de la mise à la terre	37
II.3.4.1 Schéma TN	37
II.3.4.2. Schéma IT	37
II.3.4.3. Schéma TT	38
II.4. Les avantages et les inconvénients des différents schémas	39
II.4.1. Schéma TN	39
A. Les Avantages	39
B. Les Inconvénients	39
II.4.2. Schéma IT	40
A. Les Avantages	40
B. Les Inconvénients	40
II.4.3. Schéma TT	41
A. Les Avantages	41
B. Les Inconvénients	41
II.5. Conclusion	42
Chapitre III : Les Différents Calculs Des SLT Et Mesure De La Résistance De Mise A La Terre	
III.1. Les différents Calculs des SLT	44
III.1.1. Schéma TN	44
A. Analyse d'un défaut d'isolement	44
B. Calcul de l'impédance de la boucle de défaut	45

Table des matières

C. Calcul de la tension de défaut	45
D. Calcul du courant de défaut	46
conclusion	46
III.1.2. Schéma IT	47
A. Analyse du premier défaut d'isolement (défaut simple)	47
B. Calcul du courant de défaut	47
C. Calcul de la tension de défaut	48
D. conclusion	48
E. Nécessité d'installer un Contrôleur Permanent d'Isolement	48
F. Analyse du deuxième défaut (défaut double)	48
III.1.3.Schéma TT	50
A. Analyse d'un défaut d'isolement	50
B. Calcul d'un courant de défaut	50
C. Calcul de la tension de défaut	51
D. Conclusion	51
III.1.4.Etude comparatif des résultats de calcul	52
III.2. Les mesures de la résistivité de sol et la résistance de la mise à la terre	52
III.2.1. Mesure des résistivités des sols	53
III.2.2. Mesure de la résistance de système de mise à la terre	55
III.2.2.1. Méthode des trois points	55
III.2.2.2. Méthode de chute de potentiel	56
III.3. Conclusion.	60
Conclusion General	62

Listes des Acronymes et Symboles

SLT	Schéma de liaison à la terre
NEC	Le code numérique électromagnétique
PE	Conducteur de protection
PEN	Conducteur de protection.
CPI	Contrôleur permanent d'isolement
$R_A = R_M$	Résistance de la prise de terre des masses.
R_d	Résistance du défaut
R_N	Résistance de la prise de terre du neutre.
C	Capacité
ρ	La résistivité de sol.
S	Section du conducteur en (mm ²).
Z_d	Impédance de la boucle de défaut (Ω).
$I_a = I_{\Delta n}$	Courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection (A).
U_0	Tension nominale entre phase et terre (V).
t_f	Temps de fusion du fusible pour le courant de défaut I_d .
t_0	Temps de coupure prescrit en fonction de la tension nominale de l'installation.
I_d	Courant de défaut.
I_m	Courant de déclenchement du relais magnétique du disjoncteur.
U_d	Tension de défaut.
U_c	Tension de contact.
U_L	Tension limite de contact.

Liste des figures

Désignation	Page
Figure 1.1 Réalisation d'une prise de terre	4
Figure 1.2 Systèmes simples (a) et systèmes complexes de terre(b)	5
Figure 1.3 tension de pas	6
Figure 1.4 Tension de pas en fonction de la distance	7
Figure 1.5 Tension de touché	8
Figure 1.6 Variations saisonnières de la résistance de terre	10
Figure 1.7 Schémas triphasé	11
Figure 1.8 Neutre mis directement à la terre	12
Figure 1.9 Neutre isolé	12
Figure 1.10 Neutre fortement impédant	13
Figure 1.11 Neutre mis à la terre par résistance	13
Figure 1.12 Neutre mis à la terre par réactance	14
Figure 1.13 Neutre mis à la terre par bobine d'extinction de Petersen	14
Figure 1.14 montée en potentiel du point neutre	15
Figure 1.15 contact direct	16
Figure 1.16 contacts indirects	16
Figure 1.17 Dispositif Différentiel à courant Résiduel, a) avant défaut et b) pendant défaut	18
Figure 2 .1 schéma TN-C-S	23
Figure 2.2 boucle de défaut	24
Figure 2.3 courbe de sécurité	25
Figure 2.4 protection par fusible	27
Figure 2.5 protection par disjoncteur	28
Figure 2.6 1 ^{er} défaut pas de danger pour les personnes	29
Figure 2.7 Protection par disjoncteur	31
Figure 2.8 Protection par fusible	32
Figure 2.9 Contrôleur permanent d'isolement (CFI)	33
Figure 2.10 Réseau Triphasé plus neutre, tension 220 / 380 V régime TT	33
Figure 3-1 Exemple de schéma TN	44
Figure 3.2 Exemple de schéma IT	47
Figure 3.3 Défaut double avec masses interconnectées	49
Figure 3.4 Défaut double avec groupe de masses non interconnectées	49
Figure 3.5 Exemple de Schéma TT	50

Liste des figures

Figure 3.6 <i>Schéma de mesure de la méthode de quatre électrodes</i>	53
Figure 3.7 <i>Sol en deux couches de résistivités différentes</i>	54
Figure 3.8 <i>Méthode des trois points</i>	55
Figure 3.9 <i>Méthode de chute de potentiel</i>	56
Figure 3.10 <i>Zones d'influence</i>	57
Figure 3.11 <i>Méthode du 62 %</i>	57
Figure 3.12 <i>Méthode de chute de tension utilisant des sondes capacitives</i>	58
Figure 3.13 <i>Méthode de mesure sans électrodes auxiliaires</i>	59

Liste des tableaux

Désignation	Page
Tableau 1.1 <i>Résistivités moyennes des différents types de sol</i>	10
Tableau 1.2 <i>Sensibilité $I_{\Delta n}$ en fonction de la résistance R_M de la terre</i>	19
Tableau 2.1 <i>Tableau temps de coupure maximum dans le régime TN</i>	26
Tableau 2.2 <i>Temps de coupure en régime IT</i>	31
Tableau 3.1 <i>Résumée des calculs des schémas SLT en cas de défaut</i>	52

INTRODUCTION

INTRODUCTION

GENERAL

GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie électrique est un facteur primordial du développement. Les pays en développement, souvent situés dans les régions tropicales, ont encore à ce jour un déficit en taux d'électrification et, en plus, les réseaux électriques existants connaissent de nombreuses perturbations, dues notamment aux problèmes de mise à la terre.

Le fonctionnement des installations électriques dépend étroitement de la manière dont certains dispositifs sont mis à la terre et des valeurs des paramètres des mises à la terre (résistance, inductance, capacité,...).

Depuis plusieurs décennies, des recherches se sont intensifiées dans le domaine des mises à la terre des installations électriques. Ces recherches visaient, dans leur grande majorité, les comportements de ces mises à la terre à fréquence industrielle et en régime établi ; en plus, la résistivité du sol considérée était généralement proche de 100 $\Omega.m$ (valeur souvent rencontrée dans les régions tempérées).

L'objectif principal de ce mémoire est de faire le diagnostic des défauts à la terre. L'élaboration de l'objectif va nous conduire à passer par une première phase de recherche bibliographique intensive où on va présenter des travaux d'autres chercheurs, ainsi qu'une analyse et une synthèse de ces travaux.

Dans une seconde phase, on va étudier la méthodologie, vérification de l'état d'isolement de la terre et calcul de la résistance de la mise à la terre.

Finalement, on va donner des comparaisons des différents schémas de la mise à la terre.

CHAPITRE I

CHAPITRE I

Généralités sur les mises à la terre

I. Généralités Sur Les Mises A La Terre

1.1. Introduction

Dans le présent chapitre, on va rappeler les notions de base indispensables à l'analyse des mises à la terre des installations électriques à fréquence industrielle en mettant un accent particulier sur les propriétés, la résistance et la résistivité des sols.

1.2. Définition de la mise à la terre

La mise à la terre, parfois simplement appelée « la terre », est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour relier une partie métallique conductrice à la terre. La mise à la terre est un élément important d'un réseau électrique, que ce soit en haute ou basse tension. Elle est caractérisée par sa résistance ou son impédance, elle doit être capable d'assurer l'écoulement du courant de défaut ou de courant de foudre, sans se détruire par échauffement. Pour ces raisons, les mises à la terre ont pour but d'éliminer des potentiels anormaux sur les masses. Pour une installation ou une structure de faible étendue, on emploie l'expression « prise de terre », en réservant le terme « réseau de terre » à l'installation importante telle que celles des postes. 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, 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].

1.3. Prise de terre et résistance de terre

Lorsque le neutre d'un réseau est mis à la terre, que ce soit directement ou par l'intermédiaire d'une impédance, il est relié à une prise de terre, appelée prise de terre du neutre, présentant une résistance R_N non nulle.

Dans toute installation électrique, basse ou haute tension, les masses métalliques des récepteurs sont généralement interconnectées. L'interconnexion peut être totale ou réalisée par groupes de récepteurs. Chaque groupe interconnecté est relié à une prise de terre de valeur R_M . Il est également possible qu'une ou plusieurs masses soient reliées individuellement à la terre. Les prises de terre des masses et du neutre peuvent ou non être interconnectées et sont parfois communes. Le conducteur d'interconnexion des masses est appelé conducteur de protection et est noté PE ou PEN .

Un réseau basse ou haute tension est donc toujours caractérisé par :

- une résistance d'isolement R
- une capacité C entre chaque phase et la terre
- une prise de terre du neutre de valeur R_N .
- une ou plusieurs prises de terre des masses de valeur R_M [2].

1.3.1 La réalisation d'une prise de terre :

En fonction des pays, du type de construction ou des exigences normatives, il existe différentes méthodes pour réaliser une prise de terre[3]. Généralement, les types de construction utilisés sont les suivants :

- boucle à fond de fouille
- feuillard ou câble noyé dans le béton de propreté
- plaques
- piquets ou tubes
- rubans ou fils etc....

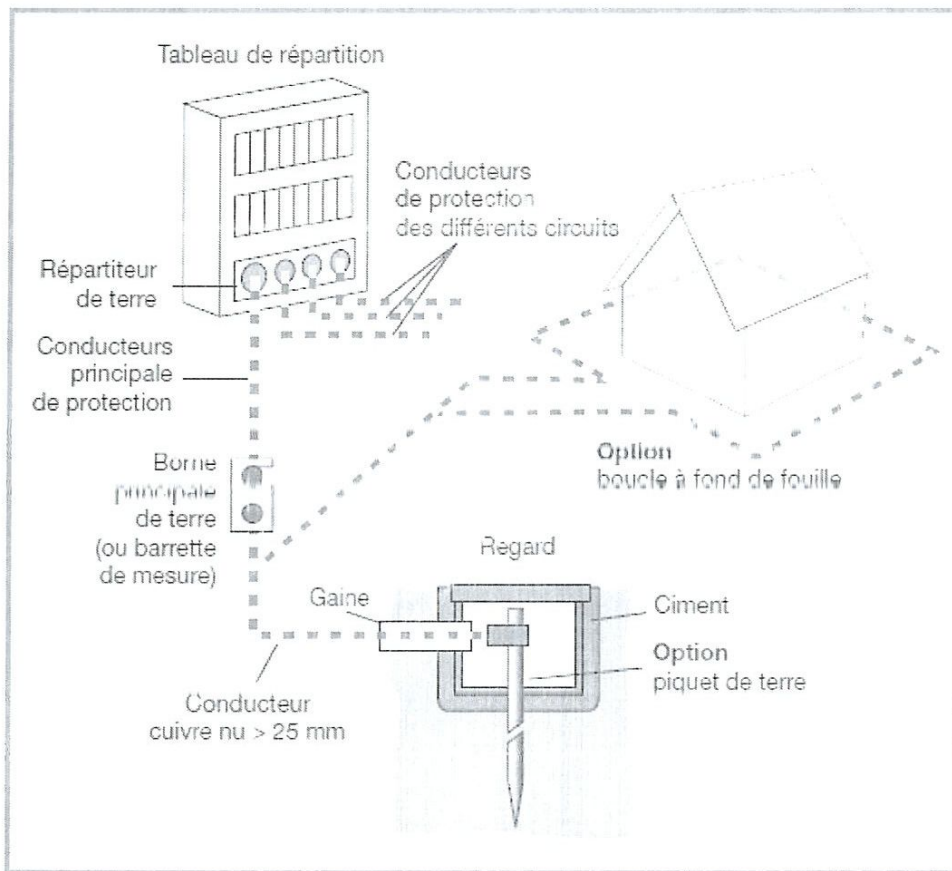


Figure.1.1. Réalisation d'une prise de terre [3].

Quel que soit le type de prise de terre choisi, son rôle est d'être en contact étroit avec la terre dans le but de fournir une connexion avec le sol et de diffuser les courants de défauts. La réalisation d'une bonne prise de terre va donc dépendre de trois éléments essentiels :

- la nature de la prise de terre
- le conducteur de terre
- la nature et la résistivité du terrain d'où l'importance de réaliser des mesures de résistivité avant l'implantation de nouvelles prises de terre.

I. 4. Différents types de prise de terre :

Il y'a deux types de systèmes de prise de terre les systèmes simples et les systèmes complexes [4].

➤ **Systèmes simples**

Sont constituées, comme montré dans la figure 1.2a de piquets ou tubes métalliques verticaux, rubans ou câbles enfoncés dans le sol à une profondeur supérieure à 1m, et couramment de 3 à 30 m ou plus. Les terres individuelles représentent le type de mise à la terre le plus utilisé.

➤ **Systèmes complexes**

Se composent de prises de terre multiples reliées entre elles, de systèmes maillés ou de réseau de grilles placée horizontalement à faible profondeur ,comme montré dans la figure 1.2.b.

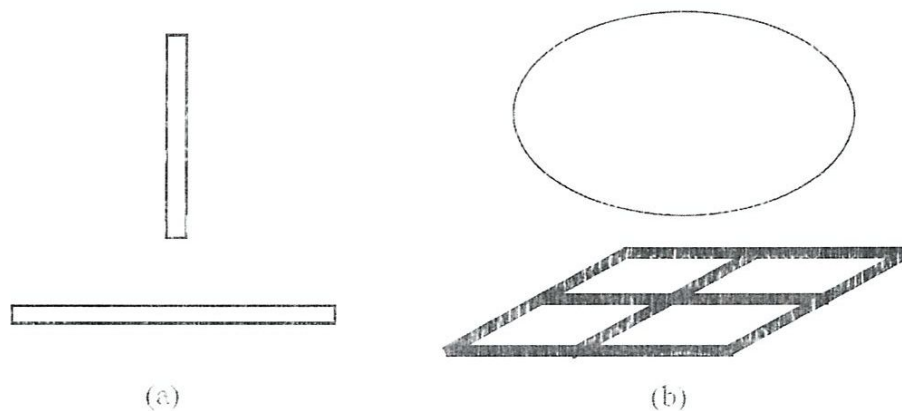


Figure 1.2. *Systèmes simples (a) et systèmes complexes de terre(b) [4] .*

I.5. Rôle d'une mise à la terre :

Le rôle d'une mise à la terre d'une installation électrique est de permettre l'écoulement rapide à l'intérieur du sol de courants de défaut de toutes origines, qu'il s'agisse, par exemple, cause dû aux surtensions encore de défauts à 50 Hz. Lors de l'écoulement de tels courants par une prise ou un réseau de terre, des différences de potentiel peuvent apparaître entre certains points ou entre deux masses métalliques, par exemple entre la prise de terre et le sol qui l'entoure, ou entre

deux points de sol. Les schémas de liaison à la terre seront abordés sous l'aspect de leurs relations avec les réseaux de terre [5].

