

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

Réf: ...../2020



## MEMOIRE

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

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Electrotechnique

**Spécialité** : Réseaux électriques

**Par** : - Bourechak Rania  
-Khadraoui Ikram

**Thème**

**Etude des prises de terre dans les systèmes électrique**

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

Pr. Lemzadmi Ahcene	Professeur	Univ. Guelma	Président
Pr. Lemzadmi Ahcene	Professeur	Univ. Guelma	Encadreur
Dr. Boudefel Amar	MCA	Univ. Guelma	Examinateur
Dr. Beloucif Faissel	MCB	Univ. Guelma	Examinateur

**Année Universitaire : 2019/2020**

## **Remerciements**

*Nous tenons à exprimer toute reconnaissance au professeur **Lemzadmi Ahcene**  
Nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Nous remercions également nos examinateurs docteur **Boudefel Amar** et docteur  
**Beloucif faissel** maître de conférences d'avoir accepté d'examiner ce modeste  
travail.*

*Un grand merci pour tous les professeurs de l'université de Guelma et  
spécialement le département génie électrotechnique et automatique pour toutes  
leurs patiences et encouragements.*

*Un grand merci à nos parents, pour leurs amours, leurs conseils ainsi que leur  
soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui nous permis de réaliser  
les études que nous voulions et par conséquent ce mémoire.*

*Nous voudrions exprimer nos reconnaissance envers les amis les collègues qui  
nous ont apporté leur soutien morale et intellectuel au long de nos démarche. Un  
grand merci à monsieur Naili. Faissel pour ses conseils concernant le style de ce  
mémoire. Nous remercions tous nos frères, amis, et camarades, pour leurs  
encouragement.*

*A tous ces intervenants, nous présentons nos remerciement, notre respect e notre  
gratitude.*

Guelma le 03/10/2020

## Dédicace

*Je dédie ce mémoire*

*A nos chers parents pour leur patience, leur amour, leur  
soutien encouragement*

*A nos chers frères et sœurs*

*A nos chers amis et camarades*

## **Résumé :**

La mise à la terre est obligatoire pour la sécurité des individus et des installations électriques. Une mise à la terre a pour but de garantir un cheminement de courant de défaut d'isolement qui sera détecté par le dispositif différentiel associé au circuit concerné et qui déclenchera automatiquement pour couper le courant. Dans le présent travail, une étude sur les défauts d'isolement, les différentes techniques de mise à la terre et l'élaboration des différents schémas de liaisons à la terre SLT avec une description du dispositif de protection (Disjoncteur différentiel résiduel DDR) a été largement développée.

## **Abstract :**

Earthing is compulsory for the safety of individuals and electrical installations. Earthing is intended to guarantee an insulation fault current flow which will be detected by the differential device associated with the circuit concerned and which will automatically trigger to cut off the power. In the present work a study on the defects insulation, different earthing techniques and the development of different SLT earthing schemes with a description of the protection device (Residual differential circuit breaker DDR) has been widely developed.

## **ملخص:**

يعتبر التأريض إلزامياً لأغراض السلامة الشخصية والتركيبات الكهربائية. يهدف التأريض إلى ضمان مسار تيار عطل العزل الذي سيكتشفه الجهاز التفاضلي المرتبط بالدائرة المعنية والذي سيؤدي إلى قطع التيار تلقائياً. في هذا العمل، يتم إجراء دراسة حول العيوب تم تطوير العوازل وتقنيات التأريض المختلفة ووضع مخططات تأريض مختلفة مع وصف جهاز الحماية قاطع الدائرة التفاضلي على نطاق واسع.

## Table de matières

Introduction générale .....	1
<b>I LES DEFAUTS D'ISOLEMENT .....</b>	<b>3</b>
I.1. INTRODUCTION .....	4
I.2. CAUSE DES DEFAUTS D'ISOLEMENT .....	4
I.2.1. Risques liés au défaut d'isolement .....	5
I.2.2. Risque d'électrisation des personnes .....	5
I.2.3. Risque d'incendie .....	6
I.2.4. Risque de non disponibilité de l'énergie .....	7
I.2.5. Normes régissant la protection des personnes .....	7
I.3. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS QUEL QUE SOIT LE REGIME DE NEUTRE .....	7
I.3.1. Disposition rendant non dangereux le contact direct .....	8
I.3.2. Moyens préventifs .....	8
I.3.3. Protection complémentaire .....	8
I.4. PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS .....	9
I.4.1. Masses mises sous tension .....	9
I.4.2. Mesures de protection contre les contacts indirects .....	9
I.4.3. Tensions de sécurité .....	10
I.5. CONDITIONS GENERALES DE PROTECTION .....	11
I.6. SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE(SLT) .....	12
I.7. CONCLUSION .....	13
<b>II CARACTERISTIQUES D'UNE MISE A LA DE TERRE .....</b>	<b>14</b>
II.1. INTRODUCTION .....	15
II.2. DEFINITION DE RESEAU TERRE .....	15
II.3. L'INTERET DE LA MISE A LA TERRE .....	15
II.4. ROLE DE LA MISE A LA TERRE .....	16
II.4.1. Protection des personnes et des installations électriques .....	16
II.5. REALISATION DE LA PRISE DE TERRE .....	17
II.6. TENSION DE PAS ET RESISTANCE DE TERRE .....	17
II.7. INSTALLATION DE LA MISE A LA TERRE .....	18
II.7.1. Les autres éléments de la mise a la terre .....	19
II.7.2. Exemple de la réalisation de la mise a la terre .....	19
II.7.3. Calcul De la résistance de la mise a la terre .....	21
II.7.4. Variations saisonnières de la résistance de terre .....	22
II.8. RESISTIVITE DE LA TERRE ET RESISTANCE DE MISE A LA TERRE .....	22
II.9. LES MESURES DE TERRE SUR DES INSTALLATIONS POSSEDANT UNE PRISE DE TERRE UNIQUE .....	23
II.9.1. La méthode de mesure en ligne dite « des 62 % » (deux piquets) .....	24
II.9.2. La méthode variante des 62 % (un piquet) (uniquement en Schéma TT ou IT impédant ) .....	25

II.9.3. La méthode de mesure en triangle (deux piquets).....	26
II.9.4. Mesure de boucle Phase-PE (uniquement en Schéma TT).....	27
II.9.5. La mesure de couplage de deux terre .....	27
II.10. LES MESURES DE TERRE SUR DES RESEAUX POSSEDANT DE MULTIPLES MISES A LA TERRE EN PARALLELE.....	29
II.10.1. Mesure de terre 4 pôles sélectives .....	30
II.10.2. La mesure avec Pince de terre.....	30
II.10.3. Mesure de boucle de terre à 2 pinces .....	32
II.10.4. Récapitulatif des différentes méthodes de mesure de terre .....	33
II.11. FREQUENCE DE MESURE ET IMPEDANCE.....	33
II.12. IDENTIFICATION DU CIRCUIT MESURE .....	34
II.13. PRECAUTIONS PARTICULIERES POUR REALISER UNE MESURE DE TERRE.....	34
II.14. AMELIORATION DE LA RESISTANCE D'UNE MISE A LA TERRE .....	35
II.14.1. Augmentation de la longueur de l'électrode de la terre .....	35
II.14.2. Utiliser plusieurs piquets en parallèles (2, 3, 4, etc...).....	35
II.14.3. Traitement de terre.....	35
II.15. UTILITE DE LA MESURE DE RESISTIVITE .....	36
II.15.1. Méthodes de mesure de résistivité.....	36
II.16. CONCLUSION.....	38
III SCHEMAS DE PROTECTION ET DISPOSITIF DE PROTECTION DIFFERENTIEL ..	39
III.1. PROTECTION DES PERSONNES ET EQUIPEMENTS .....	40
III.2. SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE (SLT).....	40
III.2.1. Neutre a la terre TT .....	40
III.2.2. Schéma TN .....	41
III.2.3. Neutre isolé (IT).....	42
III.2.4. Schéma avec neutre impédant.....	43
III.3. ANALYSE D'UN DEFAUT D'ISOLEMENT .....	44
III.3.1. Etude de la liaison TT .....	44
III.3.2. Analyse d'un défaut d'isolement régime TN.....	53
III.3.3. Analyse d'un défaut d'isolement IT .....	59
III.4. ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTS SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE.....	64
III.5. LES PROTECTIONS DIFFERENTIELLES EN BASSE TENSION .....	66
III.5.1. Applications des protections différentielles.....	66
III.6. DISPOSITIF DIFFERENTIEL A COURANT RESIDUEL (DDR).....	66
III.6.1. Définition DDR.....	66
III.6.2. Principe de fonctionnement DDR.....	67
III.6.3. Détection d'un défaut d'isolement .....	68
III.6.4. L'intérêt du DDR .....	70
III.7. LE DISJONCTEUR DIFFERENTIEL ET LA PRISE DE TERRE.....	70
III.8. TEST DU DDR .....	70
III.9. LES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU DDR .....	71
III.10.1. Choix DDR .....	74
III.11. EMBLEMES DES DDR.....	74
III.12. LA SENSIBILITE DES DDR.....	76

III.13. SELECTIVITE DES DDR .....	77
III.13.1. DDR type sélectif S .....	78
III.13.2. Sélectivité entre DDR.....	78
III.14. TEMPS DE DECLenchement DES DDR .....	81
III.15. LA DIFFERENCE ENTRE UN INTERRUPTeur ET UN DISJONCTeur DIFFERENTIEL .....	81
III.17. CONCLUSION .....	82
Conclusion Générale et perspective .....	83
Annexes.....	84
Références bibliographiques.....	85

## *Table des figures*

<b>Figure I.1.</b> Défaut d'isolement. ....	4
<b>Figure I.2.</b> Effet du courant sur le corps humain.....	5
<b>Figure I.3.</b> Durée du passage du courant en fonction du courant passant par le corps (courant alternatif) .....	6
<b>Figure I.4.</b> Risque d'incendie.....	6
<b>Figure I.5.</b> Contact direct .....	8
<b>Figure I.6.</b> Contact indirect .....	9
<b>Figure I.7.</b> Les valeurs des tensions de contact et la durée de passage du courant .....	10
<b>Figure I.8.</b> Variations de la résistance en fonction de la tension de contact, et de l'état de la peau .....	11
<b>Figure I. 9.</b> Les trois principaux schémas liaison à la terre ou SLT .....	13
<b>Figure II.1.</b> Schéma présente l'installation de mise à la terre .....	18
<b>Figure II.2.</b> Schéma présente circuit de terre en bâtiment.....	19
<b>Figure II.3.</b> Schéma de la Boucle à fond de fouilles.....	20
<b>Figure II.4.</b> Schéma du Conducteur en tranchées.....	20
<b>Figure II.5.</b> Conducteurs verticaux (piquets).....	21
<b>Figure II.6.</b> Variations saisonnières de la résistance à la terre avec une électrode de 3/4 "de tuyau dans un sol argileux et caillouteux.....	22
<b>Figure II.7.</b> Schéma principe de la méthode 62% en ligne (deux piquets).....	24
<b>Figure II.8.</b> Résultats de mesure à différents distance (R1 à R9) .....	25
<b>Figure II.9.</b> Schéma principe de la méthode 62 % variante (un piquet).....	25
<b>Figure II.10.</b> Schéma principe de méthode triangle (deux piquets).....	26
<b>Figure II.11.</b> Schéma principe de mesure de boucle phase-PE.....	27
<b>Figure II.12.</b> Mesure de couplage de terre.....	28
<b>Figure II.13.</b> Principe de la méthode mesure de couplage.....	28
<b>Figure II.14.</b> Méthode de mesure de terre 4 pôles sélectives.....	30
<b>Figure II.15.</b> Mesure par pince de terre.....	31
<b>Figure II.16.</b> Réseau de terre en parallèle.....	31
<b>Figure II.17.</b> Utilisation de la pince de terre.....	32
<b>Figure II.18.</b> Schéma de mesure boucle de terre avec 2 pinces de terre.....	32
<b>Figure II.19.</b> Augmentation de la résistance avec la longueur de piquet.....	35
<b>Figure II.20.</b> Principe de mesure la résistivité méthode de Wenner.....	37
<b>Figure II.21.</b> Principe de mesure la résistivité méthode Schlumberger.....	38
<b>Figure III.1.</b> Neutre à la terre TT.....	40
<b>Figure III.2.</b> Schéma liaison a la terre TN.....	41
<b>Figure III.3.</b> Schémas liaison à la terre TN-C et TN-S.....	42
<b>Figure III.4.</b> Schéma IT : Neutre isolé.....	42
<b>Figure III.5.</b> Schéma IT : Neutre impédant.....	43
<b>Figure III.6.</b> Réseau est mis à la terre par l'impédance de fuite du réseau.....	43
<b>Figure III.7.</b> Rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2, une personne touche cette masse.....	44
<b>Figure III.8.</b> Le schéma équivalent de la figure III.7 .....	44

<b>Figure III.9.</b> Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2. ....	45
<b>Figure III.10.</b> Le schéma équivalent de la figure III.9. ....	46
<b>Figure III.11.</b> Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2. ....	47
<b>Figure III.12.</b> Le schéma équivalent. ....	47
<b>Figure III.13.</b> Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse. ....	48
<b>Figure III.14.</b> Le schéma équivalent de la figure III.13. ....	49
<b>Figure III.15.</b> Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse. ....	50
<b>Figure III.16.</b> Schéma équivalent de la figure III.15. ....	50
<b>Figure III.17.</b> Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne ne touche cette masse. ....	51
<b>Figure III.18.</b> Schéma équivalent de la figure III.17. ....	52
<b>Figure III.19.</b> Variation de courant avec le temps. ....	53
<b>Figure III.20.</b> Schéma d'un défaut d'isolation (TN). ....	55
<b>Figure III.21.</b> Courbe de sécurité. ....	56
<b>Figure III.22.</b> Défaut d'isolement (IT). ....	59
<b>Figure III.23.</b> Apparition du 2ème défaut. ....	60
<b>Figure III.24.</b> Symbole d'un DDR. ....	67
<b>Figure III.25.</b> Intérieur DDR. ....	67
<b>Figure III.26.</b> Principe de fonctionnement DDR. ....	68
<b>Figure III.27.</b> Schéma principe en absence de défaut d'isolement. ....	68
<b>Figure III.28.</b> Schéma principe de présence du défaut d'isolement. ....	69
<b>Figure III.29.</b> Schéma principe après détection du défaut. ....	69
<b>Figure III.30.</b> Schéma de principe du circuit de test périodique. ....	71
<b>Figure III.31.</b> DDR Uni+Neutre. ....	72
<b>Figure III.32.</b> Schéma nombre de pôle DDR. ....	72
<b>Figure III.33.</b> Disjoncteur tripolaire. ....	74
<b>Figure III.34.</b> Schéma emplacement DDR. ....	74
<b>Figure III.35.</b> Schéma pas DDR en tête. ....	75
<b>Figure III.36.</b> Schéma DDR liaison sous conduit. ....	75
<b>Figure III.37.</b> Schéma DDR cas éloignés. ....	76
<b>Figure III.38.</b> Schéma n'est pas DDR en tête. ....	78
<b>Figure III.39.</b> Courbe les zones de sélectivité. ....	79
<b>Figure III.40.</b> Schéma de principe sélectivité entre 2 DDR. ....	79
<b>Figure III.41.</b> Seuil de fonctionnement. ....	80
<b>Figure III.42.</b> Schéma d'un cas $I_d < I_{\Delta NB}/2$ . ....	80
<b>Figure III.43.</b> Schéma d'un cas $I_{\Delta NA}/2 > I_d > I_{\Delta NB}/2$ . ....	80
<b>Figure III.44.</b> Schéma d'un cas $I_d > I_{\Delta NA}/2$ . ....	80
<b>Figure III.45.</b> Disjoncteur/Interrupteur différentiel. ....	81

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1.</b> Valeur limite de tension de contact. ....	11
<b>Tableau II.1.</b> Valeur maximale de la prise de terre en fonction du courant assigné du DDR (schéma TT). ....	18
<b>Tableau II.2.</b> Les différents calcul de la résistance de terre. ....	21
<b>Tableau II.3.</b> Résistivités moyennes des différents types de sol. ....	23
<b>Tableau II.4.</b> Différentes méthodes de mesure de terre ....	33
<b>Tableau III.1.</b> Temps de coupure en schéma TN.....	57
<b>Tableau III.2.</b> Temps de coupure maximaux en schéma IT (selon les normes CEI 60364 et NF15-100).....	62
<b>Tableau III.3.</b> DDR de la haute sensibilité =30mA .....	77
<b>Tableau III.4.</b> Temps de coupure des DDR (en [ms]). ....	77
<b>Tableau III.5.</b> Temps de coupure des DDR type S (en [ms])......	78
<b>Tableau III.6.</b> Déclenchement des DDR. ....	81

## *Abréviation*

**TBTS** : très Basse tension de sécurité.

**TBTP** : Très basse tension de protection.

**PE** : protective earth en anglais abrégé PE (fil de protection)

**MT/BT** : la ligne de moyennes tension /les lignes de basse tension

**HT** : haute tension

**CPI** : contrôleur permanent d'isolement

## *Introduction générale*

L'extraordinaire explosion de l'utilisation de l'électricité dans la vie quotidienne, tant privée que professionnelle et le formidable développement des réseaux de distribution qui a suivi ont nécessité l'écriture de règles de l'art sur la construction des installations.