La conception des prises et des réseaux de terre doit permettre, même dans ces conditions, d'assurer le maintien de [6]: **Voir l'annexe**

- 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.

1.5.1. Sécurité des personnes et des animaux :

Lors de l'écoulement dans le sol de courant élevé, la sécurité doit être assurée à l'intérieur de l'installation électrique et ses bords immédiats par une limitation de la tension de pas et de la tension de toucher à des valeurs non dangereuses pour l'homme ou les animaux. Cette limitation est obtenue grâce à la connaissance et au contrôle de la répartition idéale dont on doit chercher à se rapprocher, est l'équipotentialité de l'ensemble des prises de terre.

1.5.1.1. Tension de pas :

Comme représenté dans la (figure 1.3), la tension de pas est la différence de potentiels 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 maximum [7].

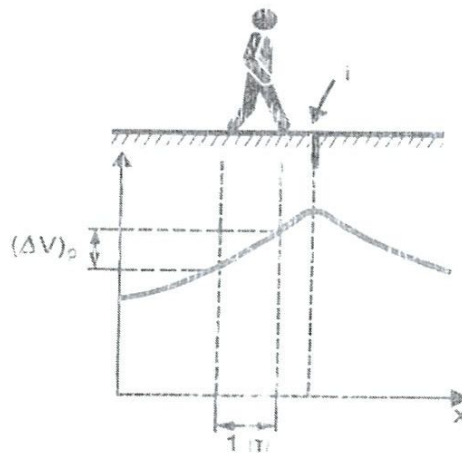


Figure 1.3. Tension de pas [7].

Dans un sol supposé homogène, la tension de pas (U_p) est directement proportionnelle à la résistivité du sol. En général, elle dépend de la distribution de potentiel dans le sol. A une distance d de l'impact d'un courant de foudre au sol, en considérant un sol homogène de résistivité ρ et une répartition purement résistive de potentiel, elle est donnée par la relation :

$$U_p = \frac{\rho I}{2\pi d} \times \frac{\rho}{(d+\rho)} \quad (1.1)$$

Dans ce cas, pour un courant de foudre de valeur de crête $I=50$ kA par exemple, la tension de pas à une distance de 30 m du lieu d'impact est de :

$$U_p = 855,67 \text{ V pour } \rho = 100 \text{ } \Omega\text{m.}$$

$$U_p = 25,67 \text{ kV pour } \rho = 3000 \text{ } \Omega\text{m.}$$

La courbe de la (figure 1.4) [8] donne la tension de pas en fonction de la distance pour une résistivité typique de $100 \text{ } \Omega\text{m}$ à l'impact de courant $I=50$ kA. Cette courbe qualifie bien la diminution de la tension de pas avec l'éloignement du point d'écoulement du courant à la terre. Dans notre cas, la tension de pas qui valait 398 kV à 1 m du point d'impact, tombe à 856 V à une distance de 30 m et à 312 V à 50 m .

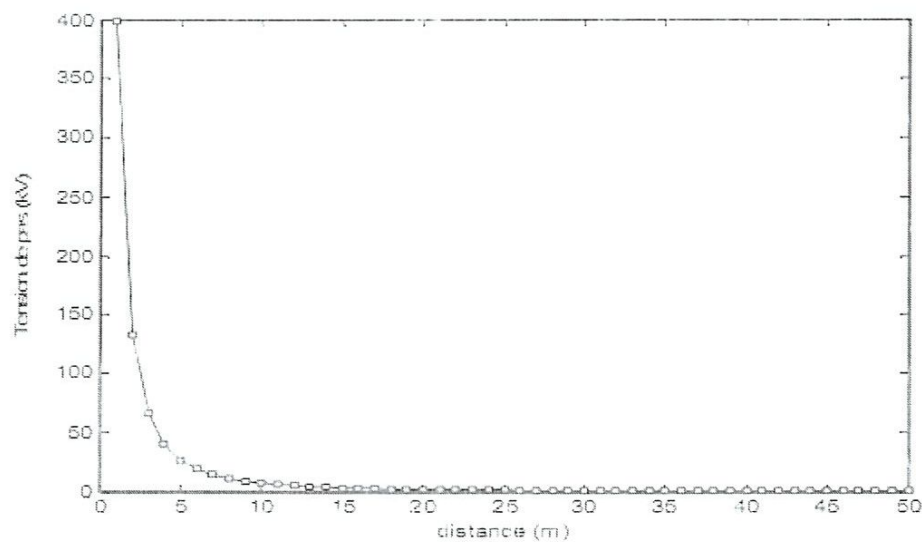


Figure 1.4. Tension de pas en fonction de la distance [8].

Cette tension cessera d'être dangereuse pour un être humain à 126 m du point d'impact.

Tandis que pour une résistivité de $3000 \Omega \cdot m$, cette distance sera de 690 m, dans un sol sec.

1.1.5.1.2. Tension de touché (ou de contact)

La tension de toucher (figure 1.5) est la différence de potentiels entre une structure métallique mise à la terre et un point situé à la surface du sol, à une distance égale à 1 m [8].

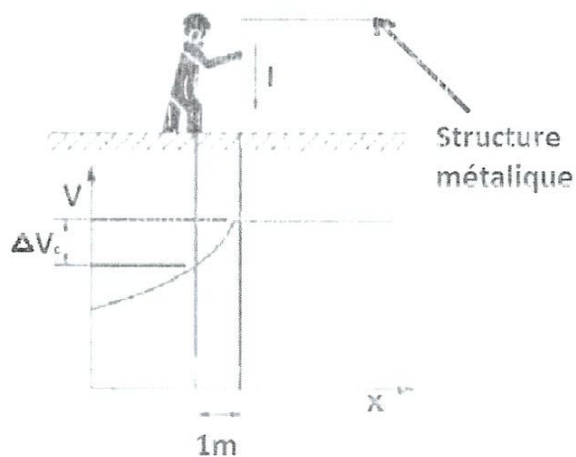


Figure 1.5. *Tension de touché*[8]

1.5.2. Protection des installations de puissance :

Le réseau de terre des installations électriques, la prise de terre des supports de lignes, limitent les effets des surtensions provoquées par :

- Les défauts à 50 Hz,
- Les manœuvres d'appareillages dans les postes,
- Les surtensions d'origine atmosphérique.

Cette limitation est d'autant plus efficace que ces prises de terre facilitent l'écoulement du courant dans le sol, c'est-à-dire qu'ils présentent une impédance de terre faible, aussi bien pour les phénomènes lents (défauts à 50 Hz) que pour les phénomènes rapides tels que ceux engendrés par la foudre et par les manœuvres des disjoncteurs.

1.5.3. Protection des équipements sensibles

Dans les postes, à proximité des installations de puissance, on trouve des équipements fonctionnant à des niveaux de tension beaucoup plus faibles, équipements électroniques ou électromécaniques. ces équipements sont également exposés aux effets liés par couplage galvanique, inductif, capacitif ou plus généralement, électromagnétiques.

1.5.4. Maintien d'un potentiel de référence

Les différents équipements placés dans une même installation doivent, lorsqu'ils sont reliés électriquement, rester fixes à un potentiel identique même pendant la durée des perturbations mentionnées plus haut.

1.6. Résistivité de la terre et résistance de mise à la terre :

Le sol 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 [9] :

- la nature des sols,
- composition chimique des sels,
- concentration des sels dissous dans l'eau contenue,
- le taux d'humidité, la température.

Il est donc conseillé de réaliser la prise de terre la plus profondément possible.

Le tableau ci-dessous donne une indication sur les résistivités des différents types de sol [10].

Tableau 1.1 Résistivités moyennes des différents types de sol [10].

Nature du terrain	Résistivité (Ωm)	Nature du terrain	Résistivité (Ωm)
Terrain marécageux	De quelques unités à 30	Calcaires fissurés	500 à 1000
Limon	20 à 100	Schistes	50 à 300
Humus	100 à 150	Calcaire tendre	100 à 500
Tourbe humide	5 à 100	Calcaires compacts	1000 à 5000
Argile plastique	50	Sol pierreux nu	1500 à 3000
Marnes et argiles compactes	100 à 200	Sol pierreux recouvert de gazon	300 à 500
Sable argileux	50 à 500	Micaschistes	800
Sable siliceux	200 à 3000	Granits et Grès	100 à 10000

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.

La variation saisonnières de la résistance de terre est montrée sur la (figure 1.6).

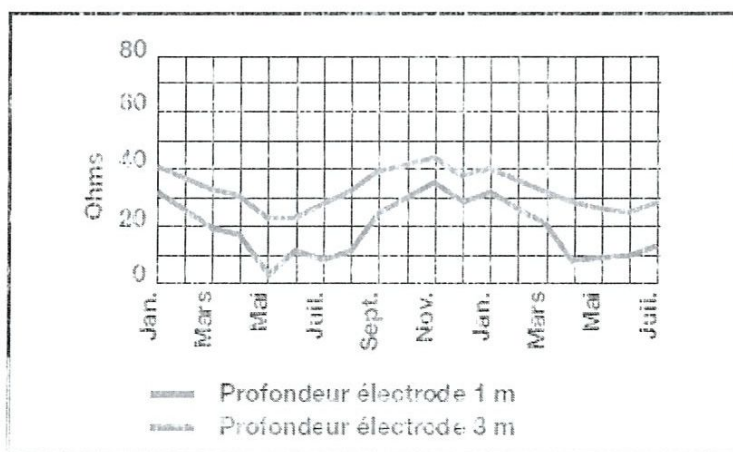


Figure 1.6. Variations saisonnières de la résistance (Mise à la terre : électrode dans un sol argileux)

1.7. Les régimes de neutre

1.7.1 Introduction

Dans tout système triphasé haut ou basse tension existent trois tensions simples, mesurées entre chacune des phases et un point commun appelé "point neutre". En régime équilibré ces trois tensions sont déphasées de 120° et ont pour valeur : $U/\sqrt{3}$

U_{ij} étant la tension composée mesurée entre phases (voir figure 1.7).

V_i : tension phase-neutre

U_{ij} : tension entre phase

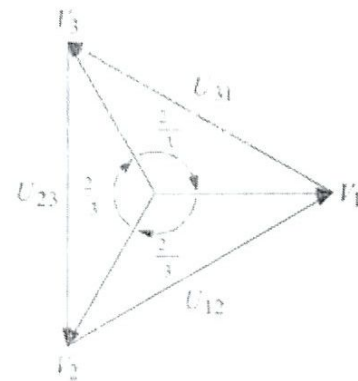


Figure.1.7. Schémas triphasé [2].

Dans une installation haute ou basse tension, le neutre peut ou non être relié à la terre. On parle alors de régime du neutre.

La connexion du neutre à la terre peut être réalisée directement, ou par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance. Dans le premier cas, on dit que l'on a un neutre direct à la terre et dans le second cas, que le neutre est impédant. Lorsqu'il n'existe aucune liaison intentionnelle entre le point neutre et la terre, on dit que le neutre est isolé.

Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre.

1.7.2 Les différents régimes de neutre

On distingue des différents modes de raccordement du point neutre à la terre :

- le neutre directement mis à la terre.
- le neutre isolé, ou fortement impédant.
- le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance.
- le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance.
- le neutre mis à la terre par l'intermédiaire d'une réactance accordée (bobine de Petersen).

A) Neutre mis directement à la terre :

Une liaison électrique est réalisée intentionnellement entre le point neutre et la terre.

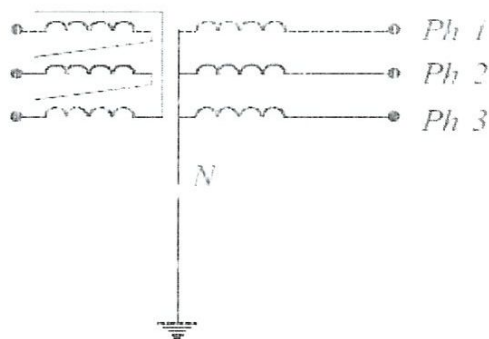


Figure 1.8. Neutre mis directement à la terre [2].

B) Neutre isolé :

Il n'existe aucune liaison électrique entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection.

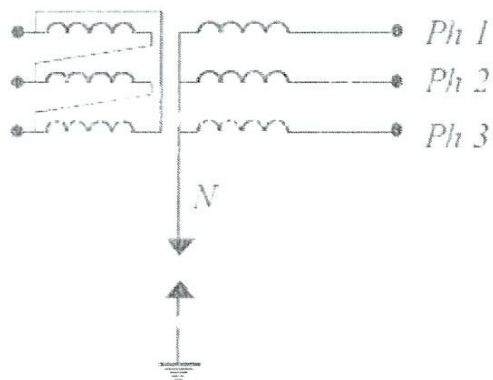


Figure 1.9. Neutre isolé [2].

C) Neutre fortement impédant :

Une impédance de valeur élevée est intercalée entre le point neutre et la terre.

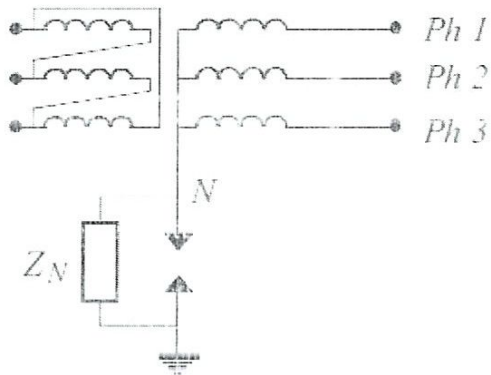


Figure 1.10. Neutre fortement impédant [2].

D) Neutre mis à la terre par résistance :

Une résistance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre.

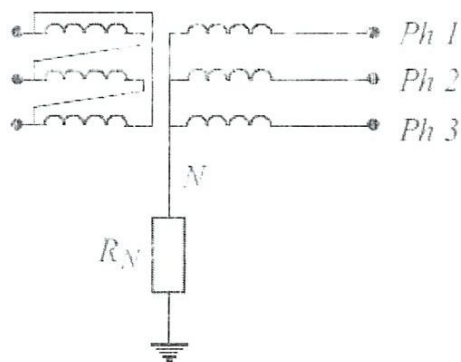


Figure 1.11. Neutre mis à la terre par résistance [2].

E) Neutre mis à la terre par réactance :

Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre.

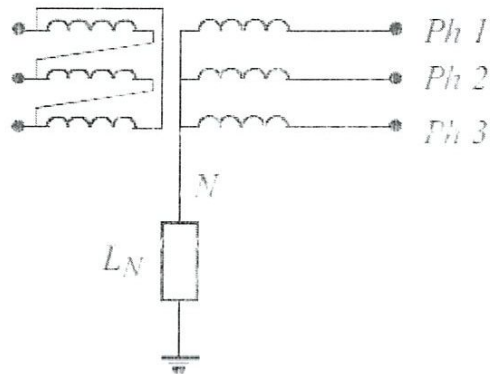


Figure 1.12. Neutre mis à la terre par réactance [2]

F) Neutre mis à la terre par bobine d'extinction de Petersen :

Une réactance accordée sur les capacités du réseau est volontairement intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est nul.

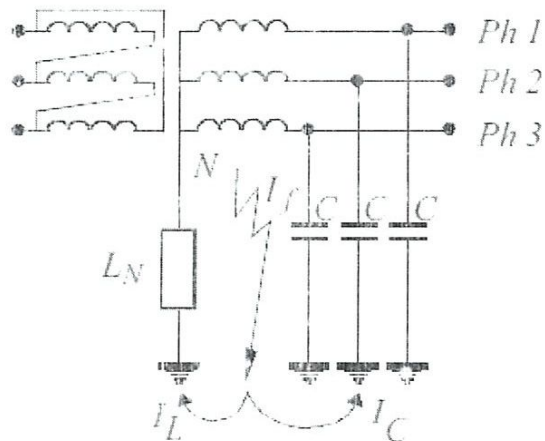


Figure 1.13. Neutre mis à la terre par bobine d'extinction de Petersen [2].

$$\vec{I}_f = \vec{I}_L + \vec{I}_C = \vec{0}$$

I_f : courant de défaut .

I_L : courant dans la réactance de mise à la terre du neutre.

I_C : courant dans les capacités phase – terre.

1.8. Influence du régime du neutre

1.8.1. Régime du neutre et courant de défaut

Considérons un réseau triphasé basse ou haute tension. Le neutre peut être ou non mis à la terre. Le régime du neutre dépend de la valeur et de la nature de l'impédance Z_N .

Si Z_N est nulle, le neutre est directement mis à la terre.

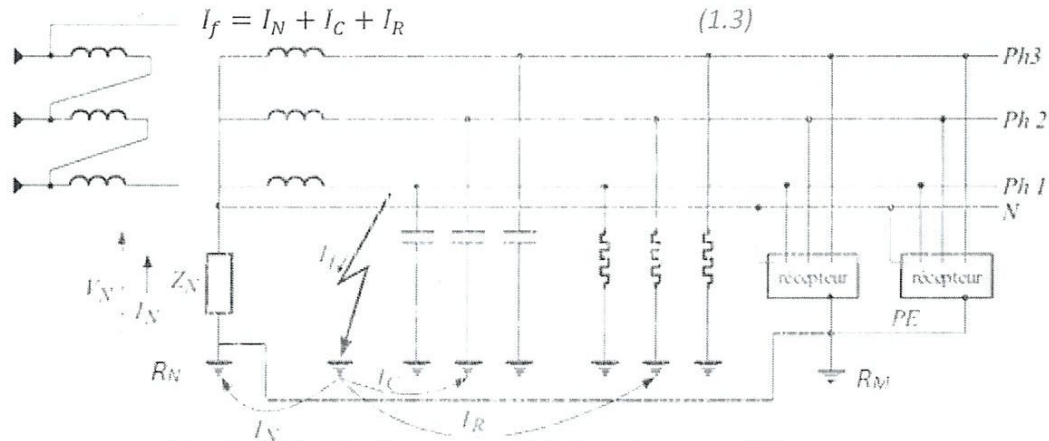
Si Z_N est de valeur très élevée, le neutre est isolé ou fortement impédant.

Si Z_N est différent de zéro, mais de faible valeur (de quelques dizaines à quelques centaines d'ohms en haute tension, suivant le niveau de tension et la nature du réseau), le réseau est dit à neutre impédant. L'impédance Z_N peut être une résistance ou une réactance.

En l'absence de défaut, des courants circulent dans les résistances et les capacités de fuite du réseau. Ces courants étant équilibrés, aucun ne circule dans l'impédance Z_N et le point neutre est au potentiel de la terre :

$$V_N = - Z_N I_N = 0 \quad (1.2)$$

Lorsqu'une phase est mise en contact avec la terre, un courant I_f s'établit entre la phase en défaut et la terre, et se referme par l'impédance Z_N ainsi que par les capacités et résistances de fuite des phases saines :



I_f : courant de défaut.

I_N : courant se refermant par l'impédance de mise à terre du neutre.

I_C : courant se refermant par les capacités phase-terre du réseau.

I_R : courant se refermant par les résistances d'isolement du réseau,

V_N : montée en potentiel du point neutre.

Z_N : impédance de mise à terre du neutre.

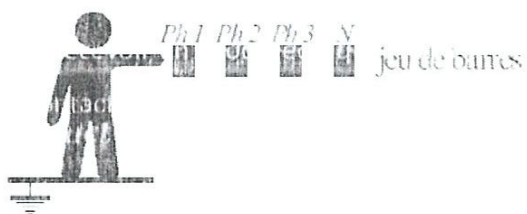
1.8.2. Tensions de contact

- tension de contact - tension limite non dangereuse

Toute personne entrant en contact avec une pièce sous tension est soumise à une différence de potentiel : il y a donc pour elle un risque d'électrisation (on entend par électrisation, le fait de recevoir un choc électrique n'entraînant pas la mort). On distingue deux sortes de contacts : le contact direct et le contact indirect.

- **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



contact direct

Figure 1.15. Contact direct [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. [2]

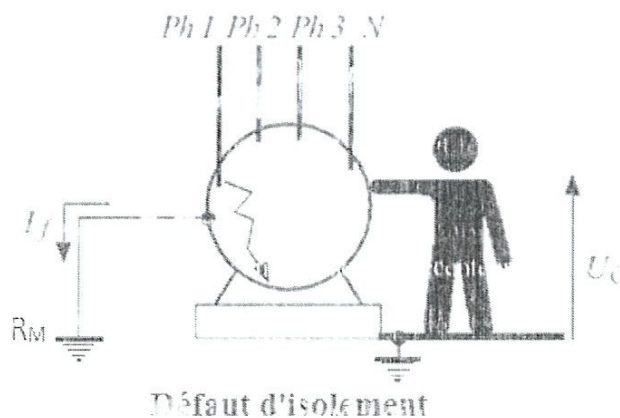


Figure 1.16. Contacts indirects [2].

On a :

$$U_C = R_M I_f \quad (1.4)$$

Car l'impédance de corps humain est très élevée devant R_M .

U_C : tension de contact

I_f : courant de défaut.

R_M : résistance de la prise de terre.

1.9. Le Dispositif Différentiel (DDR)

1.9.1. Définition d'un DDR

Appareil assurant la protection des personnes et capable d'interrompre automatiquement un défaut d'isolement en cas de fuite à la terre du courant (par le PE) appelé courant résiduel.

L'emploi d'un dispositif différentiel nécessite impérativement :

- La présence d'une prise de terre dans l'installation.
- La mise des masses d'appareillage à la terre.

Le DDR (Dispositif Différentiel à courant Résiduel) peut être soit un disjoncteur soit un interrupteur. L'avantage d'un disjoncteur différentiel par rapport à un interrupteur différentiel c'est qu'il assure également la protection du matériel contre les défauts de surintensités [11].

1.9.2. Principe de fonctionnement d'un DDR :

Le Dispositif Différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés le ou les circuits de Phase(s) 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 d'isolement survient, un déséquilibre apparaît générant un flux magnétique dans le tore. La bobine de mesure est le siège d'une force électromotrice (f.é.m.) qui alimente un petit électro-aimant (I_{Relais}) et entraîne le déclenchement (ouverture) du D.D.R.

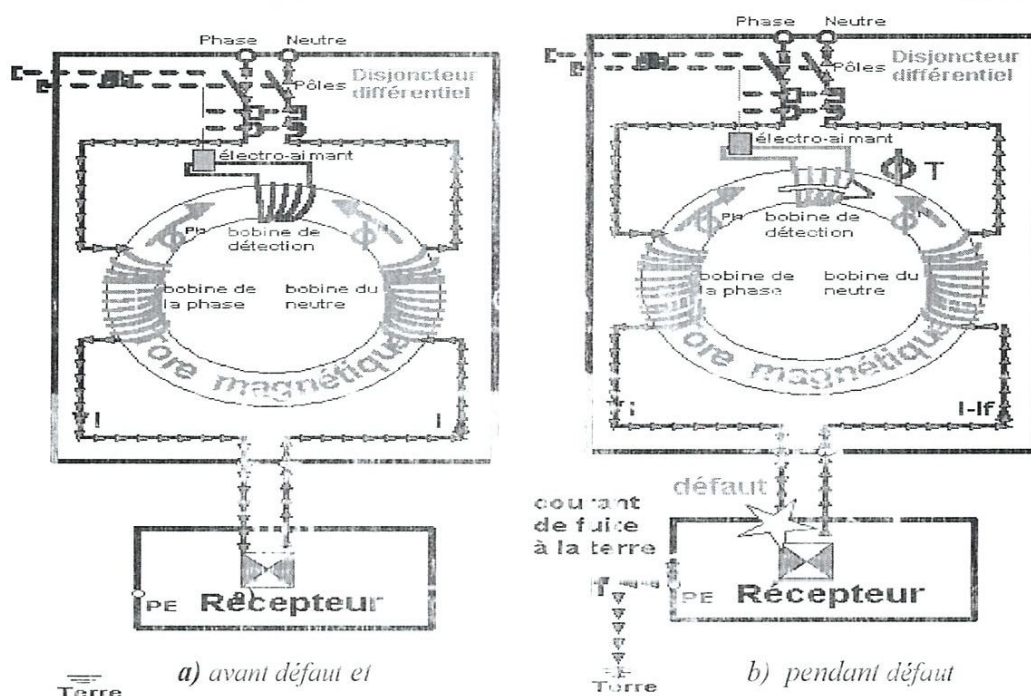


Figure 1.17. Dispositif Différentiel à courant Résiduel, [14].

1.9.3. Choix d'un dispositif différentiel :

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

- La Protection du matériel contre les surintensités nécessaire ou non : disjoncteur ou interrupteur.
- L'Intensité assigné des circuits à protéger.
- La Tension du réseau et nombre de phases.
- La tension limite conventionnelle de contact ou tension limite de sécurité notée U_L :

- 12V en milieu immergé
- 25V en milieu mouillé.
- 50V en milieu sec.

- La valeur de la résistance de terre des masses métalliques notée R_A .

- Détermination de la sensibilité du DDR :

$$I_{\Delta n} \text{ (A)} \leq \frac{U_L \text{ (V)}}{R_A \text{ (\Omega)}} \quad (1.5)$$

Tableau 1.2. : Sensibilité $I_{\Delta n}$ en fonction de la résistance R_M de la terre [12].

$I_{\Delta n}$ Différentiel	R Terre (Ω) $U_L : 50V$
≤ 30 Ma	> 500
100mA	500
300mA	167
500mA	100
1A	50
3A	17

On s'aperçoit qu'il est très simple d'assurer une bonne sécurité même si la prise de terre des masses a une valeur assez élevée, il suffit pour cela de corriger la sensibilité du D.D.R.

1.10. Les Effets physiologiques du courant électrique :

Le risque majeur de l'électricité réside dans l'action des courants électriques sur les deux grandes fonctions de l'organisme: la respiration et la circulation. Il convient également de ne point négliger les risques de brûlures liés au passage du courant électrique à travers l'organisme [13].

1.10.1. Sensation du passage du courant électrique :

La limite de perception est très variable d'un sujet à l'autre: Certains perçoivent le courant pour des intensités nettement inférieures à 1 mA, tandis que d'autres ne commencent à ressentir le passage du courant que pour des intensités plus élevées, de l'ordre de 2 mA.

1.10.2. Contraction musculaire :

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

1.10.3. Arrêt respiratoire :

Pour des intensités de l'ordre de 20 à 30 mA, la contracture des muscles peut diffuser et atteindre les muscles respiratoires pour aboutir à un arrêt respiratoire.

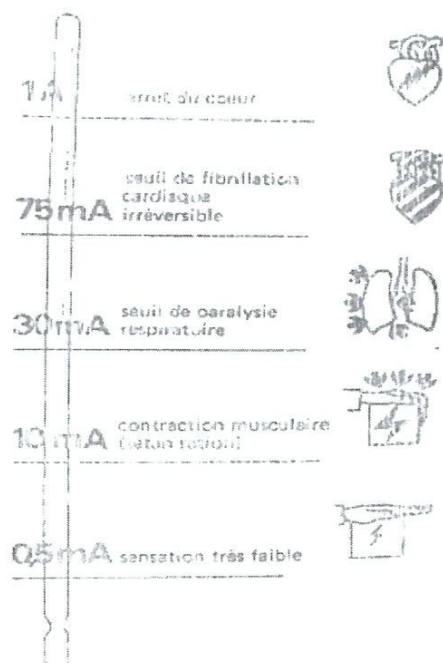
I.10.4. Fibrillation ventriculaire :

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

I.10.5. Risques de brûlures :

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

- La brûlure par arc, qui est une brûlure thermique due à l'intense rayonnement calorifique de l'arc électrique.
- La brûlure électrothermique, seule vraie brûlure électrique, qui est due au passage du courant a travers l'organisme.

I.10.6. Résumé du passage du courant dans l'organisme : [13].

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, une analyse rétrospective des mises à la terre des installations électriques à fréquence industrielle a été faite en mettant un accent particulier sur les propriétés, la résistance et la résistivité des sols.

CHAPITRE II

CHAPITRE II

Etudes des différents schémas

II. Etudes des différents schémas (SLT)

II.1. Schéma TN :

II.1.1. Principe de fonctionnement :

Le neutre de l'alimentation est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre. Dans ces conditions, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre, ce qui se traduit par un court-circuit entre phase et neutre.