La norme NF C 15-100 précise les conditions générales d'installation à respecter pour assurer la sécurité des personnes, des animaux domestiques ou d'élevage et des biens contre les dangers et dommages pouvant résulter de l'utilisation des installations électriques.

Toutefois, l'efficacité des mesures de sécurité mises en œuvre n'est garantie que si des contrôles réguliers attestent de leur bon fonctionnement. Les risques liés à une non mise en sécurité des installations électriques peuvent présenter :

- de réels dangers pour la vie des personnes.
- la mise en péril des installations électriques et des biens.

Au niveau de l'utilisateur, 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. Les études réalisées par un groupe de travail composé de médecins et d'experts en matière de sécurité ont conduit à la détermination d'une tension de contact permanente admise comme non dangereuse pour les individus : 50 V AC pour les locaux secs, 25 V AC pour les locaux humides et 12 V AC pour les locaux immergés.

Notre travail, consiste à étudier la mise à la terre dans les systèmes électriques nous l'avons organisé comme suit:

Dans le premier chapitre nous avons rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations et définis les schémas de liaisons à la terre.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté le raccordement d'une prise de terre est une des règles de base à respecter pour garantir la sécurité du réseau électrique. L'absence de prise de terre peut entraîner de réels dangers pour la vie des personnes et la mise en péril des installations électriques et des biens. Cependant, cette seule disposition ne suffit pas à garantir une sécurité totale. Seuls des contrôles réguliers peuvent attester du bon fonctionnement de l'installation électrique.

De nombreuses méthodes de mesure de terre existent en fonction du type de régimes de neutre, du type d'installation (domestique, industrielle, milieu urbain, campagne, etc)

Dans le troisième chapitre nous avons présenté l'analyse du défaut d'isolement dans les trois schémas de liaison à la terre (SLT) avec étude des différents cas possible.

Finalement on a présenté le principe du dispositif différentiel résiduel (DDR) utilisé pour assurer une correcte sécurité.

Le travail se termine par une conclusion générale et perspective.

# **Chapitre I :**

## **Les défauts d'isolement**

## I.1. Introduction

L'utilisation de l'énergie électrique a pratiquement débuté en 1900, aujourd'hui les normes d'installation électrique sont très développées et traitent tous les aspects importants pour la réalisation d'une installation correcte.

## I.2. Cause 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.

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 (onde 1 ; 2 ; 50  $\mu$ s).

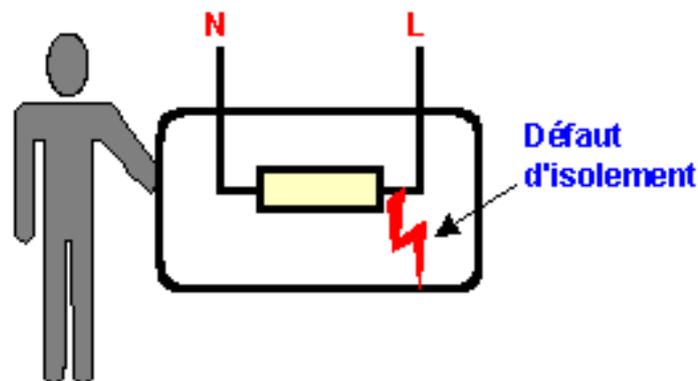


Figure I.1. Défaut d'isolement.

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 est augmentée.

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

- **durant l'installation:** la détérioration mécanique de l'isolant d'un câble.
- **pendant l'exploitation:** les poussières plus au moins conductrices, le vieillissement thermique des isolants dus 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 affecter 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 conduisent au défaut d'isolement [1].

### I.2.1. Risques liés au défaut d'isolement

Un défaut d'isolement, quelle que soit sa cause, présente des risques pour :

- la vie des personnes.
- la conservation des biens.
- la disponibilité de l'énergie électrique.

Tout ceci relevant de la sûreté d'exploitation, fonctionnement et fiabilité.

### I.2.2. Risque d'électrisation des personnes :

Une personne (ou un animal) soumise à une tension électrique est électrisée. Selon l'importance de l'électrisation cette personne peut subir [1] :

- une gêne.
- une contraction musculaire.
- une brûlure.
- un arrêt cardiaque (c'est l'électrocution) (figure I.2)

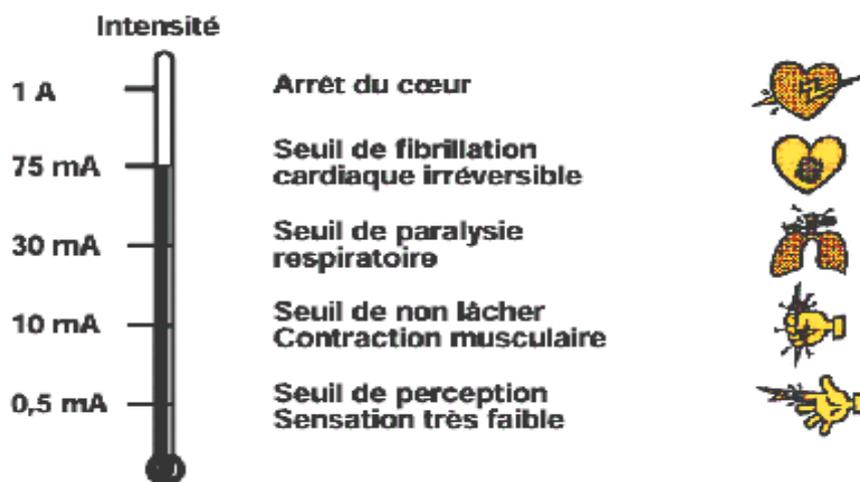
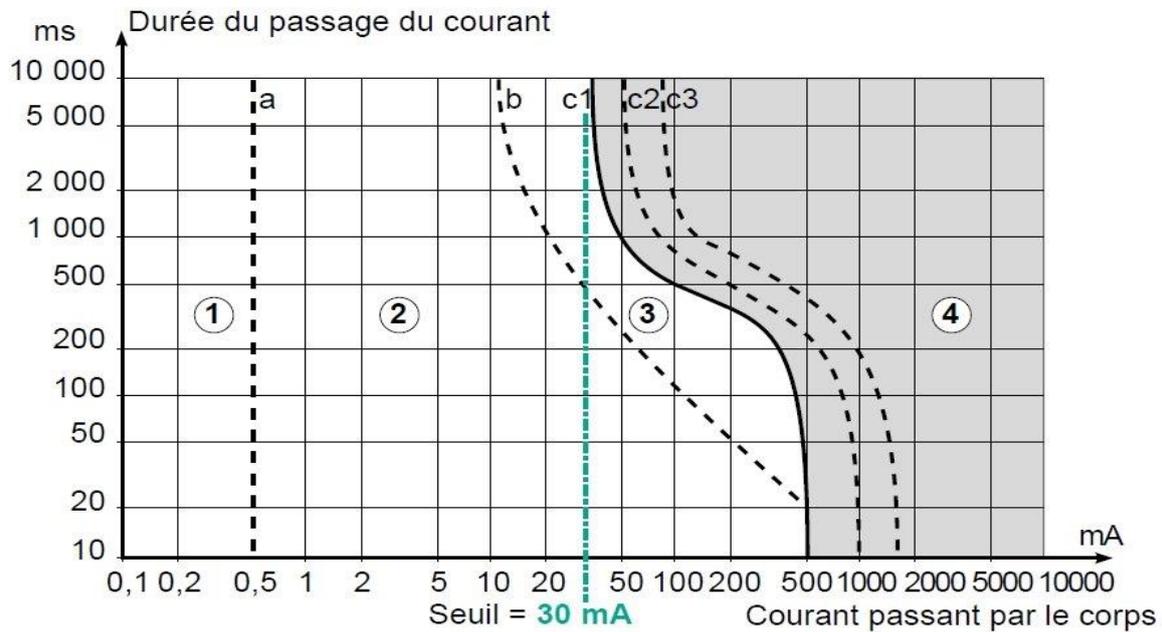


Figure I.2. Effet du courant sur le corps humain

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

C'est le courant en valeur et en durée, traversant le corps humain (en particulier le cœur), qui est dangereux.

La figure I.3. montre les différentes zones de l'effet du courant électrique en fonction du temps sur les personnes [1].



**Figure I.3.** Durée du passage du courant en fonction du courant passant par le corps (courant alternatif).

Tel que:

Zone 1 :	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Non perception.	Perception / forte gêne.	contractions musculaires.	Risques d'arrêt cœur.

Avec: C1 : 0% probabilité C2: probabilité 5% et C3: probabilité 50%.

### I.2.3. Risque d'incendie

Ce risque lorsqu'il se matérialise peut avoir des conséquences dramatiques pour les personnes et les biens. Bon nombre d'incendies ont pour origine un échauffement important et ponctuel ou un arc électrique provoqué par un défaut d'isolement. Le risque est d'autant plus important que le courant de défaut soit élevé, Il est également fonction du degré du risque incendie ou explosion des locaux [4].



**Figure I.4.** Risque d'incendie.

**I.2.4. Risque de non disponibilité de l'énergie**

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

- un risque pour la personne.

Par exemple: manque subit d'éclairage, et mise hors service d'équipements utiles à la sécurité.

- 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 [1].

**I.2.5. Normes régissant la protection des personnes**

La norme NF C 15-100 est la norme qui fixe toute la réglementation des installations électrique en basse tension, elle porte précisément sur la protection de l'installation et de la personne [5].

Norme	NF C 15 100: Installations électriques basse tension.
Significations	NF: Distinction des produits fabriqués conformément aux normes françaises
	C: Indice de Classe c Electrotechnique
	15: Indice de sous classe.
	100 : Numéro d'ordre de la norme

**I.3. Protection contre les contacts directs quel que soit le régime de neutre**

Il s'agit du contact accidentel de personnes avec un conducteur actif (phase ou neutre) ou une pièce conductrice habituellement sous tension [1]. Les parties actives peuvent être les conducteurs actifs, les enroulements d'un moteur ou transformateur ou les pistes de circuits imprimés. Le courant peut circuler soit d'un conducteur actif à un autre en passant par le corps humain, soit d'un conducteur actif vers la terre puis la source, en passant par le corps humain.

Dans le premier cas, la personne doit être considérée comme une charge monophasée, et dans le deuxième cas comme un défaut d'isolement. Ce qui caractérise le contact direct est l'absence ou la non-influence d'un conducteur de protection dans l'analyse des protections contre les contacts directs à mettre en œuvre [3]. Quel que soit le régime de neutre dans le cas d'un contact direct, le courant qui retourne à la source est celui qui traverse le corps humain.

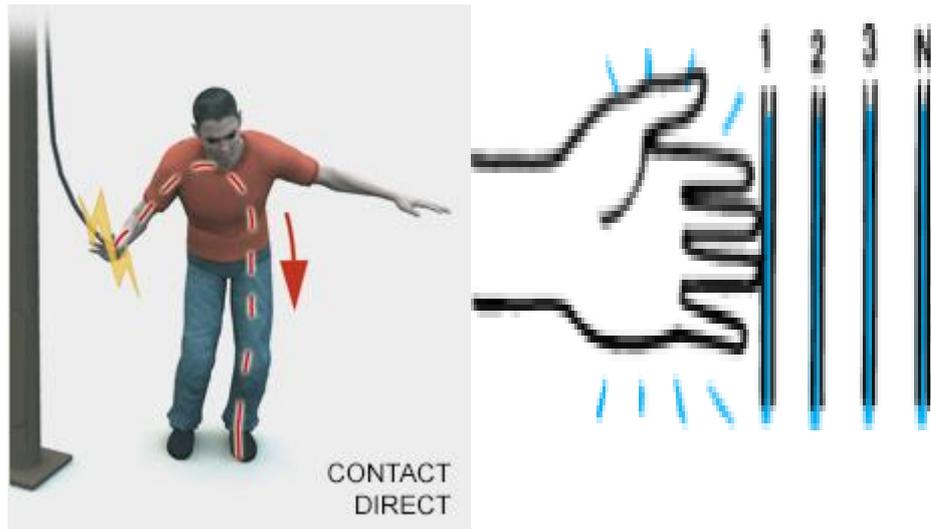


Figure I.4. Contact direct

### I.3.1. Disposition rendant non dangereux le contact direct

Utilisation de la très basse tension (TBTS, TBTP) 25 V (contraintes de mise en œuvre, puissance véhiculées faible) [3].

#### I.3.1.1. Moyens préventifs

Ils sont destinés à mettre hors de portée les parties actives sous tension :

- Isolation des parties actives.
- Boîtier isolant d'un disjoncteur, isolant extérieur d'un câble...
- Barrières ou enveloppes (Coffrets ou armoires de degré de protection minimum .L'ouverture de ces enveloppes ne se fait qu'avec une clé ou un outil, ou après mise hors tension des parties actives, ou encore avec interposition automatique d'un autre écran)
- Éloignement ou obstacles pour mise hors de portée : protection partielle Utilisée principalement dans les locaux de services électriques [2].

#### I.3.1.2. Protection complémentaire

Cependant certaines installations peuvent présenter des risques particuliers malgré la mise en œuvre des dispositions précédentes : isolation risquant d'être défectueuse (chantiers, enceintes conductrices), conducteur de protection absent ou pouvant être coupé.

Dans ce cas, la norme NF C 15-100 définit une protection complémentaire : c'est l'utilisation de dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) à haute sensibilité [2].

## I.4. Protection contre les contacts indirects

### I.4.1. Masses mises sous tension

Le contact d'une personne avec des masses métalliques mises accidentellement sous tension est appelé contact indirect. Cette mise sous tension accidentelle résulte d'un défaut d'isolement [1]. Elles sont métalliques ou conductrices renfermant des parties actives sous tension.

Elles ne doivent pas être confondues avec les masses électroniques propres au fonctionnement des ensembles électroniques et sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un conducteur de protection (PE).

En l'absence d'un défaut d'isolement, ces masses électriques doivent être à un potentiel nul par rapport à la terre, car elles sont accessibles normalement à toute personne non habilitée.

En cas de défaut d'isolement, cette masse est en contact avec une partie active et le courant circulant au travers du défaut et de la masse rejoint la terre, soit par le conducteur de protection, soit par une personne en contact. La caractéristique d'un contact indirect est que le courant de défaut ne circule jamais intégralement au travers du corps humain [3].

### I.4.2. Mesures de protection contre les contacts indirects

#### I.4.2.1. Protection sans coupure de l'alimentation

Emploi de la très basse tension (TBTS, TBTP), séparation électrique des circuits, emploi de matériel de classe II, isolation supplémentaire de l'installation, éloignement ou interposition d'obstacles, liaisons équipotentielles locales non reliées à la terre.