A. Schéma électrique :

On distingue trois représentations :

- TN-C : le conducteur de protection et le neutre sont confondus en un seul conducteur PEN.
- TN-S : le conducteur neutre est séparé du conducteur de protection électrique PE.
- TN-C-S : c'est le rassemblement des deux dispositions précédentes, mais on n'a pas le droit de réaliser un schéma TN-C après un schéma TN-S.

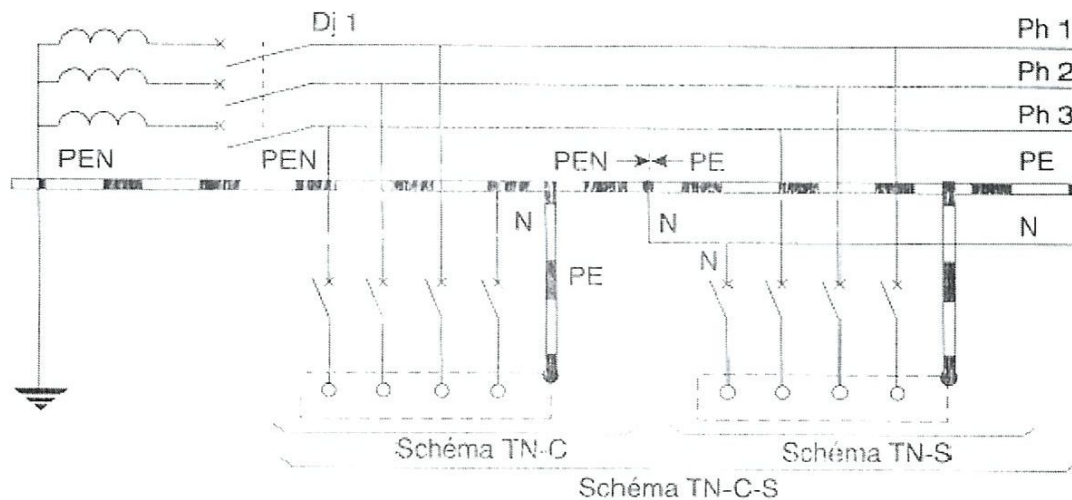


Figure 2.1. Schéma TN-C-S [14].

B. boucle de défaut :

Les prises de terre du neutre et des masses sont interconnectées. En cas de défaut, un courant I_d circule dans le conducteur PE ou PEN. Il n'y a aucune élévation de potentiel des masses, seule la résistance de la boucle limite le courant dans le circuit. La résistance de défaut est en général très faible, il y a donc court-circuit.

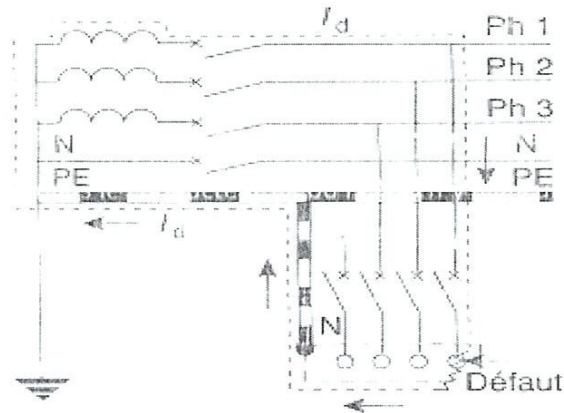


Figure 2.2. Boucle de défaut [14].

II.1.2. Courbes de sécurité :

Le normalisateur, utilisant les travaux dans le domaine médical sur les courants dangereux pour le corps humain, a défini des courbes de sécurité qui tiennent compte :

- Des tensions limité à ne pas dépasser.
- Des temps maxi supportables par le corps humain..
- Des conditions d'environnement relatives à l'humidité.
- De la nature du courant continu ou alternat f.

Plus la tension est élevée, plus le temps de passage possible du courant doit être court.

La tension U_L est la tension de contact la plus élevée qui puisse être maintenue sans danger pour les personnes.

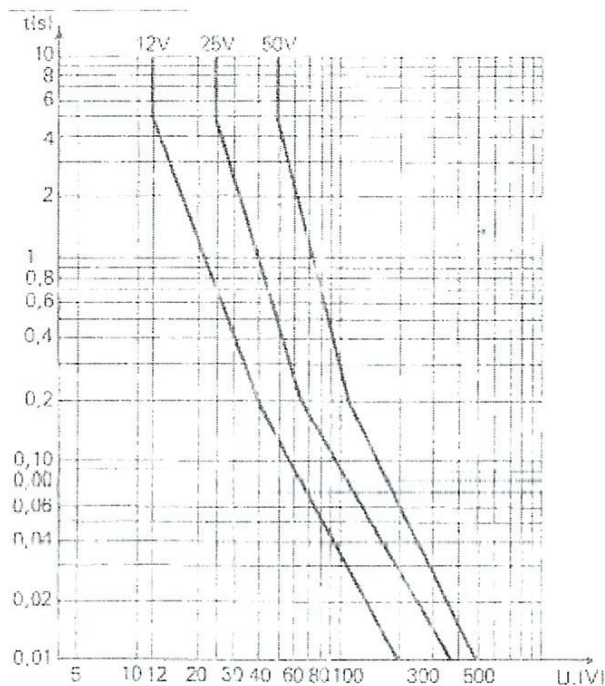


Figure 2.3. Courbe de sécurité [14]

II.1.3. Règles de protection pour le régime TN :

1^{ère} règle

S'il se produit dans un endroit quelconque un défaut d'isolement, entre phase et masse, ou phase et neutre, la coupure automatique doit être effectuée dans un temps précis.

2^{ème} règle

La coupure automatique en cas de défaut doit satisfaire à la condition suivante :

$$I_d = \frac{U_0}{Z_d} \geq I_a \quad (2.1)$$

Z_d = impédance de la boucle de défaut (Ω)

I_a = courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection (A)

U_0 = tension nominale entre phase et terre (V).

Conséquences:

Il faut connaître l'impédance de boucle pour savoir si les conditions de coupure automatique sont bien remplies ; on peut le faire :

- par le calcul, si le conducteur PE suit le même parcours que les conducteurs de phase.
- par mesure de l'impédance de boucle, lorsque le conducteur de protection électrique PE a une disposition différente des conducteurs actifs.

II.1.4. Dispositifs de protection contre contacts indirects :

Le défaut d'isolement étant transformé en un court-circuit entre phase et neutre, ou phase et PE, il faut vérifier que le courant dans la boucle de défaut est suffisant pour provoquer l'ouverture du circuit dans le temps prévu par la norme C 15-100.

Tableau 2.1 : Tableau temps de coupure maximum dans le régime TN [14].

Tension nominale De l'alimentation U_c (V)	Temps de coupure t_c (s)	
	$U_1 : 50V$	$U_1 : 25V$
120-127	0.8	0.35
220-230	0.4	0.2
380-400	0.2	0.05
> 400	0.1	0.02

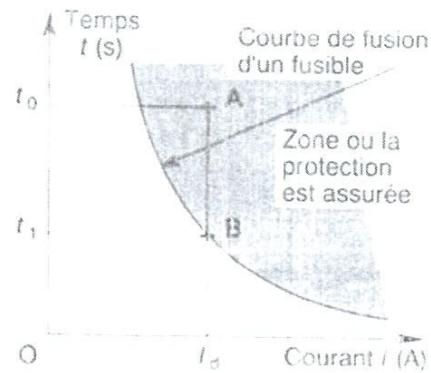
A. Protection par fusible :

Il faut s'assurer que le courant de défaut I_d provoque la fusion du fusible.

Courbe de fusion d'un fusible : $t = f(I)$

t_f = temps de fusion du fusible pour le courant de défaut I_d

t_0 = temps de coupure prescrit en fonction de la tension nominale de l'installation.



t_0 = temps de coupure prescrit
 t_1 = temps de fusion fusible

Figure 2.4. protection par fusible [14].

Trois cas sont possibles :

- **1^{er} cas** : $t_1 < t_0$: la protection est assurée.
- **2^{ème} cas** : $t_0 < t_1 < 5s$: la protection n'est assurée que si le circuit protégé est un circuit de distribution terminale n'alimentant que du matériel fixe.
- **3^{ème} cas** : $t_1 > 5s$, on doit prévoir :
 - Soit une protection par dispositif à courant différentiel résiduel DDR.
 - Soit des liaisons équipotentielles entre les masses pour réduire l'impédance de défaut et augmenter le courant de défaut.
 - Soit augmenter les sections des conducteurs PE.

B. Protection par disjoncteur :

Il suffit de s'assurer que le courant de défaut I_d est au moins égal au plus petit courant, I_m assurant le fonctionnement instantané du disjoncteur.

I_d = courant de défaut

I_m = courant de déclenchement du relais magnétique du disjoncteur

$$I_d > I_m = I_{\text{magnétique}}$$

En effet, les temps de déclenchement des disjoncteurs sont généralement inférieurs aux temps prescrits.

Dans le cas où I_d est inférieur à I_m , on peut modifier le réglage de I_m , sur le disjoncteur, ou on est ramené aux deuxième et troisième cas des fusibles.

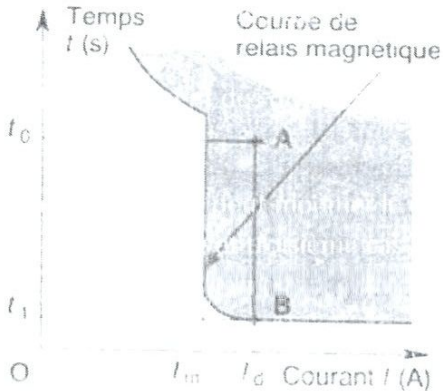


Figure 2.5. Protection par disjoncteur [14].

La solution en cas d'une protection n'est pas satisfaite :

En schémas TN et IT, lorsque les conditions de protection ne peuvent être satisfaites ou vérifiées, plusieurs autres solutions peuvent être envisagées :

- o Utilisation de dispositifs différentiels. La valeur du courant de défaut assez élevée permet d'utiliser des dispositifs différentiels de basse sensibilité (de l'ordre de l'ampère). Comme en schéma TT, il n'est plus nécessaire de vérifier la valeur du courant de défaut.
- o Utilisation de disjoncteurs à «magnétique bas» ou disjoncteurs de courbe B. L'inconvénient éventuel pourrait être un déclenchement intempestif sur pointe de courant lorsque le circuit alimente des récepteurs particuliers (ex. : enclenchement de transformateurs BT/BT, démarrage moteurs,...).

- Augmenter la section des conducteurs de manière à augmenter la valeur du courant de défaut jusqu'à une valeur suffisante pour assurer le déclenchement des appareils de protection contre les surintensités.
- Réaliser des liaisons équipotentielle supplémentaires. Ces liaisons doivent comprendre tous les éléments conducteurs simultanément accessibles tels que les masses des appareils, les poutres métalliques, les armatures du béton. Les conducteurs de protection de tous les matériels ainsi que ceux des prises de courant doivent aussi être raccordés à ces liaisons. L'efficacité de cette solution doit être vérifiée par mesure de la résistance effective entre masses simultanément accessibles.

II.2. REGIME IT :

II.2.1. Principe de fonctionnement :

Dans le régime du neutre isolé :

- Le neutre est isolé de la terre, ou relié à la terre par une impédance
- Les masses sont reliées à une prise de terre.

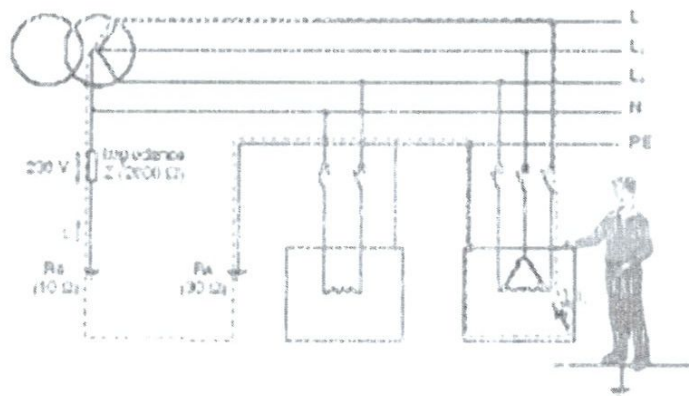


Figure 2.6. 1^{er} défaut pas de danger pour les personnes [14].

II.2.2. Règles de protection en régime IT :**A. Premier défaut :**

En cas d'un seul défaut, à la masse ou à la terre, le courant de défaut est faible, la coupure n'est pas impérative.

Le courant de 1er défaut est limité par la somme des résistances des prises de terre de l'alimentation (R_b), des masses (R_a) et de l'impédance (Z). Soit dans l'exemple ci-dessus :

$$I_d = \frac{U_d}{R_a + R_b + Z} \quad (2.2)$$

La condition de non coupure est vérifiée, en s'assurant que le courant n'élèvera pas les masses à un potentiel supérieur à la tension limite U_l , on doit donc avoir :

$$R_a \times I_d < 50V$$

Les masses n'atteindront pas une tension dangereuse et la non coupure est autorisée.

II.2.3. Dispositif de protection contre contacts indirects au deuxième défaut :

$$I_d = 0.8 \frac{U}{Z_d} \quad (2.3)$$

Avec:

I_d = courant de défaut

U_{ij} = tension entre phases

Z_d = impédance de la boucle de défaut

Tableau 2.2 : Temps de coupure en régime IT [14].

Tension nominale de l'installation $U_0/U(\text{volts})$	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
Neutre non distribué		
127/220	0.8	0.4
230/400	0.4	0.2
400/690	0.2	0.06
580/1000	0.1	0.02
Neutre distribué		
127/220	5	1
230/400	0.8	0.5
400/690	0.4	0.2
580/1000	0.2	0.08

Les installations monophasées, sont considérées comme des installations à neutre distribué.

Les temps de coupure sont définis dans le Tableau 2.2 selon les tensions limites de 50v ou 25v.

A. Protection par disjoncteur :

Dans le cas d'un deuxième défaut, deux disjoncteurs sont concernés D1 et D2. La protection des personnes est assurée si l'un des disjoncteurs ouvre le circuit sous l'effet du relais magnétique pour que l'on soit ramené au cas du premier défaut.

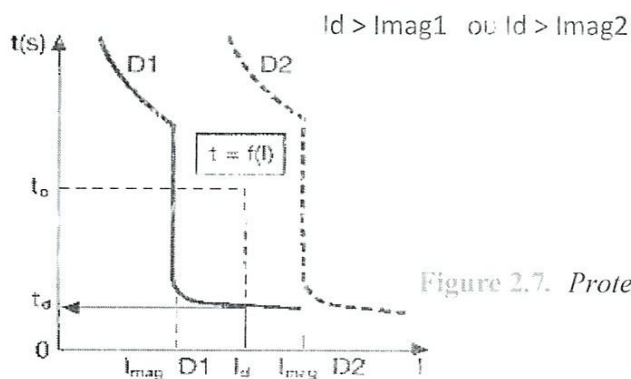


Figure 2.7. Protection par disjoncteur [14].

B. Protection par fusibles :

La protection est assurée au deuxième défaut si I_d est supérieur à l'un ou l'autre des courants assurant la fusion des fusibles dans le temps prescrit par le tableau temps de coupure en IT.

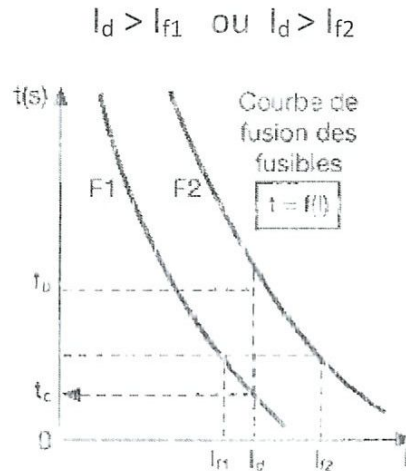


Figure 2.8. Protection par fusible [14].

C. Contrôleur permanent d'isolement (CPI) :

- Cet appareil permet de contrôler en permanence l'isolement général d'un réseau à neutre isolé (IT). Son principe de fonctionnement est basé sur l'injection d'une tension continue entre le réseau et la terre. Cette tension crée un courant de fuite correspondant à la résistance d'isolement.
- Fonctionnement : en l'absence de défaut, aucun courant ne circule dans le réseau. Dès qu'un défaut survient, un faible courant indique la valeur d'isolement, ce courant amplifié actionne les alarmes. (visuelle ou sonore)

Cet appareil permet de signaler l'apparition d'un premier défaut. Une installation ne doit comporter qu'un seul CPI.

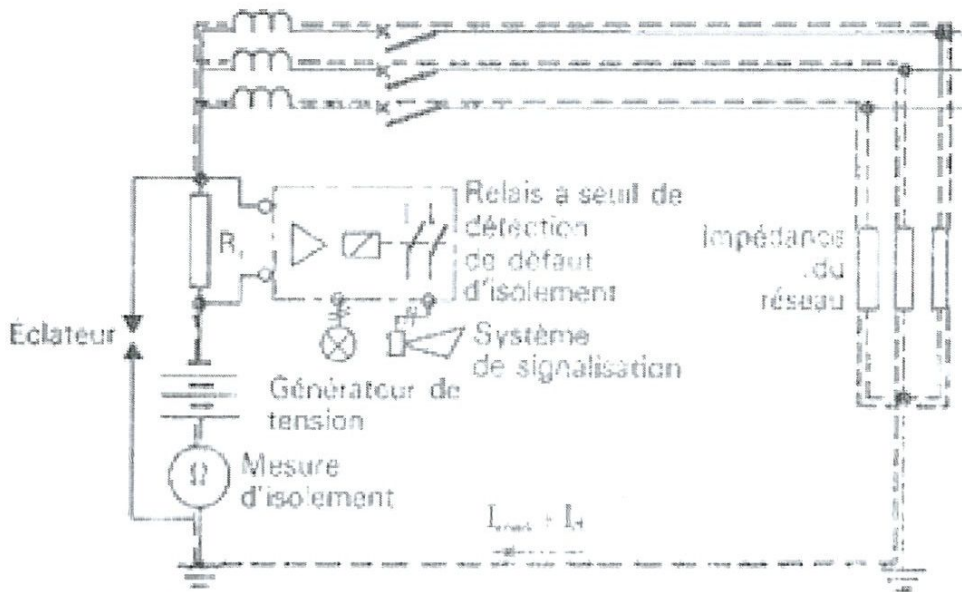


Figure 2.9. Contrôleur permanent d'isolement (CPI) [14].

II.3. REGIME TT :

Le système de distribution TT est le régime de neutre employé par E.D.F. pour toute la distribution d'énergie publique du réseau basse tension.

II.3.1 .Principe de fonctionnement :

Dans ce régime de neutre, le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre, les masses sont reliées entre elles et mises à la terre.

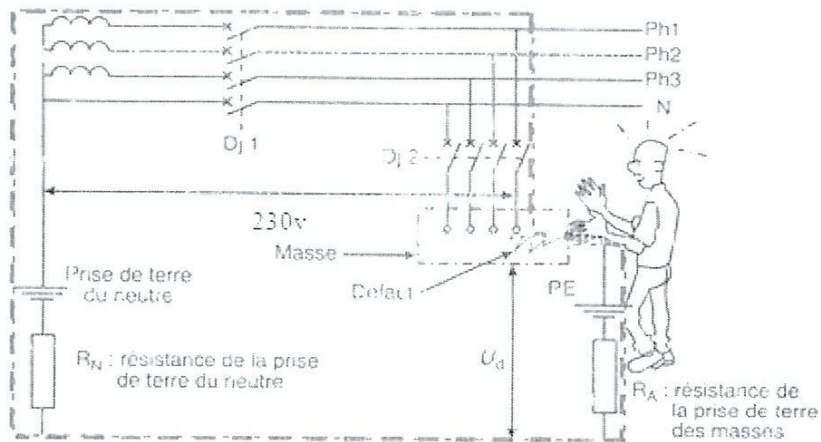


Figure 2.10. Réseau Triphasé plus neutre, tension 220 / 380 V régime TT [14].

Lorsqu'une phase touche la masse, il y a élévation du potentiel de cette masse.

Soit par exemple:

- R_d = résistance du défaut
- R_N = résistance de la prise de terre du neutre.
- R_A = résistance de la prise de terre des masses.

Il s'établit dans le circuit en pointillé rouge un courant qui parcourt cette boucle de défaut dont la valeur est :

$$I_d = \frac{U_0}{R_d + R_N + R_A} \quad (2.4) \quad \text{Avec } U_0 = \text{tension simple}$$

La tension de la masse par rapport à la terre est donnée par la loi d'Ohm.

(U_d = tension de défaut).

$$U_d = R_A \times I_d \quad (2.5)$$

U_c (tension de contact).

En conclusion, lorsque dans un réseau TT survient un défaut d'isolement, il y a une élévation dangereuse du potentiel des masses métalliques, qui normalement sont à un potentiel nul (0 volt) donc *C'est une tension mortelle.*

Règles de protection :

1re règle

Coupe automatique de l'alimentation. En cas de défaut, il doit y avoir coupe automatique du circuit alimentant l'appareil où s'est produit un défaut (mise à la masse) dans le temps conventionnel prévu par la norme et fonction de la tension du réseau.

Le temps de coupe ne doit jamais être supérieur à 5 s.

2e règle

Toutes les masses des matériels électriques, protégées par un même dispositif de protection, doivent être interconnectées avec les conducteurs de protection et reliées à une même prise de terre.

3e règle

La condition suivante doit être satisfaite :

$$R_A * I_{\Delta n} < U_L$$

R_A = résistance de la prise de terre des masses.

$I_a = I_{\Delta n}$ courant de fonctionnement du dispositif de protection.

U_L = tension limite de contact, selon les conditions elle peut être de 50 V (milieu sec), 25 V (milieu humide), ou 12 V (milieu immergé) selon les locaux.

II.3.2 Dispositif de protection contre contacts indirects :

Dans les schémas TT, on assure la protection par un dispositif à courant différentiel résiduel. Dans ce cas, le courant I_a est égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur.

A. Sensibilité du différentiel $I_{\Delta n}$:

La sensibilité d'un disjoncteur différentiel résiduel est indiquée par le symbole $I_{\Delta n}$.

On peut employer selon les cas des disjoncteurs différentiels pour la protection en cas de court-circuit, ou des interrupteurs différentiels dont le pouvoir de coupure est beaucoup plus faible.

B. Emplacement des dispositifs différentiels :

Toute installation TT doit être protégée au moins par un dispositif différentiel résiduel à l'origine de l'installation.

Il est possible de protéger différents départs avec des dispositifs différentiels de différentes sensibilités ce qui évite la coupure générale de l'installation en cas de défaut.

La tendance est à disposer un maximum d'interrupteurs ou de disjoncteurs différentiels. On risque alors d'avoir des déclenchements intempestifs, qui iraient à l'encontre de la continuité de service. [14]

II.3.3. Caractéristiques techniques :

La comparaison des trois principaux types de schémas porte sur cinq caractéristiques essentielles d'un système de mise à la terre :

- ***La sécurité*** : en cas de défaut, ce critère tient compte des risques encourus par les utilisateurs. Mais aussi des risques liés aux incendies et aux explosions. Ainsi, pour la sécurité des personnes, tous les systèmes présentent plus ou moins les mêmes garanties (sauf peut-être le schéma IT en cas de deux défauts). Pour les risques d'explosion ou d'incendies, le danger est lié à la valeur des courants de défaut (la chaleur dissipée étant proportionnelle à I_d^2). Pour un seul défaut, le schéma IT présente donc peu de risque. A l'inverse, le schéma TN qui développe des courants de défaut de l'ordre du kA, est à proscrire dans les environnements qui présentent des dangers d'explosion ou d'incendies.

La disponibilité : le but de l'installation électrique est bien sûr d'alimenter le bâtiment. Le critère de disponibilité traduit donc dans quelle mesure la puissance électrique reste disponible en cas de défaut. Pour ce critère, c'est évidemment le schéma IT qui l'emporte puisqu'il a été conçu dans ce but.

- ***La maintenance*** : ce critère présente deux aspects. Il prend en compte la facilité à trouver le défaut ainsi que son aisance à le réparer. On constate ainsi qu'il est rapide d'identifier le défaut pour le TN mais que le temps de réparation est souvent long. A l'inverse, le IT permet des réparations plus rapides et moins coûteuses mais la détection du défaut y est parfois plus difficile. Dans les installations non domestiques utilisant le schéma IT, il est toutefois possible de mettre sur pied un système exploitant le CPI permettant d'améliorer efficacement la maintenance. Le TT reste quant à lui un bon compromis.

- **La fiabilité** : elle traduit la stabilité du circuit face aux perturbations. Celle-ci est excellente pour le TT.

- **Les perturbations** : ce critère détermine dans quelle mesure l'installation émet ou véhicule des perturbations pour les dispositifs qu'elle alimente. Celles-ci sont de deux types. La première source de perturbation est celle induite par rayonnement électromagnétique et est donc d'autant plus faible que les courants de défauts sont petits. La seconde, elle, est due à la non-équipotentialité du conducteur PE utilisé comme potentiel de référence pour les systèmes électroniques. Cette dernière Perturbation est surtout gênante pour le schéma TNC de par la présence d'harmoniques d'ordre 3 et multiples de 3 en plus du courant de neutre. [15]

II.3.4. Domaine d'utilisation de la mise à la terre :

II.3.4.1. Schéma TN :

- ❖ Il est utilisable uniquement dans les installations alimentés par un transformateurs HT/BT ou BT/BT privé.
- ❖ Il nécessite la mise à la terre régulière du conducteur de protection.
- ❖ Il impose la vérification du fonctionnement des dispositifs de protection contre les défauts entre phases pour un défaut d'isolement.
- ❖ Il nécessite que toute modification ou extension soit réalisée par du personnel compétent maîtrisant des règles de mise en œuvre.
- ❖ Il peut entraîner, lors d'un défaut d'isolement, une détérioration importante des bobinages des machines tournantes et des matériels sensibles.
- ❖ Il peut présenter, dans les locaux à risque d'incendie, un danger élevé du fait de l'importance des courants de défaut.

II.3.4.2 Schéma IT :

- ❖ Il est utilisable uniquement dans les installations alimentés par un transformateur HT/BT ou BT/BT privé.
- ❖ C'est la solution assurant la meilleure continuité de service.

- ❖ La signalisation du premier défaut d'isolement suivie de sa recherche et de son élimination, permet une prévention systématique de toute interruption d'alimentation.
- ❖ Il nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance et l'exploitation.
- ❖ Il nécessite un bon niveau d'isolement du réseau.
- ❖ Il nécessite que toute modification ou extension soit réalisée par du personnel compétent maîtrisant ses règles de mise en œuvre.
- ❖ Il implique la fragmentation du réseau si celui-ci est très étendu et l'alimentation des récepteurs à courant de fuite important par un transformateur de séparation.
- ❖ Il impose la vérification du fonctionnement des dispositifs de protection contre les défauts entre phases lors d'un double défaut d'isolement.

II.3.4.3. Schéma TT :

- ❖ C'est la solution la plus simple à mettre en œuvre. Il est utilisable pour les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique basse tension 220v-380v.
- ❖ Il ne nécessite pas de surveillance particulière, seul un contrôle périodique des dispositifs différentiels peut être nécessaire.
- ❖ La protection est assurée par des dispositifs différentiels résiduels (*DDR*) qui permettent en plus la prévention des risques d'incendie lorsque leur sensibilité est
$$\leq 500\text{mA}$$
- ❖ Chaque défaut d'isolement entraîne une coupure. Cette coupure peut-être limitée au seul circuit en défaut par la mise en place d'une sélectivité appropriée.
- ❖ Les récepteurs ou parties d'installation, qui génèrent des courants de fuite importants, doivent être équipés de *DDR* appropriés afin d'éviter les déclenchements intempestifs. [2]

II.4. Les avantages et les inconvénients des différents schémas :

II.4.1. Schéma TN :

A. les Avantages :

- Coupure au premier défaut.
- Employé avec succès dans les installations électriques dont les récepteurs ont naturellement très élevés comme les radars les installations de calcul et d'acquisition de données qui utilisent des filtres capacitifs de forte puissance entre chaque phase et la masse.
- Egalement dans certaines installations très particulières (aéronefs) lorsque plusieurs réseaux mixtes (tensions ou fréquences différentes, continu et alternatif) cohabitent. [12]

B. Les Inconvénients :

- Les installations doivent être calculées et essayées avec le plus grand soin en ce qui concerne la protection de surintensité de courant (relais électromagnétiques) avant toute mise en service normal.
- Toute modification relative à l'alimentation d'un récepteur donnera lieu à une étude comparable à celle effectuée lors de la mise en service initiale.
- Ces installation alimentent des récepteurs sans protection différentielle ; en cas défaut d'isolement , c'est la protection magnétique qui déclenchera la coupure de l'alimentation électrique.
- Afin de parer à une défaillance des connexions du conducteur de terre depuis l'origine de l'installation jusqu'au récepteurs terminaux lorsque le réseau est étendu , les schémas TN nécessitent la mise à la terre du conducteur de protection en plusieurs points tout au long de ce réseau. [12]

II.5.Conclusion

Les schémas des liaisons à la terre décrivent les choix techniques qui ont été fait pour la distribution de l'énergie électrique. Nous avons présenté dans ce chapitre trois SLT (TT, TN, IT) utilisés ainsi que leurs caractéristiques principales. Ils offrent tous une excellente protection des personnes et se distinguent sur la disponibilité de l'énergie, sur la protection renforcée contre les risques d'incendie.