#### I.4.2.2. Protection par coupure automatique de l'alimentation

Elle s'avère nécessaire, car les mesures de protection précédentes ne sont, en pratique que locales. Cette protection par coupure automatique n'est réelle que si les deux conditions suivantes sont réalisées [3] :

**Première condition:** Toutes les masses et éléments conducteurs accessibles doivent être interconnectés et reliés à la terre. Deux masses simultanément accessibles doivent être reliées à une même prise de terre [3].

**Deuxième condition (quand la 1<sup>ère</sup> est réalisée):** la coupure doit s'effectuer par mise hors tension automatique de la partie de l'installation où se produit un défaut d'isolement, de manière à ne pas soumettre une personne à une tension de contact  $U_c$  pendant une durée telle qu'elle soit dangereuse. Plus cette tension est élevée, plus la mise hors tension de cette partie d'installation en défaut doit être rapide [3]. Cette mise hors tension de l'installation se fait différemment selon les schémas des liaisons (régimes de neutre, voir chapitre suivant).

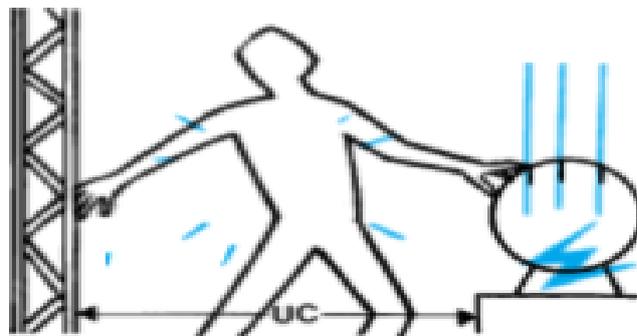


Figure I.5. Contact indirect

En Basse Tension (BT) la valeur de l'impédance du corps (dont une composante importante est la résistance de la peau), n'évolue pratiquement qu'en fonction de l'environnement (locaux secs et humides, et locaux mouillés). Pour chacun des cas, une tension de sécurité (tension de contact maximale admissible pendant au moins 5 s a été définie : elle est appelée tension limite conventionnelle  $U_L$  selon la norme CEI 60479.

Les normes CEI 60364 § 413.1.1.1 et NF C 15-100 précisent que si la tension de contact ( $U_c$ ) risque de dépasser la tension  $U_L$ , la durée d'application de la tension de défaut doit être limitée par l'intervention des dispositifs de protection.

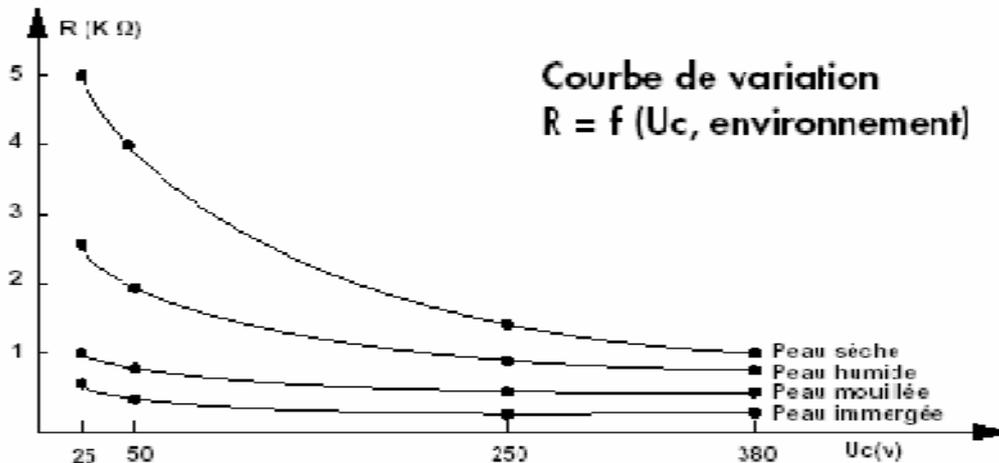
Sur la figure I.7 sont présentées les valeurs des tensions de contact et la durée de passage du courant pour  $U_L$  égale à 50V et 25V pour les conditions des locaux secs et humides et les locaux mouillés [1].

■ Locaux ou emplacements secs ou humides : $U_L \leq 50$ V											
Tension de contact présumée (V)		< 50	50	75	90	120	150	220	280	350	500
Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	Courant alternatif	5	5	0,60	0,45	0,34	0,27	0,17	0,12	0,08	0,04
	Courant continu	5	5	5	5	5	1	0,40	0,30	0,20	0,10
■ Locaux ou emplacements mouillés : $U_L \leq 25$ V											
Tension de contact présumée (V)		25	50	75	90	110	150	220	280		
Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	Courant alternatif	5	0,48	0,30	0,25	0,18	0,10	0,05	0,02		
	Courant continu	5	5	2	0,80	0,50	0,25	0,06	0,02		

Figure I.6. Les valeurs des tensions de contact et la durée de passage du courant

### I.4.3. tensions de sécurité

La résistance du corps humain évolue suivant beaucoup de paramètres (tension, conditions atmosphériques, anatomie, conditions physiques, etc.). Sa valeur peut être évaluée entre quelques kilos ohm et quelques mégohms. La caractéristique ci-contre donne les variations de cette résistance en fonction de la tension de contact, et de l'état de la peau.



**Figure I.7.** Variations de la résistance en fonction de la tension de contact, et de l'état de la peau.

Selon ces considérations, une valeur limite de tension de contact à ne pas dépasser en cas de défaut d'isolement dans l'installation. Ces valeurs ont été déterminées de façon à ce que la sécurité des personnes soit vérifiée dans tous les cas [2].

**Tableau I.1.** Valeur limite de tension de contact.

Tension limite	Locaux secs	Locaux humides	Immergés
EN AC	50 V	25V	12V
EN DC	120V	60V	30V

### I.5. Conditions générales de protection

Mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation est destinée à empêcher qu'à la suite d'un défaut d'isolement, une personne puisse se trouver soumise à une tension de contact dangereuse pendant un temps tel qu'il puisse en résulter des dommages organiques. Pour respecter cette règle tout défaut survenant dans un matériel électrique provoque la circulation d'un courant qui doit être interrompu dans un temps compatible avec la sécurité des personnes. Il en résulte que cette mesure de protection repose sur l'association de deux conditions :

- la réalisation ou l'existence d'un circuit dénommé boucle de défaut pour permettre la circulation du courant de défaut.
- la coupure du courant de défaut par un dispositif de protection approprié dans un temps dépendant de certains paramètres tels que:
  - la tension de contact à laquelle peut être soumise une personne.
  - la probabilité de défauts et de contacts avec les parties en défaut.
  - La constitution de la boucle de défaut dépend du schéma des liaisons à la terre : TT, TN ou IT.

Pour toute valeur de tension de contact présumée supérieure :

- à 50 V en courant alternatif (valeur efficace) ou à 120 V en courant continu lisse (taux d'ondulation non supérieur à 10% en valeur efficace), dans des locaux secs.
- à 25 V en courant alternatif ou à 60 V en courant continu lisse, dans des locaux mouillés [3].

### **I.6. Schémas de liaison à la terre (SLT)**

Après avoir rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations portant atteinte à la sécurité des personnes et des biens, cette partie présente les trois Schémas de Liaison à la Terre (SLT) les plus utilisés.

Chaque schéma de liaison à la terre (SLT), encore appelé régime de neutre est examiné en terme de sécurité et de disponibilité, ainsi que vis-à-vis de la protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques.

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 "raccordé à la terre», **I** - pour "isolé de la terre".
- la deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation :  
**T** - pour "raccordé directement" à la terre.  
**N** - pour "raccordé au neutre" à l'origine de l'installation lequel est raccordé à la terre.

Alors il existe pour les réseaux BT trois types de schémas des liaisons à la terre communément appelés régimes de neutre:

- **Neutre de terre : TT.**
- **Mise au neutre TN deux variantes :**
  - **TN-S** : neutre et **PE** séparé.
  - **TN-C** : neutre et **PE** confondus.
- **Neutre isolants (ou impédant) : IT.**

Ils diffèrent par la mise à la terre ou non du point neutre de la source de tension et le mode de mise à la terre des masses.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

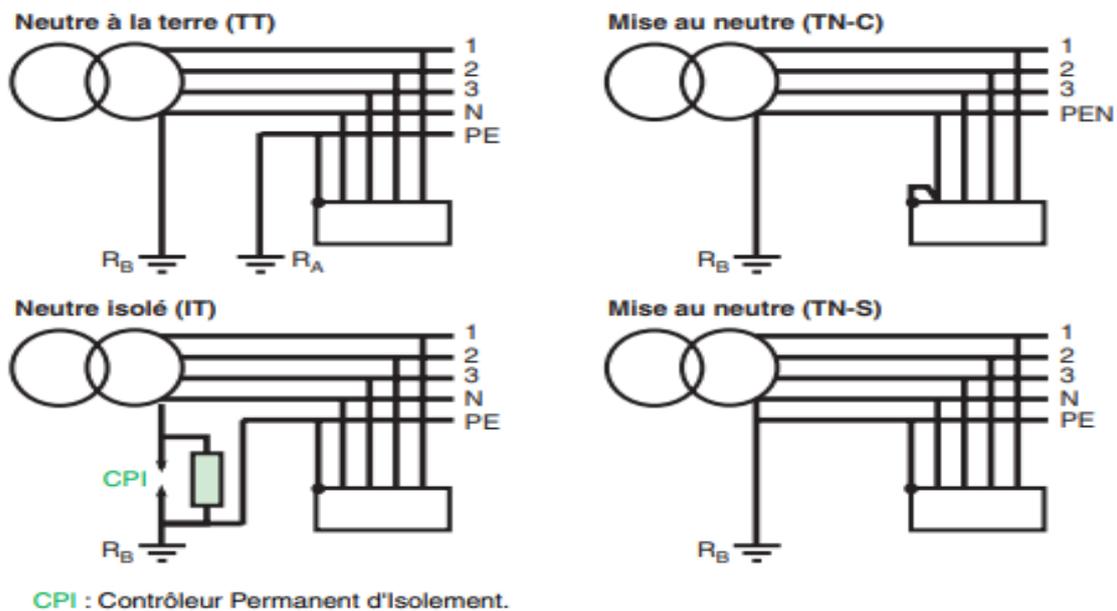


Figure I. 9. Les trois principaux schémas liaison à la terre ou SLT.

## I.7. Conclusion

Dans tout système électrique un défaut d'isolement peut créer un risque d'électrisation qui peut se révéler mortel. Un défaut survenant dans un matériel électrique provoque la circulation d'un courant qui doit être interrompu dans un temps compatible avec la sécurité des personnes. Ceci peut se faire en utilisant les méthodes directes et indirectes. Les régimes de neutre ou Schémas de Liaison à la Terre (SLT) permettent de distribuer l'énergie chez les utilisateurs tout en assurant leur sécurité.

# **Chapitre II :**

## **Caractéristiques d'une mise à la de terre**

## **II.1. Introduction**

Dans ce chapitre sont présentées les conditions générales d'installation à respecter pour assurer la sécurité des personnes et des équipements contre les dangers électriques pouvant résulter de l'utilisation des installations électriques. Les techniques de la mise à la terre et les différentes méthodes de mesure de terre pour assurer une bonne protection seront largement détaillées.

## **II.2. Définition de réseau terre**

La mise à la terre parfois simplement appelée «la terre» est la liaison du neutre et la partie métallique conductrice à la terre. La mise à la terre est un élément important d'un réseau électrique, que ce soit en haute, moyenne 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 [6].

## **II.3. L 'intérêt de mise à la terre**

Une mauvaise mise à la terre est particulièrement préjudiciable en termes d'indisponibilité des équipements, elle est aussi dangereuse et augmente le risque de panne des équipements. Sans un réseau de terre efficace, nous nous exposons aux risques d'électrocution, sans oublier les erreurs d'instruments, les problèmes de distorsion d'harmonique, de facteur de puissance et un éventail important de problèmes potentiels intermittents [8].

Si les courants de défaut n'ont pas d'accès à la terre par le biais d'un réseau de mise à terre correctement conçu et maintenu, ils en trouveront un qui risque de mettre en danger la vie des individus.

Les organismes suivants émettent des recommandations et/ou des normes pour la mise à la terre pour garantir la sécurité :

- OSHA (Agence américaine pour la santé et la sécurité au travail).
- NFPA (Association américaine de protection contre l'incendie).
- ANSI/ISA (Institut national américain de normalisation/Instrumentation, Systèmes et Automation).
- TIA (Association américaine chargée du développement des nouveaux standards en matière de télécommunications).
- CEI (Commission électrotechnique internationale).
- CENELEC (Comité européen de normalisation électronique).
- IEEE (Institut américain regroupant les professionnels de l'électronique et de l'électricité).

La qualité de la mise à la terre n'implique toutefois pas seulement la sécurité, elle permet aussi de protéger les équipements et les installations industrielles. Un réseau de terre de bonne qualité améliore la fiabilité des équipements et réduit la probabilité de leur endommagement provoqué par des courants de défaut ou la foudre. Des milliards de revenus partent ainsi en fumée chaque

année sur le lieu de travail à cause d'incendies électriques, et cela sans tenir compte des coûts liés aux litiges et à la perte de productivité pour le personnel et l'entreprise.

## II.4. Rôle de la mise à la terre

La mise à la terre consiste à réaliser une liaison électrique entre un point donné du réseau, d'une installation ou d'un matériel et une prise de terre. Cette dernière est une partie conductrice, pouvant être incorporée dans le sol ou dans un milieu conducteur, en contact électrique avec la terre.

La mise à la terre permet ainsi de relier à une prise de terre, par un fil conducteur, les masses métalliques qui risquent d'être mises accidentellement en contact avec le courant électrique par suite d'un défaut d'isolement dans un appareil électrique. Le courant de défaut n'aura ainsi pas de danger pour les individus et les équipements.

La mise à la terre permet donc d'écouler sans danger les courants de fuite et, par association avec un dispositif de coupure automatique, d'assurer la mise hors tension de l'installation électrique.

Une bonne mise à la terre assure donc la sécurité des personnes mais aussi la protection des biens et des installations en cas de foudre ou de courants de défaut. Elle doit toujours être associée à un dispositif de coupure [9].

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

- 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.

Une mise à la terre de qualité n'est pas seulement une question de sécurité, elle permet également de ne pas endommager les équipements et les sites industriels. Un système de mise à la terre efficace augmente la fiabilité de l'équipement et réduit l'éventualité de dommages occasionnés par la foudre ou des courants de défaut. Chaque année, des incendies électriques entraînent des pertes par milliards pour les usines, sans compter les dépenses entraînées par les litiges et la perte de productivité du personnel et des entreprises [8].

### II.4.1. Protection des personnes et des installations électriques

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.

Le réseau de terre des installations électriques, la prise de terre des supports de lignes, limitent les effets des surtensions provoquées par [6] :

- 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.

La protection des équipements sensibles à proximité des installations de puissance, en effet ces 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, électromagnétique.

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 [6].

## II.5. Réalisation de la prise de terre

La résistance de mise à la terre doit être la plus faible possible, elle dépend de [10]:

- sa forme.
- ses dimensions.
- la résistivité du terrain dans lequel elle est établie.

La résistivité du terrain varie d'un point à un autre suivant :

- La profondeur.
- Le taux d'humidité.
- La température.

Le gel, la sécheresse augmentent la résistivité des terrains et leur effet peut se faire sentir jusqu'à plus de 2 m de profondeur.

Par conséquent on doit établir les prises de terre de préférence dans les fonds de fouilles des bâtiments ou dans les caves et de toute façon en des endroits abrités de la sécheresse et du gel.

Les prises de terre doivent être tenues à distance des dépôts ou infiltrations pouvant les corroder (fumier, purin, produits chimiques, coke, ...)

Elles ne doivent jamais être constituées de pièces métalliques plongées dans l'eau ni établies dans des pièces d'eau ou des rivières (médiocre conductivité de l'eau, risque d'assèchement, danger pour les personnes entrant en contact avec l'eau au moment d'un défaut).

## II.6. Tension de pas et résistance de terre

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.

Dans une installation aux normes et pour garantir la sécurité des individus, il faut quelques dispositifs de protection se déclenchent dès qu'une « tension de défaut » circulant dans l'installation dépasse la tension limite acceptée par le corps humain [9]. Dans le but de minimiser les risques nous considérerons :

$U_L = 25V$  (AC) pour milieu humide, et  $50 V$  (AC) pour milieu sec.

De plus, de façon générale dans les installations domestiques le dispositif de coupure différentiel (DDR) associé à la prise de terre accepte une élévation de courant de 500 mA.

- Pour un milieu humide, on obtient :  $R = 25 V / 0,5 A = 50 \Omega$ .

Pour garantir la sécurité des individus et des biens, il faut que la résistance de la prise de terre soit inférieure à  $50 \Omega$ .

- Pour un milieu sec, on obtient:  $R = 50 V / 0,5 A = 100 \Omega$ .

Pour garantir la sécurité des individus et des biens, il faut que la résistance de la prise de terre soit inférieure à  $100 \Omega$ .

La réalisation d'une bonne prise de terre doit respecter trois éléments essentiels :

- la nature de la prise de terre.
- la nature et la résistivité du terrain.
- le conducteur de la terre

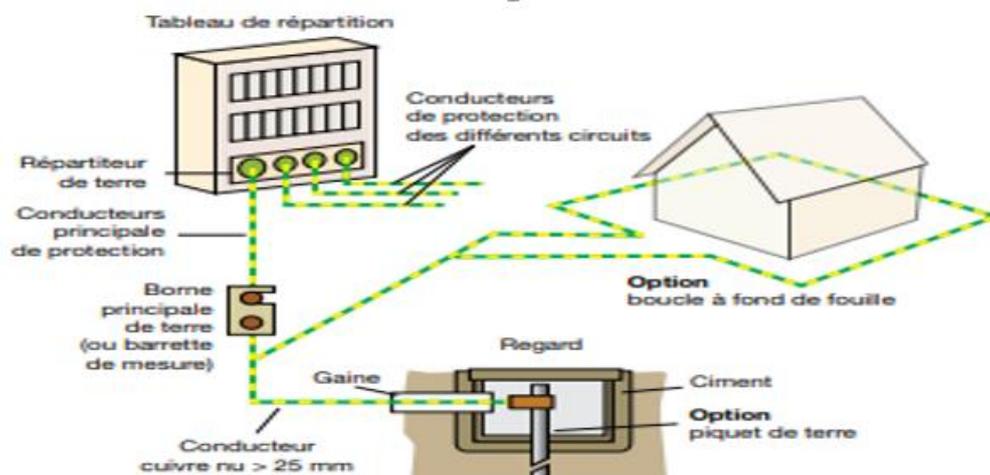
**Tableau II.1.** Valeur maximale de la prise de terre en fonction du courant assigné du DDR (schéma TT).

Courant différentiel résiduel maximal assigné du DDR		Valeur maximale de la résistance de la prise de terre des masses (Ohms)
<b>Basse sensibilité</b>	20 A	2.5
	10 A	5
	5 A	10
	3 A	17
<b>Moyenne sensibilité</b>	1 A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
<b>Haute sensibilité</b>	≤ 30 mA	> 500

### II.7. Installation de la mise à la terre

En fonction des pays, du type de construction ou des exigences normatives, il existe différentes méthodes pour réaliser une prise de terre [9]. Généralement, les types de construction utilisés sont les suivants :

- boucle à fond de fouille (figure II.1).
- feuillard ou câble noyé dans le béton de propreté.
- plaques.
- piquets ou tubes.rubans ou fils.



**Figure II.1.** Schéma présente l'installation de mise à la terre

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.

### II.7.1. Les autres éléments de mise à la terre

A partir de la prise de terre est mis en place tout le système de mise à la terre du bâtiment. Celui-ci est le plus souvent constitué des éléments suivants [9] :

- le conducteur de terre.
- la borne principale de terre.
- la barrette de mesure.
- le conducteur de protection.
- la liaison équipotentielle principale.
- la liaison équipotentielle locale.

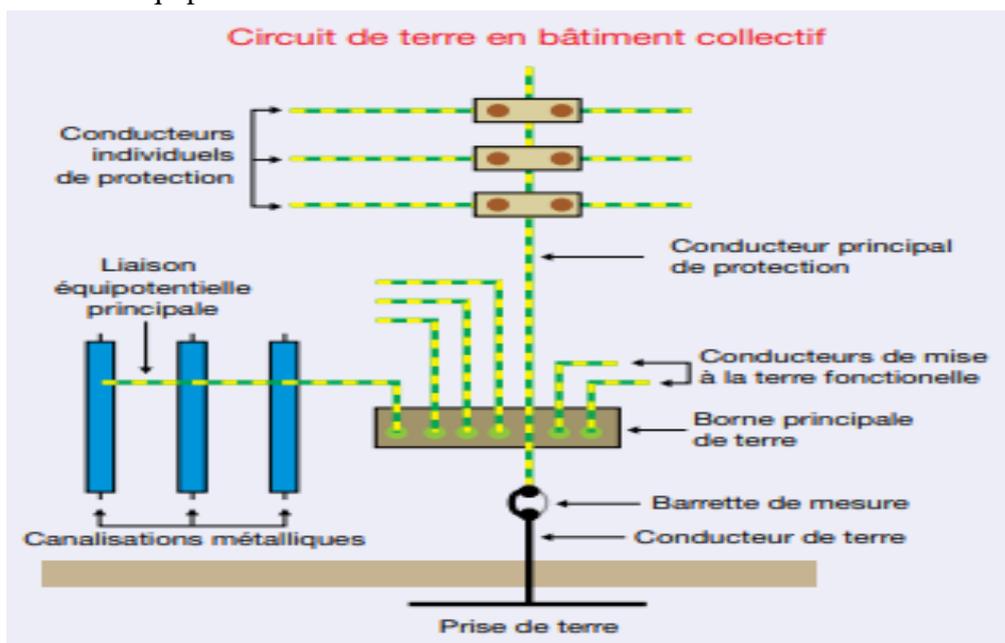


Figure II.2. Schéma du circuit de terre en bâtiment

### II.7.2. Exemple de la réalisation

#### II.7.2.1. Conducteurs enfouis

Le ceinturage à fond de fouilles intéressant le périmètre du bâtiment apporte une solution efficace dans le cas de construction d'un bâtiment [10].

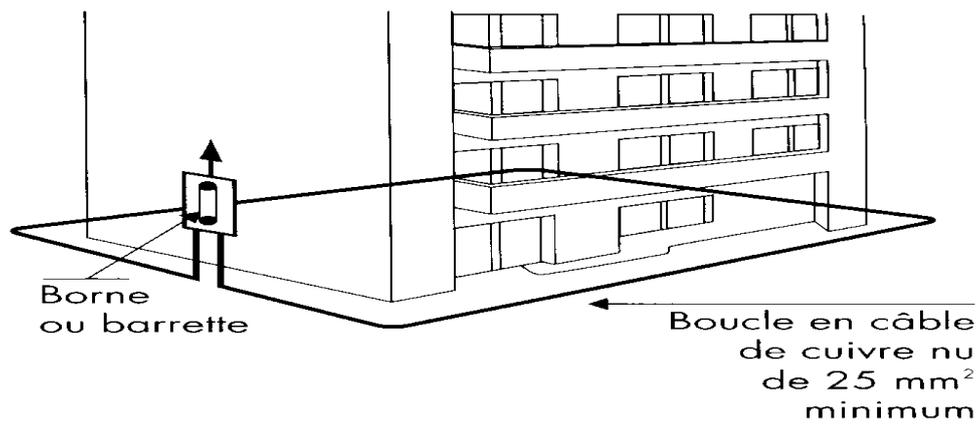


Figure II.3. Schéma de la Boucle à fond de fouilles.

### II.7.2.2. Conducteur en tranchées

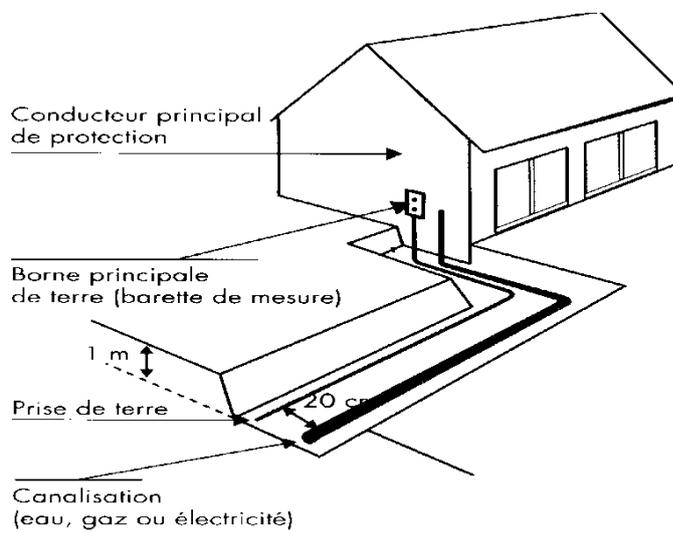


Figure II.4. Schéma du Conducteur en tranchées.

II.7.2.3. Conducteur verticaux (piquets)

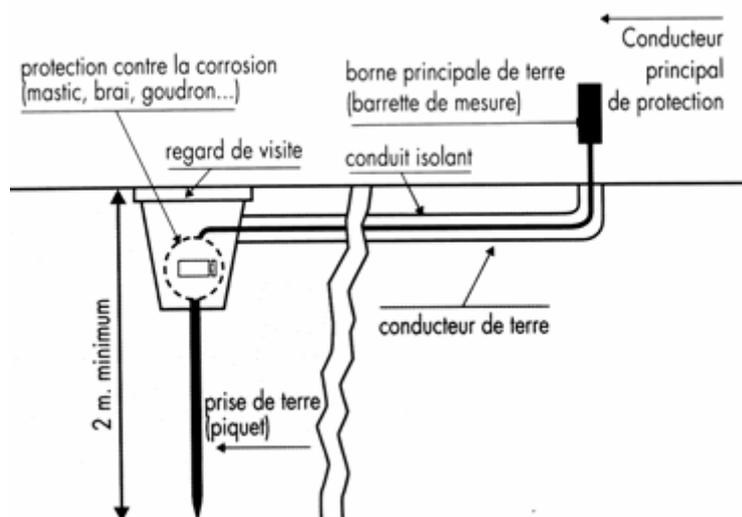


Figure II.5. Conducteurs verticaux (piquets)

II.7.2.4. Autres solutions

II.7.2.4.1. Plaques minces enterrées

En pratique, on utilise des plaques rectangulaires de 0,5 m \* 1 ou des plaques carrées de 1 m de côté, enfouies verticalement pour un meilleur contact des deux faces avec le sol, de sorte que le centre de la plaque se trouve à une profondeur de 1 m [10].

II.7.2.4.2. Piliers métalliques enterrés

Lorsque le bâtiment comporte une ossature métallique dont les poteaux des murs extérieurs constituent des prises de terre de fait, il suffit de vérifier la continuité électrique entre ces prises de terre de fait; l'ensemble constitue la prise de terre qu'il convient d'incorporer à la liaison équipotentielle principale [10].

II.7.3. Calcul de La résistance de terre

Sur le tableau, sont présentées les formules de calcul de la résistance de terre pour différentes configurations [10] :

Tableau II.2. les différents calcul de la résistance de terre.

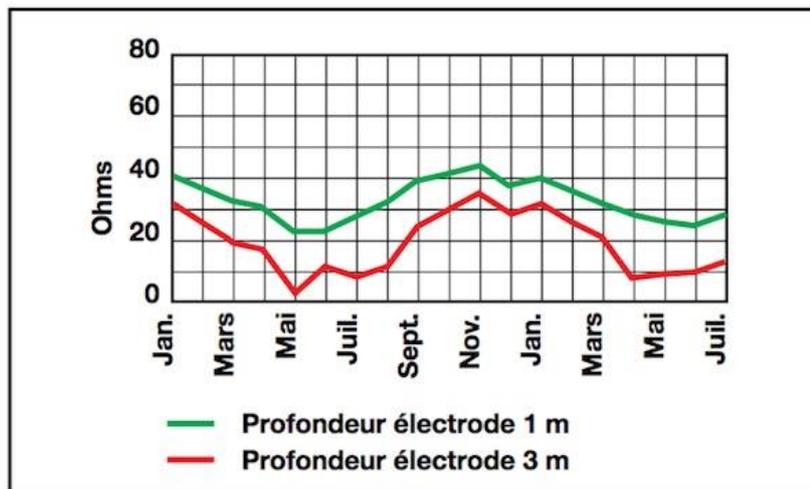
CONSTITUTION DE LA PRISE DE TERRE	CALCUL	DEFINITIONS DES GRANDEURS
CONDUCTEURS ENFOUIS HORIZONTALEMENT	$R = \frac{2\rho}{L}$	L : Longueur de la tranchée ρ : Résistivité du terrain

<b>PIQUETS VERTICAUX</b>	$R = \frac{\rho}{L}$	L : Partie enterrée du piquet ρ : Résistivité du terrain
<b>PILIER METALLIQUE ENTERRE</b>	$R = \frac{0,37\rho}{L} * \text{Log}\left(\frac{3L}{d}\right)$	L : Partie enterrée du pilier ρ : Résistivité du terrain d: Diamètre du cylindre circonscrit au pilier.
<b>PLAQUE MINCE</b>	$\frac{0,8\rho}{L}$	ρ : Résistivité du terrain L: Périmètre de la plaque

**II.7.4. Variations saisonnières de la résistance de terre**

Nous connaissons les effets de la température, de l'humidité et de la teneur en sel sur la résistivité de la terre. Il est donc logique que la résistivité du sol varie considérablement à différents moments de l'année. Cela est particulièrement vrai dans les endroits où il y a plus de températures extrêmes, de précipitations de périodes sèches et d'autres variations saisonnières [11].

➤ **Mise à la terre : électrode dans un sol argileux**



**Figure II.6.** Variations saisonnières de la résistance à la terre avec une électrode de 3/4 ”de tuyau dans un sol argileux et caillouteux.

Par conséquent, la prise de terre doit atteindre un niveau suffisamment profond pour fournir :

- Taux d'humidité permanent (relativement parlant).
- Température constante.

**II.8. Résistivité de la terre et résistance de mise à la terre**

Avant de réaliser une mesure de terre, la première question fondamentale à se poser est de savoir quelle est la valeur maximale admissible pour s’assurer que la prise de terre est correcte.

La résistivité du sol est très importante dans le choix final des éléments qui composent le circuit de terre.

En effet les sols sont plus ou moins conducteurs et leur résistivité. 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 [12] :

- la nature des sols.
- composition chimique des sels.
- concentration des sels dissous dans l'eau contenue.
- le taux d'humidité, la température.
- Le tableau ci-dessous donne une indication sur les résistivités des différents types de sol [13]:

**Tableau II.3.** Résistivités moyennes des différents types de sol.

Nature du terrain	Résistivité en $\Omega.m$
<b>Terrains marécageux</b>	De quelques unités a 30
<b>Limon</b>	20 à 100
<b>Humus</b>	30 à 40
<b>Marnes du jurassique</b>	50 à 500
<b>Sable argileux</b>	200 à 300
<b>Sable siliceux</b>	1500 à 3000
<b>Sol pierreux recouvert de gazon</b>	300 à 500
<b>Calcaires fissurés</b>	500 à 1000
<b>Calcaires tendres</b>	100 à 300
<b>Micaschistes</b>	800
<b>Granits et grés en altération</b>	1500 à 10000
<b>Granits et grés très altérés</b>	100 à 600

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 [6] .

### II.9. Les mesures de terre sur des installations possédant une prise de terre unique

Dans le cas de prises de terre existantes, la démarche consiste à vérifier que celles-ci répondent correctement aux normes de sécurité en termes de construction et de valeur de résistance. L'écoulement d'un courant de défaut se fait d'abord à travers les résistances de contact de la prise de terre. Plus on s'éloigne de la prise de terre, plus le nombre des résistances de contact en parallèle tend vers l'infini et constitue une résistance équivalente quasiment nulle.