Dans ce chapitre on a bien détaillés les points suivants :

- L'identification d'un SLT à l'aide de deux lettres (ou plus).
- La nécessité de relier le PE aux masses.
- Le **schéma TN** : coupure au premier défaut grâce aux protections courts-circuits, courant de défaut élevé (1000A). En TNS utilisation possible d'un DDR et impossible en TNC.
- Le **schéma IT** : pas de coupure au premier défaut (courant de premier défaut 0,1A - tension de contact non dangereuse), coupure au second défaut grâce aux protections courts-circuits.
- Le **schéma TT** : coupure au premier défaut grâce au DDR, courant de défaut limité (10A).

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

CHAPITRE III

CHAPITRE III

*Les différents calculs des SLT
et mesure de la résistance de
mise à la terre*

III. Les différents calculs des SLT et mesure de la résistance de mise à la terre

III.1. Les différents calculs des SLT :

III.1. Schéma TN :

A. Analyse d'un défaut d'isolement :

Les données de départ sont présentées comme suit :

$$U_0 = 230 \text{ V.}$$

$$\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

$$L = 50 \text{ m.}$$

$$S = 50 \text{ mm}^2.$$

Le schéma représenté sur ia(figure 3.1), montre un défaut d'isolement.

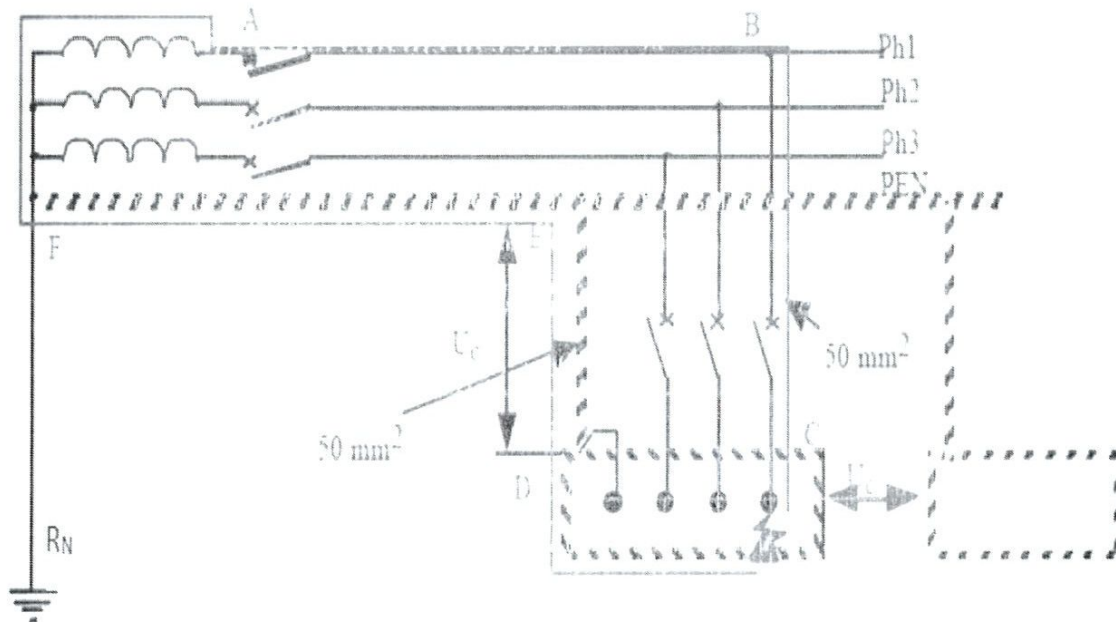


Figure 3.1. Exemple de schéma TN [14].

B. Calcul de l'impédance de la boucle de défaut :

Lors d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance Z_b de la boucle de défaut (figure 3.1) $Z_b = Z_{BCDEF}$:

$$I_d = \frac{U_0}{Z_b} \quad (3.1)$$

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

On a :

- $Z_b \approx Z_{BCDE}$ (Impédance de la portion de circuit BCDE),
- $Z_b \approx 2Z_{DE}$ (En supposant $Z_{BC} = Z_{DE}$, les conducteurs BC et DE ayant même section et longueur, et en négligeant l'impédance du défaut Z_{CD}).

$$Z_b = \frac{\rho L}{S} \quad (3.2)$$

Avec :

- ρ = Résistivité du cuivre.
- L = longueur du conducteur en m.
- S = section du câble en mm^2 .

$$Z_b = 2 \times 22.5 \times 10^{-3} \times \frac{50}{50} = 45 \text{ m}\Omega$$

C. Calcul du courant de défaut :

$$I_d = 0.8 \frac{U_0}{Z_b} \quad (3.3)$$

$$I_d = 0.8 \frac{230}{45 \times 10^{-3}} = 4089 \text{ A}$$

Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase neutre, la coupure est Réalisée par le dispositif de protection contre les courts-circuits.

D. Calcul de la tension de défaut :

En pratique, pour tenir compte des impédances en amont on admet une chute de tension de l'ordre de 20 % sur la tension simple U_0 , d'où : $U_{BE} = 0,8U_0$.

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

$$U_d = \frac{U_{BE}}{2} \quad (3.4)$$

$$U_d = 0,8 \frac{230}{2} = 92V$$

Cette tension est dangereuse car supérieure à la tension limite conventionnelle U_L .

Il faut impérativement mettre hors tension la partie de l'installation concernée.

E. Conclusions :

Le courant de défaut est en fonction de l'impédance de la boucle de défaut. Il faut donc s'assurer qu'en tout point du réseau, le courant de défaut reste supérieur au seuil de fonctionnement de la protection dans le temps maximum spécifié par les normes.

Moyennant cette vérification il est possible d'utiliser les dispositifs conventionnels pour les protections .Mais ce schéma nécessite :

- un calcul des impédances de boucle.
- la connaissance de toutes les impédances de boucle, difficilement maîtrisable pour les prises de courant, d'où protection par DDR obligatoire.
- la vérification du déclenchement des protections à la mise en œuvre.
- des études complémentaires pour vérifier ces conditions lors de toute modification de l'installation.

III.1.2 Schéma IT :

A. Analyse du premier défaut d'isolement (défaut simple) :

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

Les données de départ sont présentées comme suit :

$$U_0 = 230 \text{ V.}$$

$$R_A = 10 \Omega.$$

$$Z_{RES} = 3422 \Omega.$$

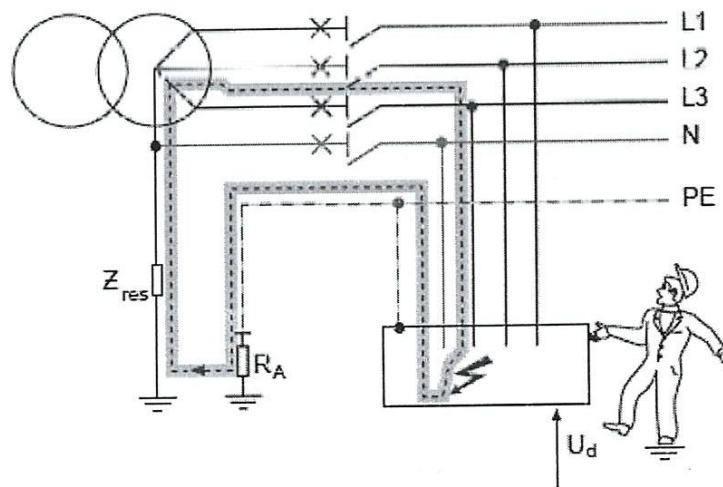


Figure 3.2. Exemple de schéma IT [16].

B. Calcul du courant de défaut :

Soit U_0 la tension simple du réseau. La prise de terre du récepteur en défaut présente une résistance électrique R_A .

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

Pour $U_0 = 230 \text{ V}$ et $R_A = 10 \Omega$, $Z_{RES} = 3422 \Omega$ le courant de défaut a pour valeur :

$$I_d = \frac{U_0}{(Z_{RES} + R_A)} \quad (3.5)$$

$$I_d = \frac{230}{(3422 + 10)} = 67 \text{ mA}$$

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

C. Calcul de la tension de défaut :

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

$$U_d = \frac{U_0 \times R_A}{(Z_{RES} + R_A)} \quad (3.6)$$

$$U_d = \frac{230 \times 10}{(3422 + 10)} = 0,67V$$

Ce potentiel très largement inférieur à la tension limite de contact U_L (25V pour des locaux mouillés) n'est donc pas dangereux.

D. Conclusions

En cas de défaut simple le potentiel de défaut U_d n'est pas dangereux pour les personnes. Il est cependant souhaitable d'éliminer le défaut rapidement pour ne pas prendre le risque qu'un autre défaut survienne, amenant une situation de double défaut qui provoque le déclenchement des protections.

E. Nécessité d'installer un Contrôleur Permanent d'Isolement :

Ce contrôleur mesure en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale toute baisse du niveau d'isolement.

F. Analyse du deuxième défaut (défaut double) :

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

En revanche, si le défaut intervient sur un autre conducteur actif, deux cas peuvent se présenter :

- cas de masses interconnectées (figure 3.3) Les masses d'utilisation sont Interconnectées entre elles et à la prise de terre du poste (R_A). Nous sommes en présence d'un court circuit phase-phase ou phase-neutre.

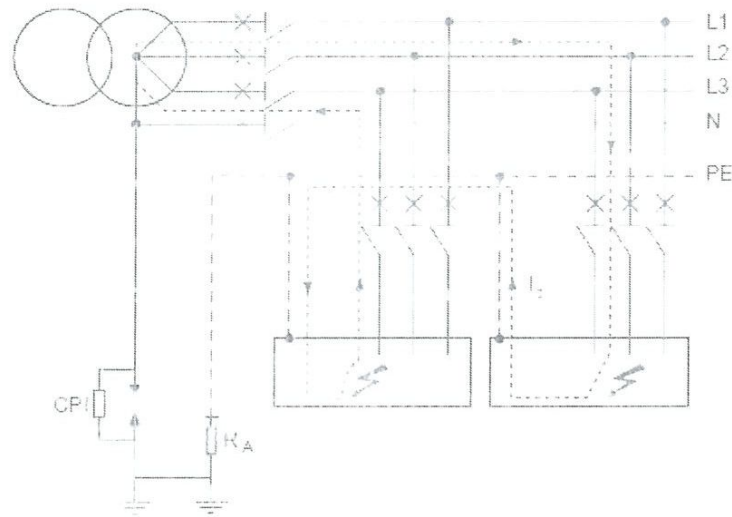


Figure 3.3. Défaut double avec masses interconnectées [16].

Les protections contre les courts-circuits sont chargées d'éliminer ce courant de défaut,

- cas de groupes de masses non interconnectées (figure 3.4). Les masses d'utilisation ne sont pas toutes interconnectées entre eux par exemple R_B est distincte.

Ce cas revient à un schéma TT. Il faut donc protéger chaque groupe de masses par des protections différentielles.

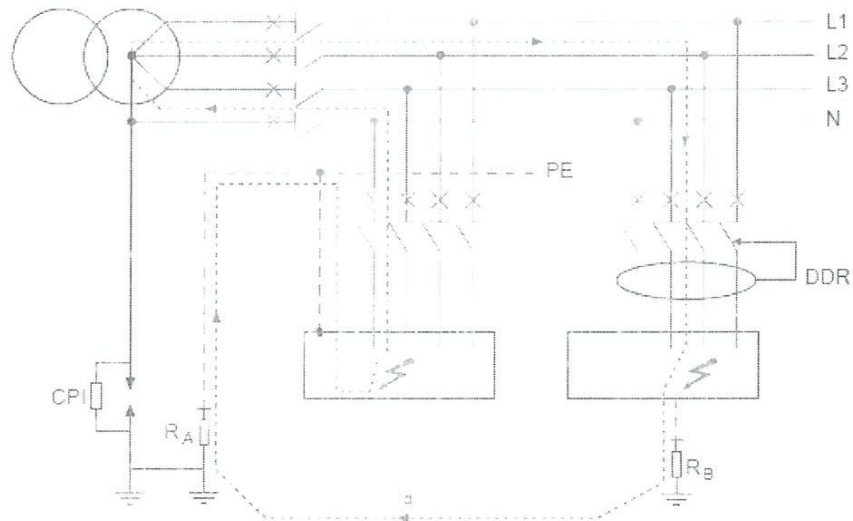


Figure 3.4. Défaut double avec groupe de masses non interconnectées [16].

III.1.3. Schéma TT :

A .Analyse d'un défaut d'isolement

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (ex : la phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur. Soit U_0 tension simple du réseau (figure 3.5).

Les données de départs sont présentées comme suit :

$$U_0 = 230 \text{ V.}$$

$$U_L = 50 \text{ V.}$$

$$R_A = 10 \Omega.$$

$$R_B = 5 \Omega.$$

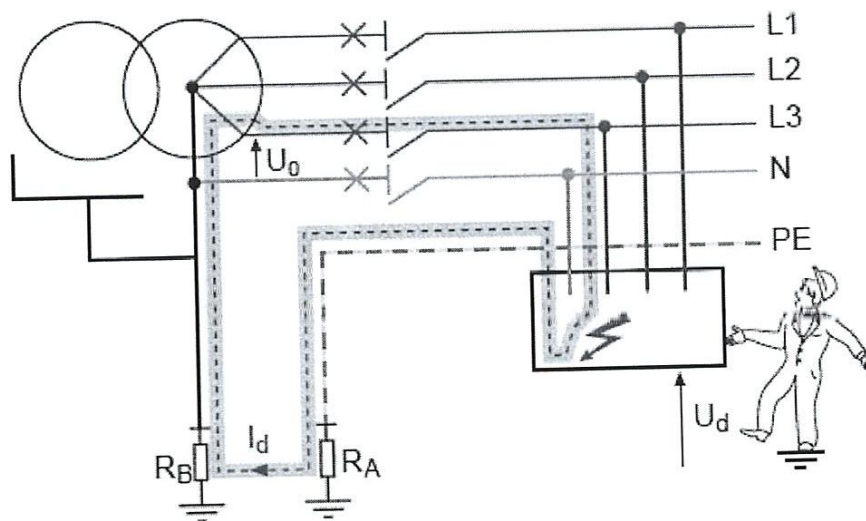


Figure 3.5. Exemple de schéma IT [16].

B .Calcul du courant de défaut

Les prises de terre des masses d'utilisation et du poste présentent respectivement une résistance électrique $R_A R_B$.