➤ **Les différents Méthodes de mesure de la résistance de terre**

- Mesure de terre 3 pôles dits méthode des 62 %.
- La méthode de mesure en triangle (2 piquets).
- La mesure de terre méthode 4 pôles.
- La méthode variante des 62 % (1 piquet)(uniquement en schéma TT ou IT impédant).
- Mesure de boucle Phase-PE (uniquement en schéma TT).

### II.9.1. La méthode de mesure en ligne dite « des 62 % » (deux piquets)

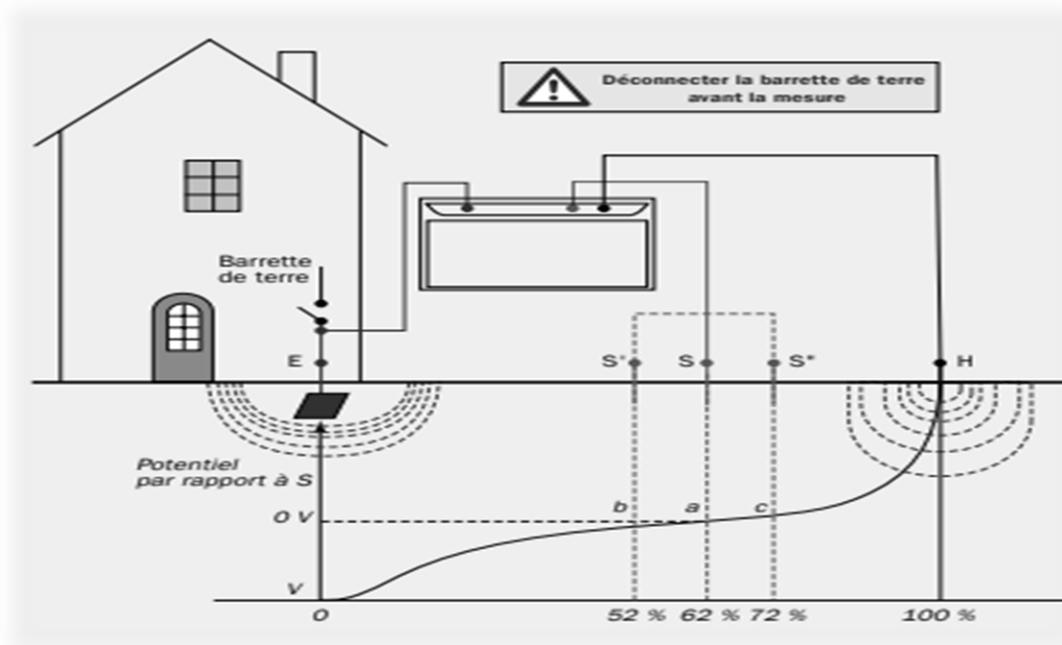
Cette méthode nécessite l'emploi de deux électrodes (ou « piquets ») auxiliaires pour permettre l'injection de courant et la référence de potentiel 0V. La position des deux électrodes auxiliaires, par rapport à la prise de terre à mesurer E(X), est déterminante.

Pour effectuer une bonne mesure, il faut que la « prise auxiliaire » de référence de potentiel (S) ne soit pas plantée dans les zones d'influences des terres E & H, 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 S à 62 % de E sur la droite EH.

Il convient ensuite de s'assurer que la mesure varie peu en déplaçant le piquet S à  $\pm 10\%$  (S' et S'') de part et d'autre de sa position initiale et ceci toujours sur la droite EH.

Si la mesure varie cela signifie que (S) se trouve dans une zone d'influence : il faut donc augmenter les distances et recommencer les mesures [13] .



**Figure II.7.** schéma principe de la méthode 62% en ligne (deux piquets).

- Résultats de mesure à différentes distances de R1 à R9 de 10 à 90 % de la distance SH :

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Pourcentage :	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	90 %
Distance :	0	10	20	30	40	50	60	70	90
Valeur en Ohms :	0	11,4	28,2	33,1	33,9	34,2	35,8	37,8	101,7

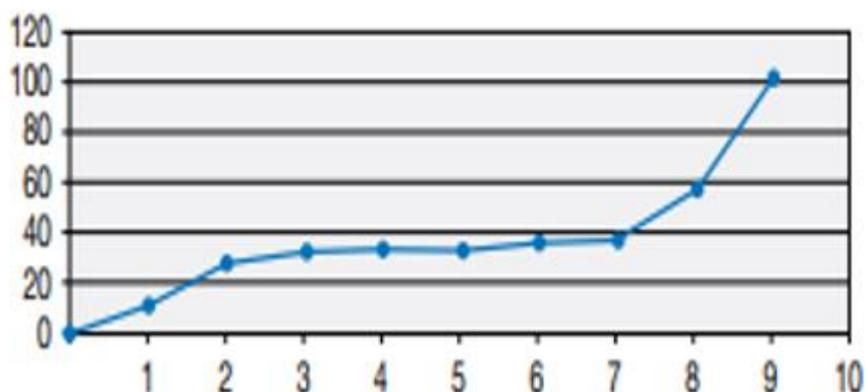


Figure II.8. Résultats de mesure à différents distance (R1 a R9) méthode 62 %.

### II.9.2. La méthode variante des 62 % (un piquet) (uniquement en Schéma TT ou IT impédant)

Cette méthode n'exige pas la déconnexion de la barrette de terre et ne nécessite l'utilisation que d'un seul piquet auxiliaire (S).

Le piquet H est ici constitué par la mise à la terre du transformateur de distribution et le piquet E par le conducteur PE accessible sur le conducteur de protection (ou la barrette de terre) [13].

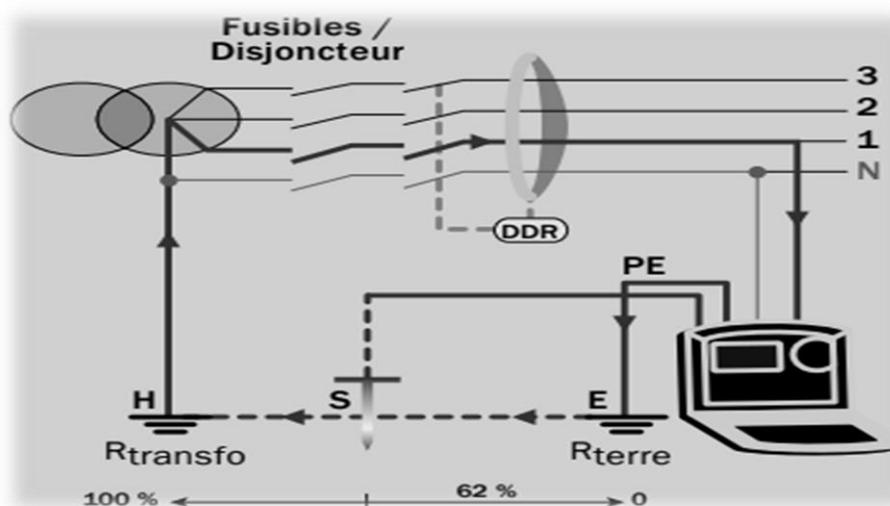


Figure II.9. Schéma principe de la méthode 62 % variante (un piquet).

➤ **Le principe de mesure reste le même que pour la méthode des 62 % :**

Le piquet S sera positionné de façon à ce que la distance S-E soit égale à 62 % de la distance globale (distance entre E et H). S se situera donc normalement dans la zone neutre dite « Terre de référence 0 V ».

La tension mesurée divisée par le courant injecté donne la résistance de terre [13].

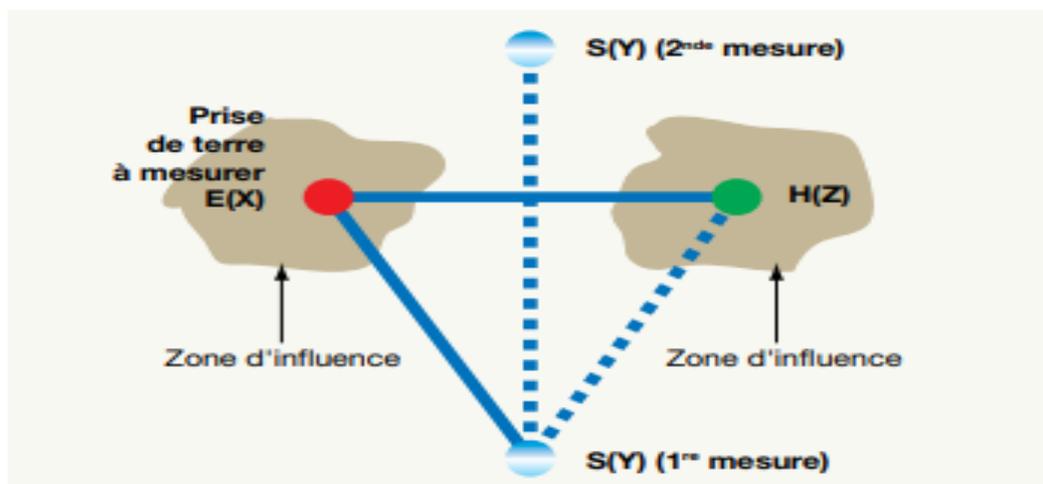
➤ **Les différences avec la méthode des 62 % sont :**

- L'alimentation de la mesure se fait à partir du réseau et non plus à partir de piles ou batteries.
- Un seul piquet auxiliaire est nécessaire (piquet S) ce qui rend plus rapide la préparation de la mesure.
- Il n'est pas nécessaire de déconnecter la barrette de terre du bâtiment.

C'est un gain de temps et cela garantit le maintien de la sécurité de l'installation pendant la mesure [9].

### II.9.3. La méthode de mesure en triangle (deux piquets)

Cette méthode nécessite également l'emploi de deux électrodes auxiliaires (ou « piquets ») et est utilisée lorsque la méthode décrite précédemment n'est pas réalisable (impossibilité d'alignement ou obstacle interdisant un éloignement suffisant de H). Elle ne doit cependant pas être considérée comme une méthode de référence car sa précision est moindre que celle obtenue par la méthode « dite des 62 % ».



**Figure II.10.** Schéma principe de méthode triangle (deux piquets).

La prise de terre E et les piquets S et H forment un triangle équilatéral (si possible).

Effectuer une première mesure en plaçant S d'un côté, puis une seconde mesure en plaçant S de l'autre côté. Si les valeurs trouvées sont très différentes, le piquet S est dans une zone d'influence. Il faut alors augmenter les distances et recommencer les mesures. Si les valeurs trouvées sont voisines, à quelques % près, la mesure peut être considérée comme correcte.

Toutefois, cette méthode fournit des résultats incertains. En effet, même lorsque les valeurs trouvées en sont voisines, les zones d'influence peuvent se chevaucher. Pour s'en assurer, recommencer les mesures en augmentant les distances [14].

#### II.9.4. Mesure de boucle Phase-PE (uniquement en Schéma TT)

La mesure de résistance de terre en ville s'avère souvent difficile par la méthode de piquets auxiliaires :

Impossibilité de planter des piquets faute de place, sols bétonnés... La mesure de boucle permet alors une mesure de terre en milieu urbain sans planter de piquet et en se raccordant tout simplement au réseau d'alimentation (prise secteur). La résistance de boucle ainsi mesurée inclut en plus de la terre à mesurer, la terre et la résistance interne du transformateur ainsi que la résistance des câbles. Toutes ces résistances, étant très faibles, la valeur mesurée est une valeur de résistance de terre par excès.

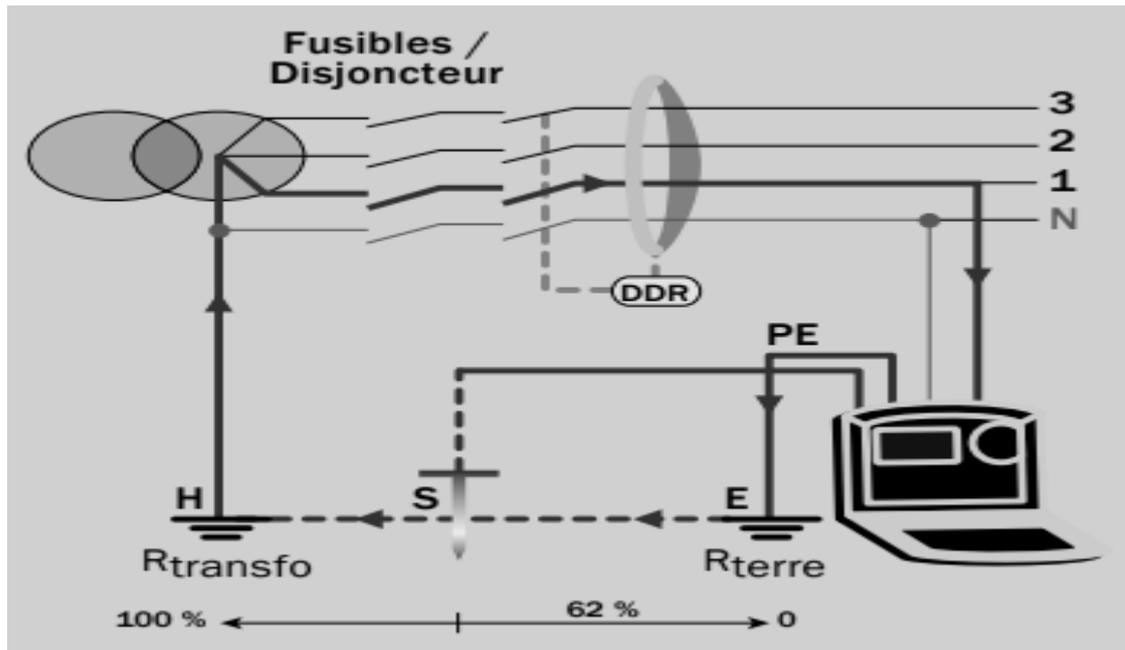


Figure II.11. Schéma principe de mesure de boucle phase-PE.

La valeur réelle de la terre est donc inférieure :  $R_{\text{mesuré}} > R_{\text{terre}}$

L'erreur de mesure (par excès) introduite par cette méthode va dans le sens d'une sécurité accrue. La norme NF C 15-100 considère que la valeur de la résistance de boucle (résistance de terre par excès) peut être prise en compte à la place de la résistance de terre, pour satisfaire aux règles concernant la protection contre le risque de contacts indirects.

#### II.9.5. La mesure de couplage de deux terres

Elle est très utilisée pour contrôler le couplage entre les réseaux moyens tension et basse tension. Elle consiste à estimer l'influence réciproque de 2 mises à la terre n'ayant normalement aucun lien physique entre elles. Un fort couplage entre deux terres peut engendrer des conséquences fâcheuses pour la sécurité des personnes et/ou du matériel.

L'écoulement d'un courant de défaut par la masse M du réseau moyenne tension (MT) peut provoquer une élévation du potentiel du sol et donc de la terre du neutre du réseau basse tension (BT) et par conséquent mettre en danger la vie des personnes et des matériels utilisant le réseau BT [14].

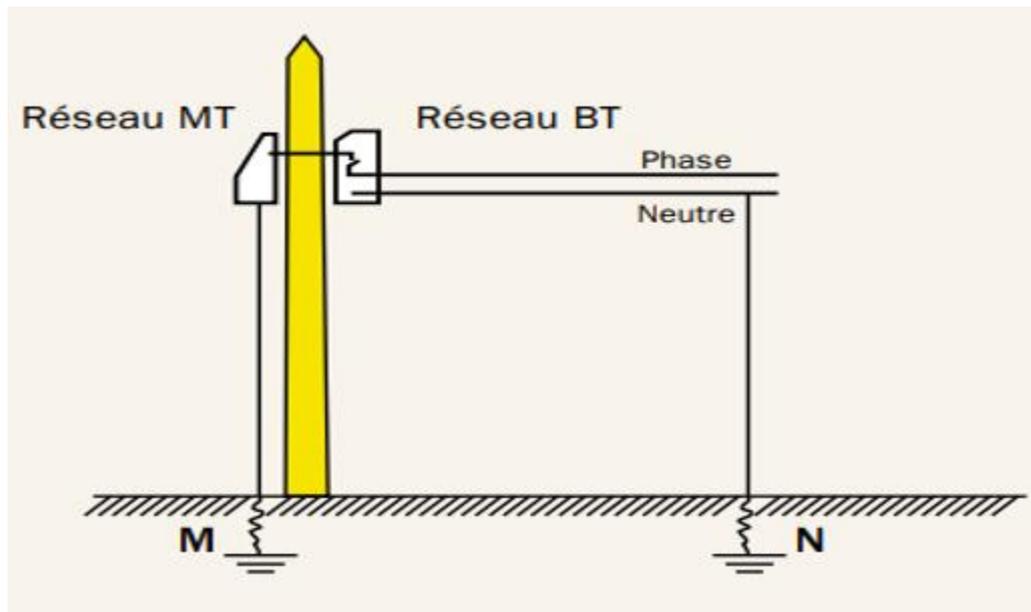


Figure II.12. Mesure de couplage de terre.

Lors d'un coup de foudre sur le transformateur MT/BT, l'élévation de potentiel instantané peut être de plusieurs kV. La méthode à employer est celle de la mesure en ligne dite «des 62 %». La disposition des piquets auxiliaires H (retour de courant) et S (référence de potentiel) doit être choisie de manière à assurer :

- un découplage suffisant avec la prise de terre à mesurer, à condition de respecter les distances indiquées sur le schéma ci-dessous.
- la validité de la référence de potentiel du sol [14].

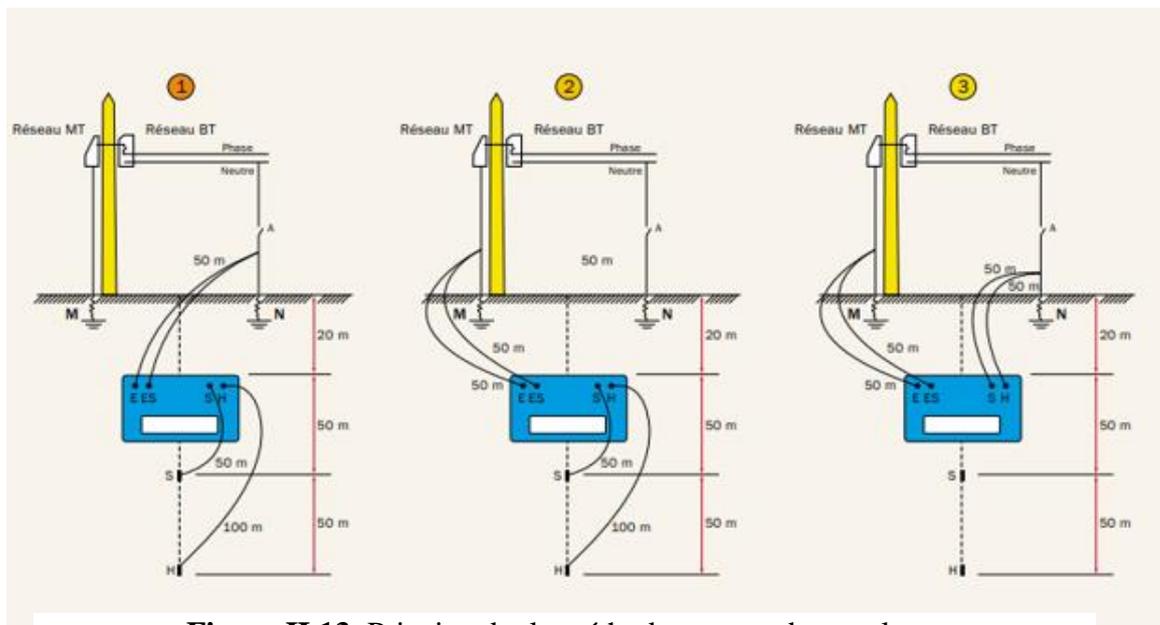


Figure II.13. Principe de la méthode mesure de couplage.

La mesure de couplage s'effectue de la manière suivante :

**1. Déconnecter le Neutre du réseau BT (ouvrir A) :**

- Relier E et ES à N (Terre du Neutre BT) à l'aide de deux câbles de 50 m.
- Relier S au 1<sup>er</sup> piquet à l'aide d'un câble de 50 m.
- Relier H au 2<sup>ème</sup> piquet à l'aide d'un câble de 100m.
- Placer le mesureur entre M et N à 20 m de leur axe.
- Effectuer la mesure de résistance de la prise de terre du neutre :  $R_{\text{neutre}}$  (L'ouverture du point A est nécessaire pour permettre la mesure de couplage de la 1re prise de terre du neutre).

**2. Idem mais avec E et ES reliés à M (terre des masses du réseau MT):**

- Le neutre du BT est toujours déconnecté.
- Effectuer la mesure de résistance de la prise de terre des masses :  $R_{\text{masses}}$

**3. Relier E et ES à M (Terre des masses MT) à l'aide de deux câbles de 50 m, ainsi Relier S et H à N (Terre du Neutre BT) à l'aide des deux câbles de 50 m:**

- Effectuer la mesure de  $R_{\text{masseS/Neutre}}$ .

**4. Calculer le couplage:**

- $R_{\text{couplage}} = [R_{\text{masses}} + R_{\text{neutre}} - R_{\text{masseS/Neutre}}] / 2$  II.1

**5. Calculer le coefficient de couplage:**

- $K = R_{\text{couplage}} / R_{\text{masses}}$  II.2  
Ce coefficient doit être  $< 0,15$   
Ne pas oublier de reconnecter A.

## II.10. Les mesures de terre sur des réseaux possédant de multiples mises à la terre en parallèle

Certaines installations électriques disposent de multiples mises à la terre en parallèle, en particulier dans certains pays du monde où la terre est «distribuée» chez chaque usager par le fournisseur d'énergie. De plus, dans les établissements équipés de matériels électroniques sensibles un maillage des conducteurs de terre reliés à des terres multiples permet d'obtenir un plan de masse sans défaut d'équipotentialité. Pour ce genre de réseau, il est possible d'optimiser la sécurité et la rapidité des contrôles grâce aux mesures de terre sélective.

Toutes les mesures de terre vues précédemment permettent de réaliser la mesure sur prise de terre unique. Par conséquent, si la prise de terre est composée de plusieurs terres parallèles, il sera impossible d'isoler et de mesurer chaque terre et seule la résistance équivalente à la mise en parallèle de toutes les terres sera mesurée. La seule solution serait de déconnecter chaque mise à la terre pour isoler la terre à mesurer mais ce procédé s'avère long et fastidieux. Pour faire face à ce type d'installations fréquemment utilisées dans l'industrie, des mesures de terre avec pince(s)

ampérométrie(s) appelées mesures de terre sélectives sont utilisées. On en distingue 2 types: les mesures sélectives avec piquets et sans piquets [9].

➤ **Toutes les mesures de terre sélective apportent :**

- Un gain de temps considérable puisqu'il n'est plus nécessaire de déconnecter la résistance de terre à mesurer du reste du réseau de terre. En effet, l'utilisation de la pince permet de mesurer le courant traversant la prise de terre mesurée et ainsi de s'affranchir de l'influence des prises de terre en parallèle.
- Une garantie de la sécurité des biens et des personnes en contact avec l'installation électrique puisque la terre n'est pas déconnectée [9].

### II.10.1. Mesure de terre 4 pôles sélectives

Lors de l'utilisation d'une méthode de mesure classique 3 pôles ou 4 pôles sur un système de mise à la terre en parallèle. Le courant de mesure injecté dans le système se divise entre les différentes terres, Il est alors impossible de connaître la quantité de courant dans une prise de terre donnée et donc sa résistance. La mesure faite dans ce cas est celle du courant total circulant dans la mise à la terre, donnant la résistance globale de terre équivalente à la mise en parallèle des résistances de chaque mise à la terre.

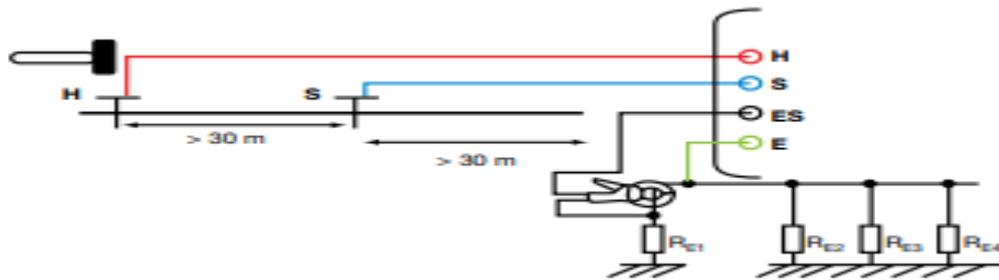


Figure II.14. Méthode de mesure de terre 4 pôles sélective.

Pour parvenir à éliminer l'influence des prises de terre parallèles, il existe une mesure de terre 4 pôles sélective, variante de la mesure 4 pôles. Elle s'appuie sur le même principe auquel on ajoute une pince ampèremétrique permettant de mesurer exactement le courant circulant dans la terre à mesurer et ainsi de déterminer sa valeur exacte. Grâce à l'utilisation des piquets auxiliaires, et plus particulièrement de la référence 0 V avec le piquet S. Cette mesure permet d'obtenir une valeur précise de la résistance de terre [9].

### II.10.2. La mesure avec Pince de terre

Certaines installations électriques disposent de multiples mises à la terre en parallèle, en particulier dans certains pays du monde où la terre est « distribuée » chez chaque usager par le fournisseur d'énergie. Dans les établissements équipés de matériels électroniques sensibles, un maillage des conducteurs de terre reliés à des terres multiples permet d'obtenir un plan de masse sans défaut d'équipotentialité.

Pour ce genre de réseau, il est possible d'optimiser la sécurité et la rapidité des contrôles au moyen d'une pince de terre. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'isoler l'installation (par ouverture de la barrette de terre), ni de planter des piquets. Un simple enterrage du câble relié à la terre permet de connaître la valeur de la terre ainsi que la valeur des courants qui y circulent.

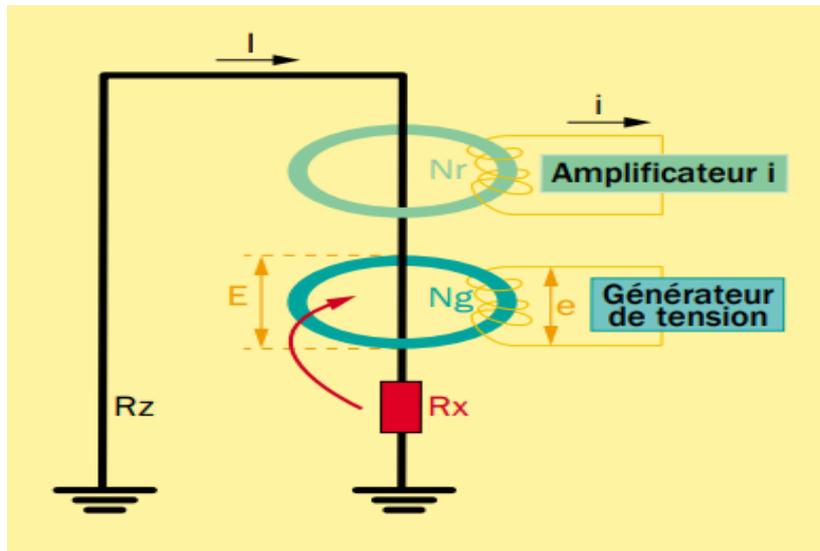


Figure II.15. Mesure par pince de terre.

La pince de terre a l'avantage de bénéficier d'une mise en œuvre simple et rapide : un simple enserrage du câble relié à la terre permet de connaître la valeur de la terre ainsi que la valeur des courants qui y circulent.

Une pince de terre est constituée de deux enroulements : un enroulement générateur et un enroulement récepteur.

- L'enroulement générateur de la pince développe une tension alternative au niveau constant  $E$  autour du conducteur enserré : un courant  $I=E/R$ .
- L'enroulement récepteur mesure ce courant.
- Connaissant  $E$  et  $I$ , on déduit la résistance de boucle.

Pour identifier correctement le courant de mesure et éviter les courants parasites, la pince de terre utilise une fréquence de mesure particulière [14]. Considérons le cas d'un réseau de terres en parallèle où on désire mesurer la résistance de terre  $R_x$  en parallèle avec  $n$  prises de terre. Celui-ci peut être représenté par le schéma simplifié suivant [15]:

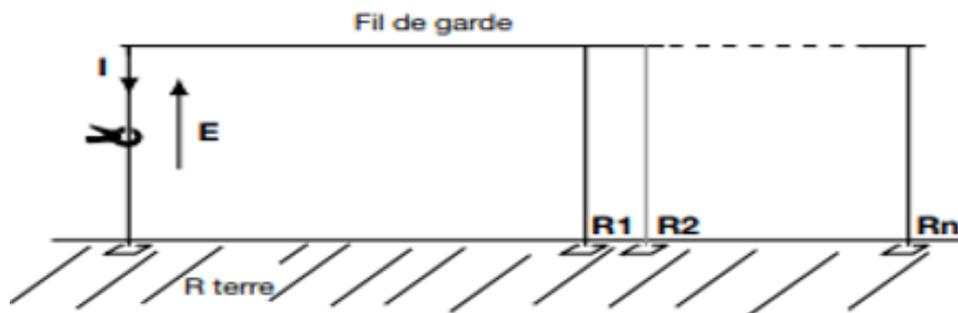


Figure II.16. Réseau de terre en parallèle.

$$R_{\text{boucle}} = E / I = R_x + R_{\text{terre}} + (R_1 // R_2 // R_3 \dots // R_n) + R_{\text{câble}} \quad \text{II.3}$$

Où :

$R_x$  : valeur recherchée.

$R_{\text{terre}}$  : valeur normalement très faible inférieure à 1 ohm.

$R_1 // R_2 \dots // R_n$  : valeur négligeable (cas de terres multiples en parallèles).

$R_{\text{fil de garde}}$  : valeur normalement très faible inférieure à 1 ohm.

Sachant que «n» résistances en parallèle équivalent à une résistance  $R_{\text{aux}}$  de valeur négligeable par approximation : mesurée est équivalente à la résistance de terre  $R_x$  à mesurer.

Pince de terre est utilisée pour les mesures de résistance de terre [13] :

- au niveau des transformateurs MT/BT.
- des bâtiments faradisés.
- des lignes de télécommunication.
- et pour la continuité des boucles « fond de fouille ».

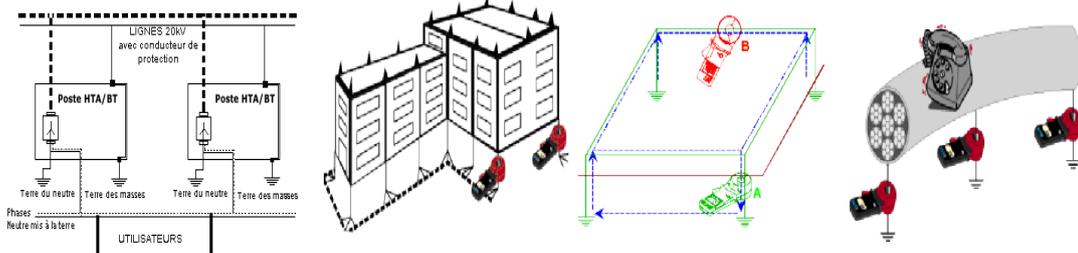


Figure II.17. Utilisation de la pince de terre.

### II.10.3. Mesure de boucle de terre à 2 pinces

Cette méthode est basée sur le même principe que celui de la pince de terre. En effet, la méthode consiste à placer 2 pinces autour du conducteur de terre testé et de les connecter chacune à l'appareil. Une pince injecte un signal connu (32 V / 1367 Hz) tandis que l'autre pince mesure le courant circulant dans la boucle.