Pour simplifier le calcul nous négligeons les effets inductifs et capacitifs des câbles. L'impédance de boucle du défaut se ramène donc aux résistances R_A et R_B .

Le courant de défaut a pour valeur :

$$I_d = \frac{U_0}{(R_A + R_B)} \quad (3.7)$$

$$I_d = \frac{230}{(10 + 5)} = 15,3 \text{ A}$$

C .Calcul de la tension de défaut :

Une personne en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, sera soumise à un potentiel U_d :

$$U_d = \frac{U_0 \times R_A}{(R_A + R_B)} \quad (3.8)$$

$$U_d = \frac{230 \times 10}{(10 + 5)} = 153V.$$

Ce potentiel est dangereux pour les personnes car très largement supérieur à la tension limite de contact ($U_L = 50$ V).

D .Conclusion :

Le défaut doit être éliminé par ouverture de la portion de circuit électrique défectueuse dans un temps inférieur au temps indiqué par exemple (pour 150 V le temps de coupure est égale à 0.27s).

Pour cette intensité de défaut ($I_d = 15,3$ A), le temps de déclenchement de la protection thermique du disjoncteur est trop long. Il convient d'utiliser une protection différentielle (Dispositif Différentiel Résiduel ou DDR) qui détectera l'intensité de défaut de mode commun I_d et qui provoquera l'ouverture immédiate du disjoncteur.

III.1.4. Etude comparative des résultats de calcul

Les résultats de calcul pour les trois schémas de mise à la terre sont présentés dans le tableau 3.1.

Tableau 3. 1. résumé des calculs des schémas SLT en cas de défaut.

SLT	U_d	I_d	Z_b
TN	92 V	4089 A	45m Ω
IT	0,67 V	67 mA	/
TT	153 V	15,3 A	/

D'après les calculs des courants des défauts dans les trois schémas on a conclu que le courant de défaut I_d est plus grand dans le schéma TN que les deux autres schémas ainsi que dans le schéma TT par contre dans le schéma IT le courant de défaut I_d est plus faible parce qu'il est limité par l'impédance d'isolement du réseau, principalement due à la capacité d'isolement des câbles.

A propos de la tension de défaut U_d est dangereuse dans les deux schémas TT, TN car elle est supérieure à la tension limite conventionnelle U_L , mais dans le schéma IT, U_d n'est pas dangereuse car elle est très largement inférieure à la tension limite U_L .

III.2. Les mesures de la résistivité de sol et la résistance de la mise à la terre

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, ... etc.

III.2.1. Mesure des résistivités des sols

La méthode qui convient est celle de quatre électrodes (la méthode de WENNER) décrite ci-dessous [17].

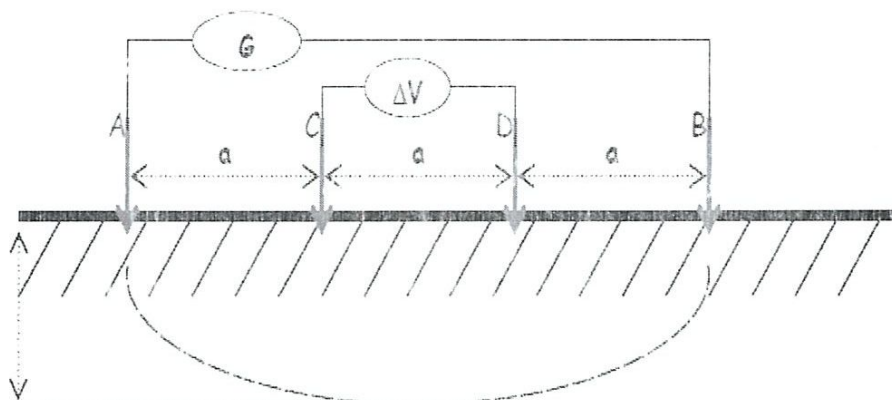


Figure 3.6. Schéma de mesure de la méthode de quatre électrodes [17].

La formule générale pour la mesure de la résistivité apparente des sols à partir de la méthode de WENNER pour un sol homogène (une seule couche de résistivité ρ) est :

$$\rho = 2\pi aR \quad (3.9)$$

ρ : Résistivité apparente en $\Omega.m$

a : Distance entre électrodes en m.

R : Valeur en Ω lue sur le telluromètre

La résistance R qui est mesurée avec un telluromètre à quatre bornes dont le circuit (le circuit volt métrique est relié aux prises C et D et le circuit ampère métrique aux prises A et B).

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (3.10)$$

Pour les sols multicouches, on utilise généralement un sol équivalent à deux couches (Figure 3.7)

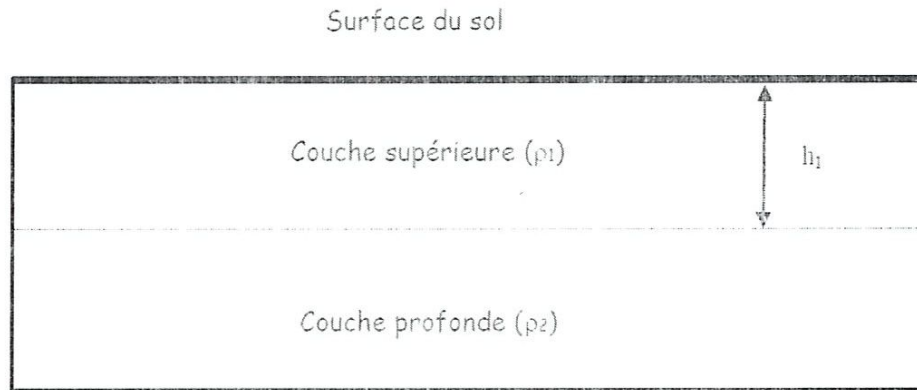


Figure 3.7. Sol en deux couches de résistivités différentes [17].

Depuis plusieurs dizaines d’années, les formules simples ont été développées pour calculer la résistance d’une mise à la terre en modélisant le sol en deux couches. La résistivité apparente du sol est alors donnée par la relation suivante :

$$\rho(a) = \rho_1 \left[1 + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + (2n \frac{h_1}{a})^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + (2n \frac{h_1}{a})^2}} \right] \quad (3.11)$$

Avec h_1 , la profondeur de la couche supérieure de résistivité ρ_1

K , coefficient de réflexion, donné par la relation :

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (3.12)$$

ρ_2 : la résistivité de la couche profonde du sol.

Et pour le cas de sol en plusieurs couches de résistivités différentes, on peut aussi considérer le sol comme uniforme. Dans ce cas, La résistivité apparente ρ_a du sol supposée homogène peut être trouvée par la relation suivante [18]:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \dots + \rho_{a(n)}}{n} \quad (3.13)$$

$\rho_{a(1)}, \rho_{a(2)}, \dots, \rho_{a(n)}$ Sont les résistivités de n différentes couches du sol mesurées avec la méthode de 4 électrodes :

$$\bar{\rho}_a = \frac{\rho_{a(\max)} + \rho_{a(\min)}}{2} \quad (3.14)$$

$\rho_{a(\max)}$ et $\rho_{a(\min)}$ Sont les n valeurs respectivement maximale et minimale de la résistivité des différentes couches du sol.

III.2.2. Mesure de la résistance de système de mise à la terre

Le problème de la détermination de la résistance d'un réseau de terre est extrêmement complexe, il est nécessaire dans la pratique d'utiliser des électrodes auxiliaires d'une part pour injecter du courant dans la prise de terre étudiée et d'autre part pour mesurer l'élévation de potentiel de cette dernière. Parmi ces méthodes on peut citer :

III.2.2.1. Méthode des trois points (triangle)

On utilise deux électrodes auxiliaires E1 et E2 associées à l'électrode de mesure E [19]. On injecte du courant électrique I entre les électrodes E et E2 et on mesure la différence de potentiel entre E et E1 (Figure 3.8). Les mesures se font plusieurs fois, en écartant les électrodes jusqu'à ce que les valeurs des résistances mesurées soient constantes. C'est une méthode peu recommandée à cause de son manque de précision. Elle nécessite, par ailleurs, la déconnection de la barrette de terre avant la mesure.

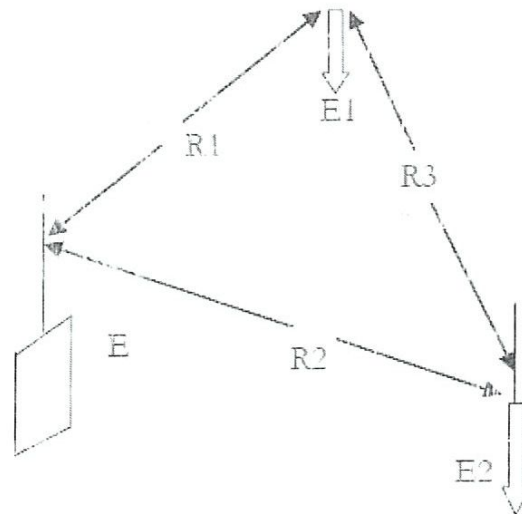


Figure 3.8. Méthode des trois points [19].

III.2.2.2. Méthode de chute de potentiel

C'est la méthode appliquée presque pour tous les types de réseau de terre [17.20], elle nécessite l'emploi de deux électrodes auxiliaires pour permettre l'injection de courant et la référence de potentiel 0V [21].

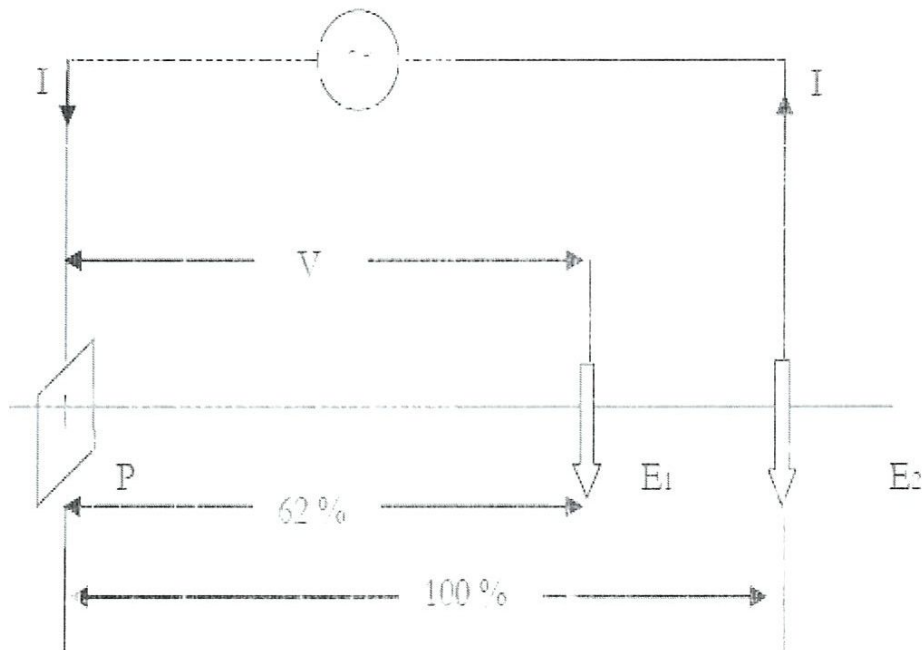


Figure 3.9. Méthode de chute de potentiel [21].

La position des deux électrodes auxiliaires, par rapport à la prise de terre à mesurer E(X), est déterminante. Pour effectuer une bonne mesure, il faut que la « prise auxiliaire » de référence de potentiel (E1) ne soit pas plantée dans les zones d'influences des terres E et H (Figure3.11), zones d'influence créées par la circulation du courant (i).

Des statistiques de terrain ont montré que la méthode idéale pour garantir la plus grande précision de mesure consiste à placer le piquet E1 à 62 % de E sur la droite EE2 [4] (Fig.3.12).

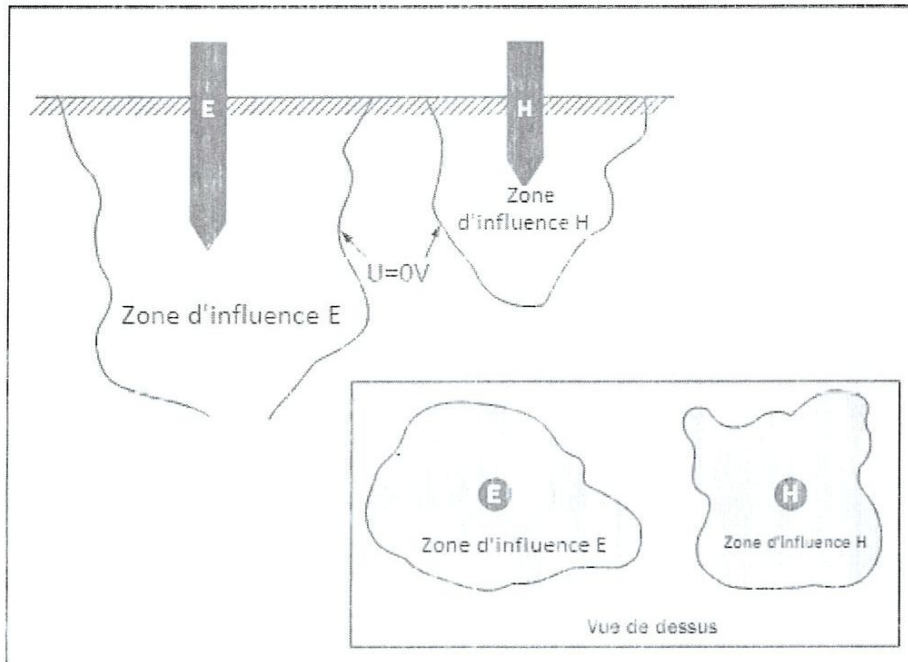


Figure 3.10. Zones d'influence [4].