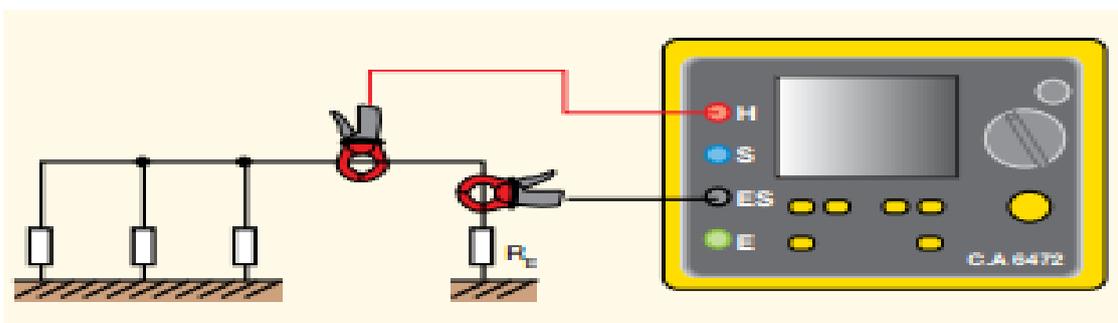


Figure II.18. Schéma de mesure boucle de terre avec 2 pinces de terre.

Au lieu d'avoir une pince unique comprenant le circuit générateur et le circuit récepteur, deux pinces sont utilisées où une sert de générateur et l'autre de récepteur.

L'intérêt d'avoir une pince par fonction est de réaliser des mesures sur des conducteurs où la pince de terre n'est parfois pas adaptée à cause de son diamètre d'enterrage ou de son épaisseur. Quand la méthode 4 pôle+pince, elle nécessite l'utilisation de piquets Auxiliaires mais permet une mesure exacte de la résistance de terre [9].

### II.10.4. Récapitulatif des différentes méthodes de mesure de terre

Tableau II.4. Différentes méthodes de mesure de terre

	Bâtiment à la campagne avec possibilités de planter des piquets	Bâtiment en milieu urbain sans possibilités de planter des piquets
<b>Prise de terre simple</b>		
Méthode 3 pôles dite méthode des 62 %	■	
Méthode en triangle (deux piquets)	■	
Méthode 4 pôles	■	
Méthode variante des 62 % (un piquet)	■	
Mesure de boucle Phase-PE	■	■ uniquement en schéma TT
<b>Réseau de terres multiples en parallèle</b>		
Méthode 4 pôles sélective	■	
Pince de terre	■	■
Mesure de boucle de terre à 2 pinces	■	■

### II.11. Fréquence de mesure et impédance

Il est important de noter que pour les mesures évoquées jusqu'ici, nous avons parlé de "résistance de boucle". Compte tenu du principe de la pince de mesure et du signal de mesure générale (2403 Hz pour les C.A 6410, C.A 6412 et C.A 6415, 1358 Hz pour la C.A 6415R), il serait plus juste de parler de mesure "d'impédance de boucle". En fait, dans la pratique les valeurs réactives en série dans la boucle (self de ligne) peuvent être négligées par rapport à la résistance de la boucle et la valeur d'impédance de boucle  $Z$  est donc équivalente à la valeur de résistance de boucle  $R$ . Cependant, sur des réseaux de grandes longueurs, la partie inductive peut devenir non négligeable. Dans ce cas, la mesure réalisée qui est une mesure d'impédance de boucle est une mesure de résistance de boucle par excès. Pour pallier cette influence de la partie inductive, les nouveaux contrôleurs de terre Chauvin-Arnoux incluant la mesure 2 pinces (modèles C.A 6471 & C.A 6472) sont équipés d'une fréquence de mesure de 128 Hz permettant de limiter l'influence de la partie inductive de la ligne mais également de s'approcher au plus près de la fréquence réseau et donc des conditions normales d'utilisation de l'installation.

**Remarque :** C.A 6471 et C.A 6472 des contrôleurs intégrant la fonction de 2 pinces.

**Attention :** les mesures de boucle de terre possèdent plusieurs «pièges» et plusieurs points sont à vérifier [9].

## II.12. Identification du circuit mesuré

Pour appliquer la mesure par boucle de terre, il est important de connaître les caractéristiques de l'installation électrique. En effet :

- dans le cas où il n'existe pas de chemin de faible impédance parallèle à la prise testée, comme par exemple dans le cas d'un pavillon qui ne possède qu'une prise de terre unique, la mesure de terre par boucle est impossible puisque le courant n'a pas de chemin pour reboucler.
- dans le cas où les valeurs mesurées sont extrêmement faibles, il faut vérifier que la pince de terre n'a pas été positionnée sur une liaison équipotentielle.

Si c'est le cas de la mesure effectuée ne correspond pas à la mesure de résistance de terre mais à la résistance de cette liaison. Cependant, cette mesure peut servir à vérifier la continuité de la boucle [9].

## II.13. Précautions particulières pour réaliser une mesure de terre

1. Afin d'éviter les zones d'influence, il est conseillé de prendre des distances les plus grandes possibles entre les piquets et la terre à mesurer.
2. Afin d'éviter des interférences électromagnétiques, il est conseillé de dérouler toute la longueur du câble de l'enrouleur, de poser les câbles sur le sol, sans faire de boucles, aussi loin que possible les uns des autres et d'éviter la proximité directe ou parallèle avec des conduits métalliques (câbles, rails, clôture, etc).
3. Afin d'obtenir une bonne précision de mesure, il est conseillé d'avoir de faibles résistances de piquets auxiliaires et d'y remédier en ajoutant des piquets en parallèle, en enfonçant davantage les piquets, et/ou en humidifiant le sol.
4. Afin d'être certain de la validité de la mesure effectuée, il est indispensable de réaliser une autre mesure en déplaçant le piquet de référence 0 V [9].

## II.14. Amélioration de la résistance d'une mise à la terre

En régions de forte résistivité des sols, les configurations habituelles de mise à la terre ne permettent pas d'obtenir des résistances et des impédances relativement faibles, selon les normes il faut alors trouver des moyens efficaces pour réduire ces résistances (impédances).

De nombreuses solutions existent mais il nous faudra choisir celles qui minimisent le coût des installations, tout en respectant les normes. Dans les paragraphes qui suivent, nous allons énumérer ces différents moyens et évaluer l'impact de l'amélioration des résistances des mises à la terre qu'ils permettent [16].

### II.14.1. Augmentation de la longueur de l'électrode de la terre

Cette figure montre que l'augmentation de la longueur de l'électrode réduit la résistance. Il est noté que cette affirmation n'existe que rarement en pratique les mesures sont donc nécessaires. En plus, l'augmentation de la longueur induit l'augmentation de l'inductance du piquet, donc de son impédance ce qui est mauvais pour les courants en hautes fréquences. La longueur effective d'une électrode de terre est sa longueur pour laquelle le coefficient impulsionnel est égal à 1 [16].

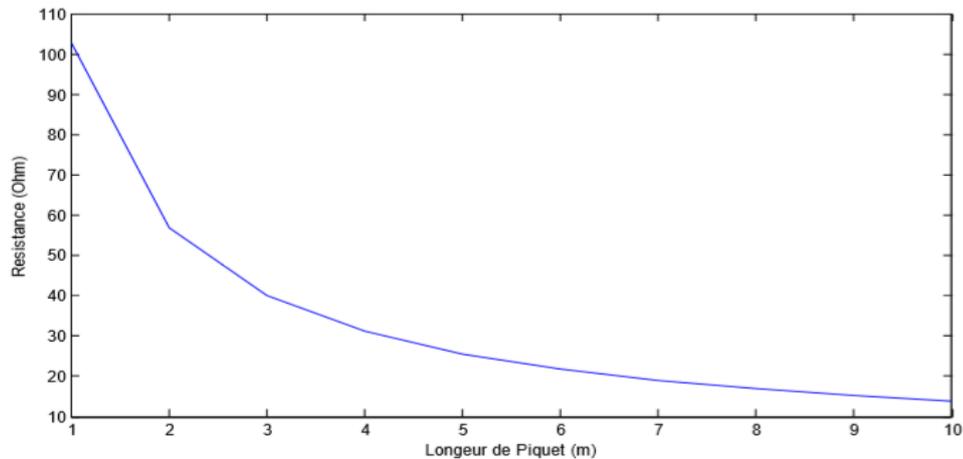


Figure II.19. Augmentation de la résistance avec la longueur de piquet (m).

### II.14.2. Utiliser plusieurs piquets en parallèles (2, 3, 4, etc...)

Ils devront être séparés entre eux plus que la longueur d'enfoncement. Le plus la distance qu'elles séparent est considérable, le mieux on obtient une réduction de la résistance [16].

### II.14.3. Traitement de terre

Un traitement chimique de la terre est une bonne méthode pour améliorer la résistance de la prise de terre, quand on n'arrive pas à enfoncer profondément le piquet du à la dureté de la terre et aux roches existantes. Les effets de la corrosion sur la prise de terre devront être pris en considération. Les substances non corrosives généralement utilisées sont : sulfate de magnésium, sulfate de cuivre et de roches de sel ordinaire [16].

## II.15. Utilité de la mesure de résistivité

La mesure de résistivité va permettre :

- de choisir l'emplacement et la forme des prises de terre et des réseaux de terre avant leur construction,
- de prévoir les caractéristiques électriques des prises de terre et réseaux de terre.
- d'optimiser les coûts de construction des prises de terre et réseaux de terre (gain de temps pour obtenir la résistance de terre souhaitée).

Elle est donc utilisée sur un terrain en construction ou pour les bâtiments tertiaires de grande envergure (ou des postes de distribution d'énergie) où il est important de choisir avec exactitude le meilleur emplacement pour les prises de terre [16].

### II.15.1. Méthodes de mesure de résistivité

La mesure de la résistivité électrique des sols est une technique non destructive et intégrante. Elle offre la possibilité de spatialiser précisément les différents horizons du sol et de localiser leur variation d'humidité, certains dessèchements préférentiels pouvant être alors attribués au fonctionnement racinaire de la vigne. Le volume de sol soumis au prélèvement des racines peut ainsi être mieux appréhendé et pour certains types de sols, cette technique permet également de quantifier l'eau disponible.

Des applications dans des études relatives aux pratiques agro-viticoles peuvent être entreprises et les premiers essais de mise en relation de la résistivité électrique du sol avec les caractéristiques physiologiques de la vigne semblent prometteurs [18].

Plusieurs procédés sont utilisés pour déterminer la résistivité des sols. Le plus utilisé est celui des « quatre électrodes » qui se décline en deux méthodes :

- Méthode de WENNER adaptée dans le cas d'une mesure souhaitée à une seule profondeur
- Méthode de SCHLUMBERGER adaptée pour réaliser des mesures à des profondeurs différentes et donc créer des profils géologiques des sols.

#### II.15.1.1. Méthode de Wenner

La procédure de mesure décrite ci-dessous utilise la méthode de Wenner, universellement acceptée et mise au point en 1915 par le Dr. Frank Wenner, membre du US Bureau of Standards. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, p. 478-496; 1915/16.)

##### ➤ Principe de mesure :

Quatre électrodes sont disposées en ligne sur le sol, équidistantes d'une longueur  $a$ . Entre les deux électrodes extrêmes (E et H), on injecte un courant de mesure  $I$  grâce à un générateur. Entre les deux électrodes centrales (S et ES).

On mesure le potentiel  $\Delta V$  grâce à un voltmètre.

L'appareil de mesure utilisé est un ohmmètre de terre classique qui permet l'injection d'un courant et la mesure de  $\Delta V$  [14].

La valeur de la résistance  $R$  lue sur l'ohmmètre permet de calculer la résistivité par la formule de calcul simplifiée suivante :

$$\rho = 2 \pi a R \quad \text{II.4}$$

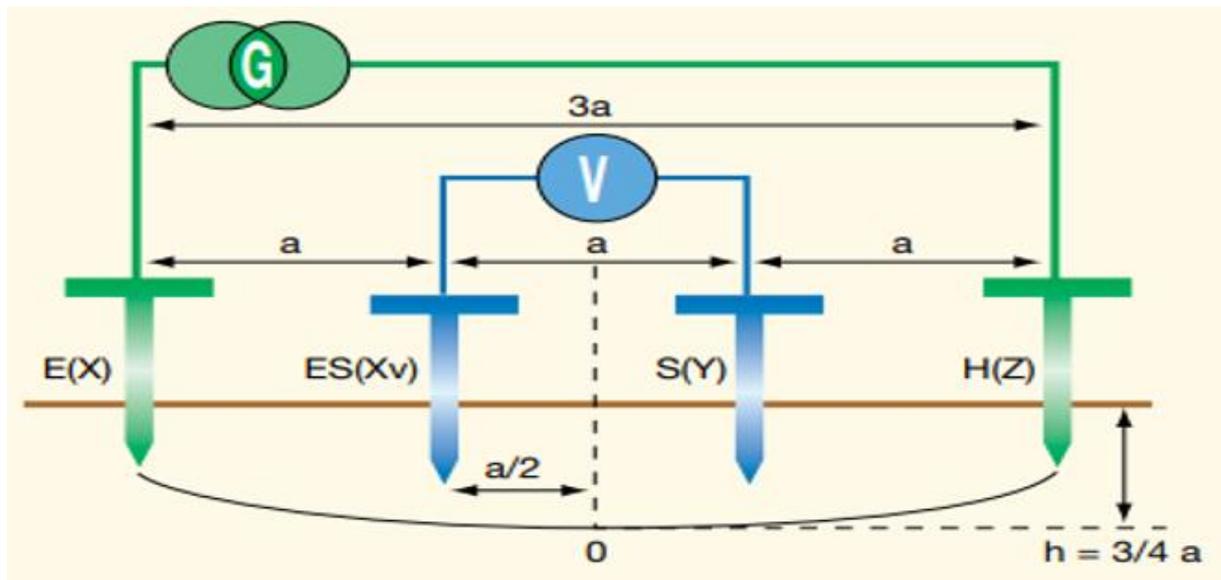
**Avec :**

$\rho$  : résistivité en  $\Omega \cdot m$  au point situé sous le point 0, à une profondeur de  $h = 3a/4$ .

$a$  : base de mesure en m.

$R$  : valeur (en  $\Omega$ ) de la résistance lue sur l'ohmmètre de terre Nous préconisons une mesure avec

$a = 4$  m minimum.



**Figure II.20.** Principe de mesure la résistivité méthode de Wenner.

**Remarque :** les termes X, Xv, Y, Z correspondent à des appellations alternatives utilisées respectivement pour les électrodes E, Es, S et H.

### II.15.1.2. Méthode de Schlumberger

#### ➤ Principe de mesure :

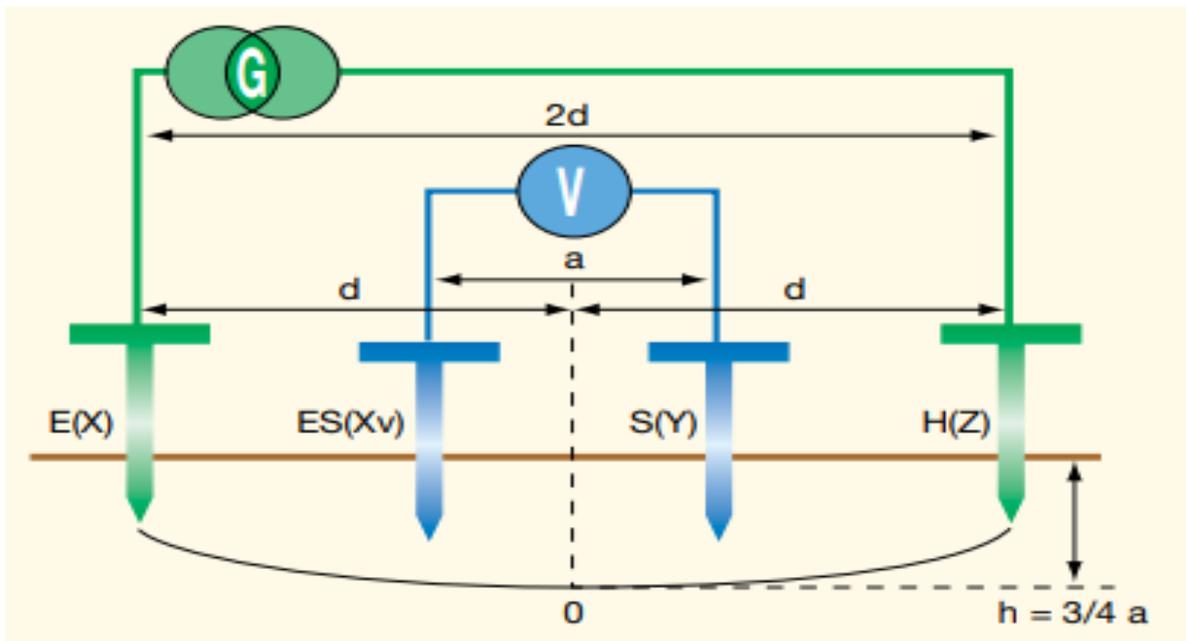
La méthode de Schlumberger est basée sur le même principe de mesure. La seule différence se situe au niveau du positionnement des électrodes :

La distance entre les 2 piquets extérieurs est  $2d$  [14].