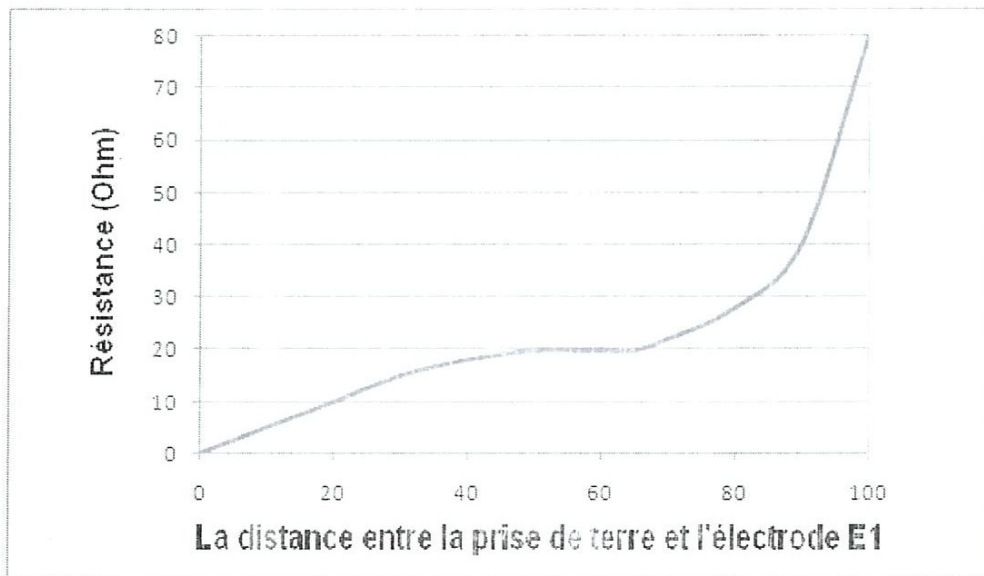


Figure 3.11. Méthode du 62 % [4].

Il convient ensuite de s'assurer que la mesure varie peu en déplaçant le piquet E1 à $\pm 10\%$ de part et d'autre de sa position initiale et ceci toujours sur la droite E2. Si la mesure varie, cela signifie que (E1) se trouve dans une zone d'influence : Il faut donc augmenter les distances et recommencer les mesures.

Cette méthode nécessite également, la déconnection de la barrette de terre avant la mesure. C. Korasli propose une nouvelle méthode très pratique [22.23], pour mesurer la résistance de la mise à la terre en utilisant des sondes capacitives au lieu des électrodes dans les districts urbanisés où il est difficile d'appliquer les électrodes (Figure 3.12).

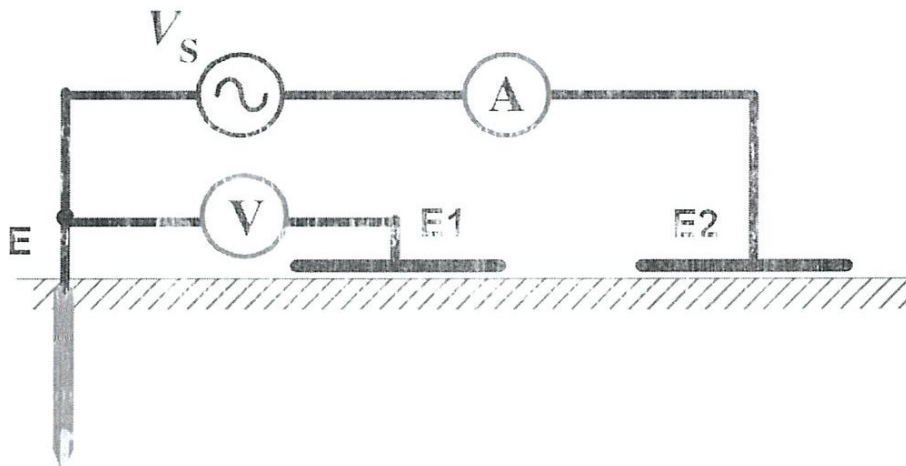


Figure 3.12. Méthode de chute de tension utilisant des sondes capacitives [23].

Kazuo Murakawa et Hiroshi Yamane proposent une autre méthode de mesure [24], sans l'utilisation des électrodes auxiliaires lorsque la surface du sol est couverte par des chaussées ou des pierres (difficulté de l'utilisation d'électrodes auxiliaires) comme il est montré dans la (Figure 3.13).

Un fil conducteur est relié à la prise de terre à l'essai, et le fil de retour est raccordé uniquement à un générateur de signal V_s , a est le diamètre des fils, et b est le diamètre du l'isolant.

$\epsilon_1 \mu_1 \sigma_1$, et $\epsilon_2 \mu_1 \sigma_2$ Sont la permittivité et la perméabilité et la conductivité des fils et de la terre respectivement.

L'impédance interne de fil $Z(\omega)$ est :

$$Z(\omega) = R_g + Z_0 \frac{1+r_R \exp(-2\gamma_1 L_2)}{1-r_R \exp(-2\gamma_1 L_2)} \quad (3.15)$$

Sachant que :

$$Z_0 = 60 \lg \frac{2h}{a} \quad \text{et} \quad \gamma_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1}$$

R_g est la résistance de prise de terre, r_R est le coefficient de réflexion du fil de retour, γ_1 est la longueur d'onde du fil de retour, L_1 et L_2 sont les longueurs des fils,

On peut trouver R_g en changeant la fréquence de générateur V_s jusqu'à la valeur minimum de $Z(\omega)$.

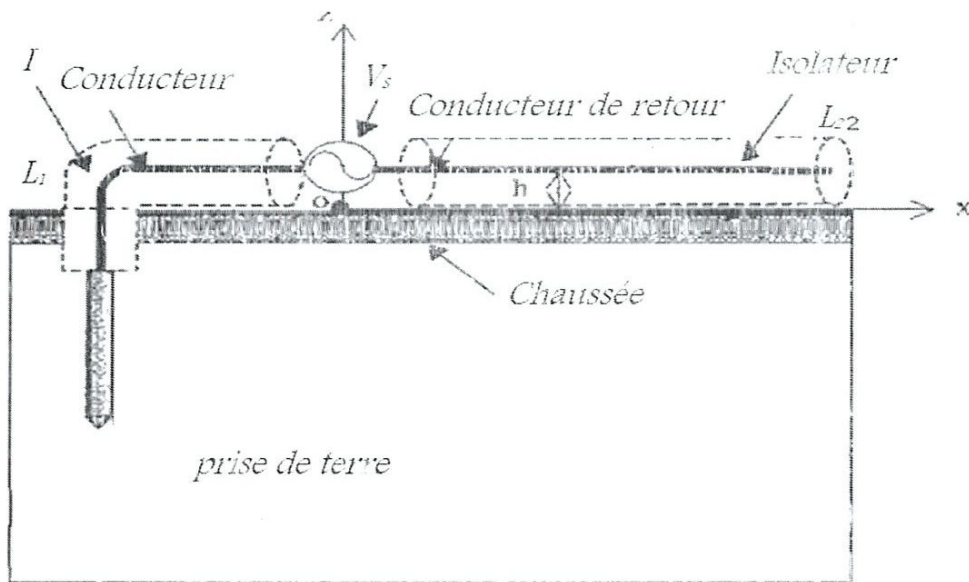


Figure 3.13 Méthode de mesure sans électrodes auxiliaires [24].

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié les différents calculs de défauts de chaque schéma avec la comparaison des résultats comme le montre le tableau 3.1.

On a présenté aussi les différentes méthodes de mesure de la résistivité de sol et la résistance de mise à terre.

CONCLUSION

GENERAL

Conclusion général

Comme nous venons de le voir, chaque schéma présente des avantages et des inconvénients.

Le choix du système de mise à la terre s'effectue donc en fonction des caractéristiques du bâtiment à installer. Il existe cependant bien souvent des lois ou des normes (qui peuvent varier d'un pays à un autre) qui imposent ou interdisent l'utilisation d'un système pour certains bâtiments particuliers (hôpitaux, écoles, ...). D'autres facteurs, comme le degré de développement ou encore le climat du pays peuvent entrer en ligne de compte dans ce choix.

Dans les pays industrialisés qui ont un climat tempéré, on retrouve les trois types de schémas dans les installations privées. Où on peut constater une explosion du nombre d'appareils utilisant l'énergie électrique (ordinateurs, appareils électroménagers, ...) dans les foyers domestiques. Ceux-ci contribuent donc à un accroissement des perturbations alors qu'ils constituent eux-mêmes des dispositifs perturbables. De plus, la coupure d'alimentation de l'installation rendant tous ces dispositifs inutilisables, la demande pour une continuité de service accrue se fait de plus en plus forte.

Par conséquent, le critère prépondérant tend à être celui de perturbation et la tendance générale est de réduire au maximum les courants de défauts.

Dans cette optique, le schéma TT s'avère être le meilleur choix puisqu'il présente des courants de défaut 1000 fois plus petits que dans le cas d'un schéma TN ou IT (qui semblent un choix peu judicieux pour une installation domestique compte tenu des contraintes de maintenance et de contrôle) présentant deux défauts.

On peut donc penser que le schéma TT devrait, à l'avenir, devenir de plus en plus utilisé.

Références

KEIGL6UC62

Bibliographiques

RIDH06LSBUION62

Références Bibliographiques

- [1] ZIDANE ZINE ABIDDINE. Mémoire de magister (modélisation et simulation des prises de terre dans les systèmes électrique). Université Ferhat Abbas- Sétif . Algérie 2012.
- [2] Schneider Electric .Guide de conception des réseaux électriques industriels.
- [3] CHAUVIN ARNOX. Contrôleurs de terre et ou de résistivité 2013 --E d.4(Guide de la mesure de terre).
- [4] Yaqing Liu, " Transient Response of Grounding Systems Caused by Lightning: Modelling and Experiments, " thèse de doctorat , université de uppsala ,2004.
- [5] J.A.Güemes, F.E.Hernando, " Method for Calculating the Ground Resistance of Grounding Grids Using FEM, " *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.19, No.2, pp 595-600, Avril 2004.
- [6] Henryk Markiewicz , Dr Antoni Klajn." Mise à La Terre --Bases de Calcul et De Conception , " *Guide Power Quality Section 6: Cem et Mise à La Terre www.leonardo-energy.org/France*, Edition Août 2007.
- [7] Tony Mitton , Robin Watson, " Practical Testing of Grounding Systems by Current Injectionll, Mitton Consulting Ltd Christchurch ,New Zealand, Mai 2005.
- [8] J. Nzuru Nsekere, " Contribution à L'analyse et à La Réalisation des Mises à La Terre des Installations Electriques dans Les Régions Tropicales, " thèse de doctorat. Université de Liège Faculté des sciences appliquées, Février 2009.
- [9] Elvis R. Sverko, " Ground-Measuring Techniques: Electrode Resistance to Remote Earth & Soil Resistivity, " ERICO, Inc. Facility Electrical Protection, February 1999.
- [10] Electricité de France, " Principes de conception et de réalisation des mises a la terre, " EDF NI 115, Direction des études et recherches, 1984.
- [11] Eleec.org
- [12] Risques physique B 3 M.Bonnefoy . P.LEPENT 16-06-2008.
- [13] Etude des systèmes techniques. Régime de neutre. Lycée Polyvalent Jean Monnet. EST TT3
- [12] ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/IMG/.../lessltdocumentprofesseur.doc.
- [13] UNIVERSITE DE LIEGE INSTITUT MONTEFIORE. Effets indirects des champs électromagnétiques .Prof. J.L. Lilien. Année académique 2004 -- 2005
- [15] Intersections le magazine schneider de l'enseignement technologique et professionnel.

- Novembre 1998. Code : <http://www.schneiderelectric.com> .Rubrique : maîtrise de l'électricité
- [16] IEEE Standard 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems." *IEEE Power Engineering Society*, No.8, Decembre 1991.
- [17] G.F.Tagg, B.Sc, Ph.D, M.I.E.F, F.Inst.P, " Earth Resistances, " Tower House, Southamton Street, London W.C.2 ,1964.
- [18] Electricité de France, " Principes de conception et de réalisation des mises à la terre, " EDF NI 115, Direction des études et recherches, 1984.
- [19] Ahmed Mghairbi , " Caractrisation of Transmission Line Earthing System , " these de master, Electrical and Electronic Division Universitie de Wales, 2003.
- [20] IEEE Standard, " IEEE Standard Test Code for Resistance Measurement. " *IEEE Power Engineering Society*, pp. 118-1978.1992.
- [21] C. Korasli, " Ground Resistance Measurement with Alternative the Fall-of-Potential Method, " *IEEE Power Engineering Society*, pp. 1657-1661, 2005.
- [22] C. Korasli, " Ground Resistance Measurement Fall-of-Potential Method Using Capacitive Test Probes, " *IEEE Power Engineering Society*, 2006.
- [23] Kazuo Murakawa , Hiroshi Yamane, " Earthing Resistance Measurement Technique without Using Auxiliary Electrodes, " *IEEE Power Engineering Society*, pp 213-216, 2003.

Annexe

ANNEXE

Annexe

VALEURS OHMIQUES DES PRISE DE TERRE SUIVANT LEUR UTILISATION

PROTECTION DU MATÉRIEL		
Appareils à mettre à la terre	Valeur de la résistance de la prise de terre	Normes correspondantes
Terre du neutre d'un poste d'abonnés (puissance < 2500 kVA) raccordé à un réseau de 2 ^{ème} catégorie	R < 5 ohms	NF C 13 100
Terre pour éclateurs HT de poste d'abonnés	R < 20 ohms	NF C 13 100
Terre pour paratonnerre et cage de Faraday	R < 10 ohms	
Terre électronique pour ordinateurs ou appareils comprenant une baie électronique de calcul	R < 5 ohms Faible capacité de calcul R < 5 ohms Capacité de calcul élevée	
Terre pour répartiteurs téléphoniques	R < 5 ohms	
Terre pour réservoirs d'hydrocarbures	R < 20 ohms	
Terre pour émetteur récepteur pour radiocommunication	Antenne R < 10 ohms émettrice ou réceptrice	NFM 88 512 NFM 88 513 NFM 88 255
Terre pour escalier mécanique	R < 10 ohms	
PROTECTION DES PERSONNES		
Terre des masses pour poste d'abonnés alimentés par ligne souterraine	R < 1 ohms terre reliées	NF C 13 100
	R < 10 ohms terre séparées	NF C 13 100
	R < 30 ohms terre à isolation renforcée	NF C 13 100
Terre des masses pour poste d'abonnés alimentés par ligne aérienne ou mixte	R < 1 ohms terre reliées	NF C 13 100
	R < 3 ohms terre séparées	NF C 13 100
	R < 10 ohms terre à isolation renforcée	NF C 13 100
Terre pour habitations équipées de disjoncteur différentiel 650 mA	R < 37 ohms	NF C 15 100
Terre pour habitations équipées de disjoncteur différentiel 500 mA	R < 48 ohms	NF C 15 100
Terre pour habitations équipées de disjoncteur différentiel 300 mA	R < 80 ohms	NF C 15 100
Terre pour appareils ménagers ou appareils de bureau	La valeur de l'impédance de prise de terre dépend de l'appareil de coupure automatique. Résistance recommandée de la prise de terre si cet appareil fait défaut R < 10 ohms	NFP 82 201
Terre pour ascenseur et chaufferie dans les immeubles		
Terre pour appareils médicaux (appareils médicaux (appareils de radiographie, à rayons X)	R < 10 ohms	

[SOFREGAZ] N° 845-ST-OE1-1600-0004 : Rénovation des circuits de terre du le pole 1.