La distance entre les 2 piquets intérieurs est  $A$  et la valeur de résistance  $R$  lue sur l'ohmmètre permet de calculer la résistivité par la formule :

$$\rho_s = \frac{(\pi \cdot (d^2 - A^2/4) \cdot RS - ES)}{A} \quad \text{II.5}$$

Cette méthode permet un gain de temps considérable sur le terrain notamment si l'on désire réaliser plusieurs mesures de résistivité et par conséquent créer un profil du terrain. En effet, seules les 2 électrodes extérieures doivent être déplacées contrairement à la méthode de Wenner nécessitant de déplacer les 4 électrodes en même temps [14].



**Figure II.21.** Principe de mesure la résistivité méthode Schlumberger.

Bien que la méthode de Schlumberger permette de gagner du temps, c'est la méthode de Wenner qui est la plus connue et la plus utilisée. Sa formule mathématique est plus simple, Cependant de nombreux appareils de mesure Chauvin Arnoux intègrent les deux formules de calcul permettant d'obtenir instantanément les valeurs de résistivité par l'une ou l'autre des deux méthodes.

## II.16. Conclusion

Cette partie rappelle que il important pour une installation d'avoir un bon système de mise à la terre. La sécurité de tout le personnel et de l'équipement est en jeu. Afin d'être sûr qu'un bon système de mise à la terre est en place, il est nécessaire de connaître les différentes méthodes pour réalise cette mise à la terre. Il faut maintenir une faible résistance à la terre éloignée de toutes les électrodes et une faible résistivité du sol local. Différentes méthodes pour mesurer la résistance et la résistivité du sol ont été présentées.

**Chapitre III :**  
Schémas de protection et  
dispositif de protection  
différentiel

### III.1. Protection des personnes et équipements

Toutes les masses des matériels protégés par un même dispositif de protection doivent être interconnectées et reliées par un conducteur de protection électrique (PE) à une même prise de terre.

### III.2. Schémas de liaison à la terre (SLT)

Ils existent trois régimes de neutre, le régime Terre-Terre (TT), Isolé-Terre (IT) et le régime Terre-Neutre (TN).

Les réseaux ou installations basse tension les plus courantes sont réalisés en fonction de l'alimentation des récepteurs soit en courant continu, soit en courant alternatif monophasé ou triphasé. Les trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres (voir chapitre I. Schémas liaison à la terre).

#### III.2.1. Neutre à la terre TT

Dans ce type de schéma, dit de "neutre à la terre", le neutre de la source est relié à une prise de terre (en général distincte de celle des masses) tandis que toutes les masses protégées par un même dispositif de coupure doivent être reliées au même système de mise à la terre.

Ce régime de neutre est le plus simple à l'étude et à l'installation. C'est le schéma actuellement utilisé pour la distribution.

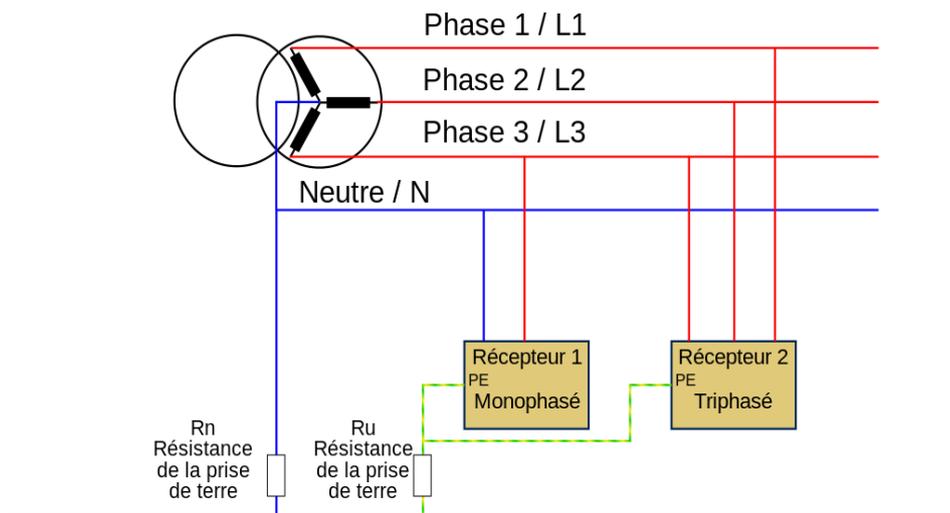


Figure III.1. Neutre à la terre TT.

- Le neutre de l'installation est directement relié à la terre.
- Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre [20].

Aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure : C'est la coupure au premier défaut. Dans les schémas TT, on assurera la protection à l'aide d'un dispositif à courant différentiel résiduel (DDR). Dans ce cas, le courant « $I_d$ » sera égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur. La sensibilité du disjoncteur ou interrupteur différentiel résiduel est indiquée par le symbole  $I\Delta n$  [21].

La condition de protection doit satisfaire à la relation :

$$R_u \times I \leq U_L \quad \text{III.1}$$

Avec :

$I$  : courant de fonctionnement du dispositif de protection en ampères (A).

$R_u$  : résistance de la prise de terre des masses.

$U_L$  : tension de contact, égale à  $U_L$  ; La tension limite  $U_{Lsec}$  est de 50 V,  $U_{Lhumide}$  est de 25 V et  $U_{Lmouillée}$  est de 12 V [21].

### III.2.2. Schéma TN

Il existe deux types :

- **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.

A noter que : le TN - S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section 10 mm<sup>2</sup> en cuivre.

Pour le régime de neutre TN la création d'un défaut d'isolement au niveau d'un récepteur peut être assimilée à une liaison entre une phase et le neutre (court-circuit).

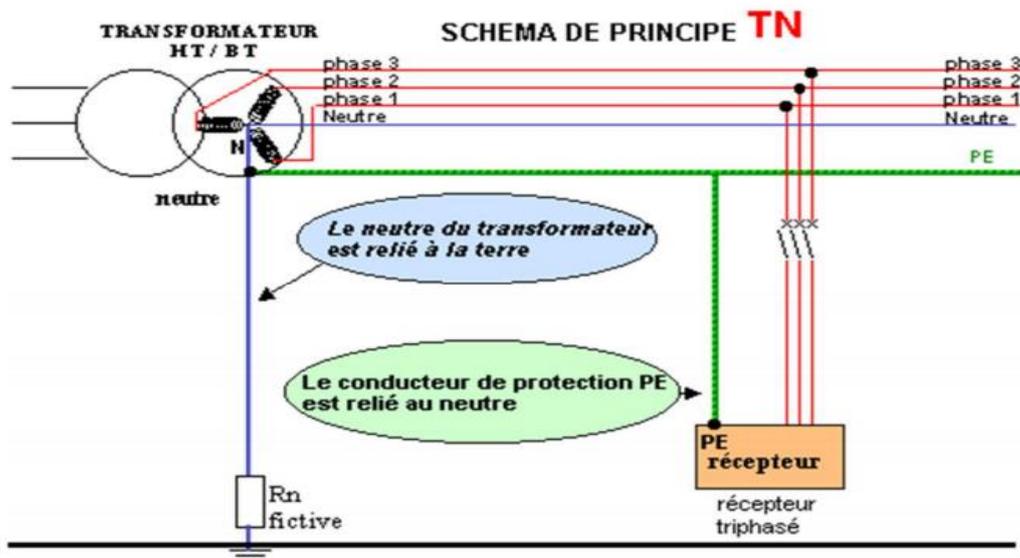


Figure III.2. Schéma liaison a la terre TN.

Il existe comme énoncé précédemment deux schémas d'installation possibles : les schémas TNC et TNS.

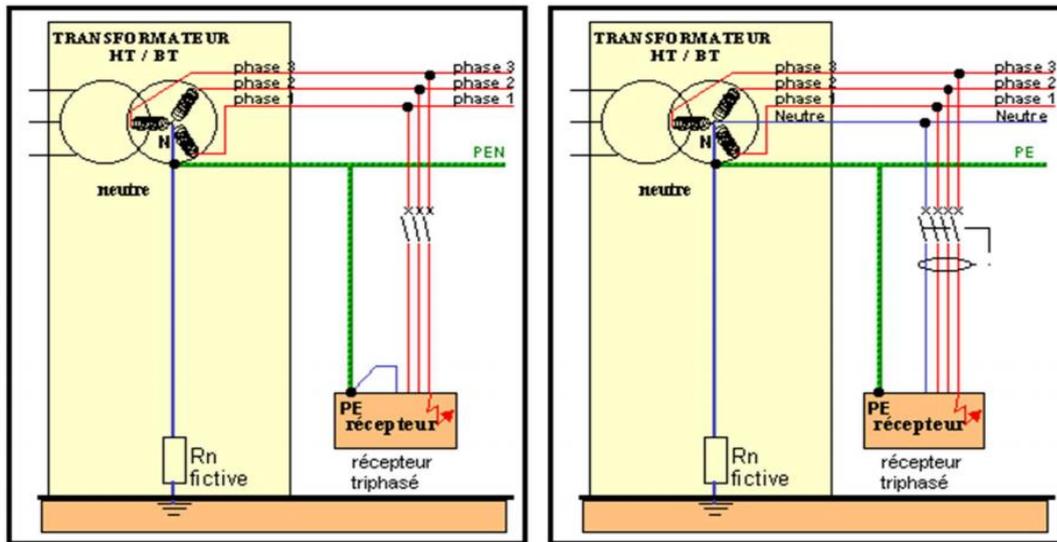


Figure III.3. Schémas liaison à la terre TN-C et TN-S.

On peut à priori se demander pourquoi il existe deux types de configurations pour le schéma TN. En effet, en regardant la figure ci-dessus on constate aisément que le schéma TNC utilise moins de câbles et s'avère donc être moins coûteux. Cependant, en regardant plus attentivement on remarque également que ce même schéma ne permet pas l'utilisation d'un dispositif différentiel.

La raison en est simple si on n'inclut pas le conducteur PEN (qui peut être parcouru par un courant) dans le DDR. IL considérera ce courant comme un courant de défaut alors même qu'il n'y a pas de défaut. A l'inverse, si on inclut le conducteur PEN dans le DDR il ne déclenchera jamais et ce même en présence de défaut. Par conséquent, l'utilisation d'un schéma TNC nécessite l'emploi de simples disjoncteurs ou de fusibles [22].

### III.2.3. Neutre isolé (IT)

Le régime IT permet d'assurer une protection des personnes sans coupure dès qu'apparaît un défaut. Il est mis en œuvre dans les installations comportant un poste de transformation privé.

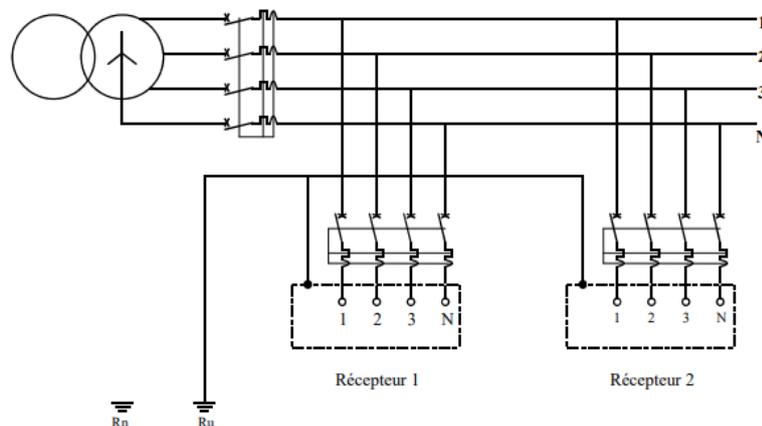


Figure III.4. Schéma IT : Neutre isolé.

Dans ce schéma aucune liaison électrique n'est réalisée intentionnellement entre le point neutre du transformateur et la terre.

### III.2.4. Schéma avec neutre impédant:

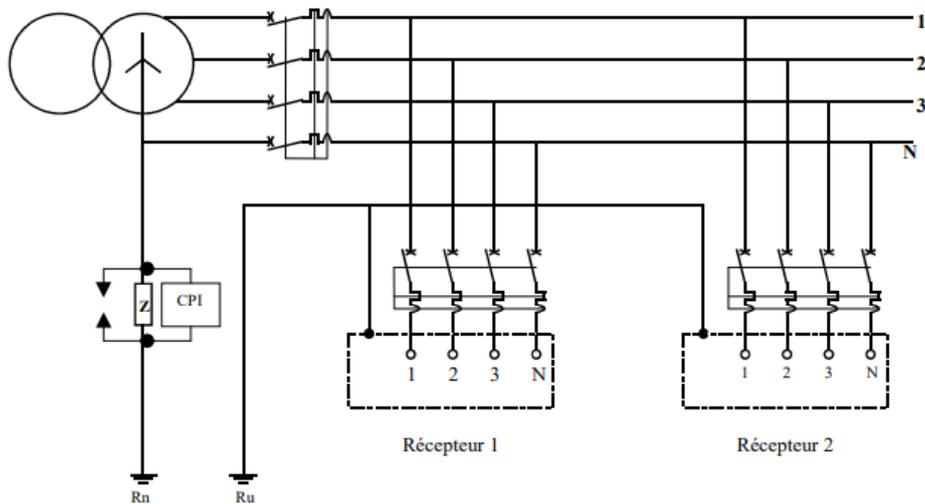


Figure III.5. Schéma IT : Neutre impédant.

Une impédance  $Z$  de l'ordre de  $1000$  à  $2500 \Omega$  est insérée entre le point neutre du transformateur et la terre. En comparaison avec les schémas TT et TN, le schéma IT est caractérisé par son neutre isolé de la terre le courant de première défaut se referme par les capacités de fuite de l'installation. L'intensité est suffisamment faible pour ne provoquer l'apparition d'aucune tension de contact dangereuse. Ainsi, le régime de neutre IT est privilégié dans contexte industriel ou médical et toutes autres applications ne pouvant pas se permettre de subir un défaut d'isolement qui gèlerait alors l'activité [24].

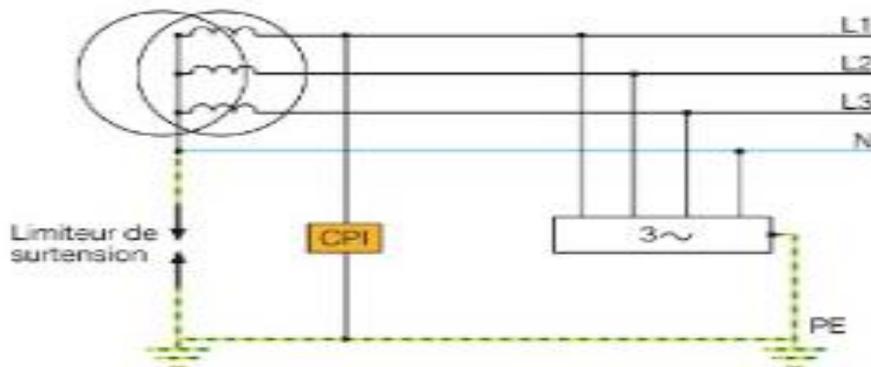


Figure III.6. Réseau est mis à la terre par l'impédance de fuite du réseau.

Pour bien fixer le potentiel d'un réseau en IT par rapport à la terre, il est conseillé, surtout s'il est court, de placer une impédance ( $Z_n \approx 1\ 500 \Omega$ ) entre le neutre du transformateur et la terre.

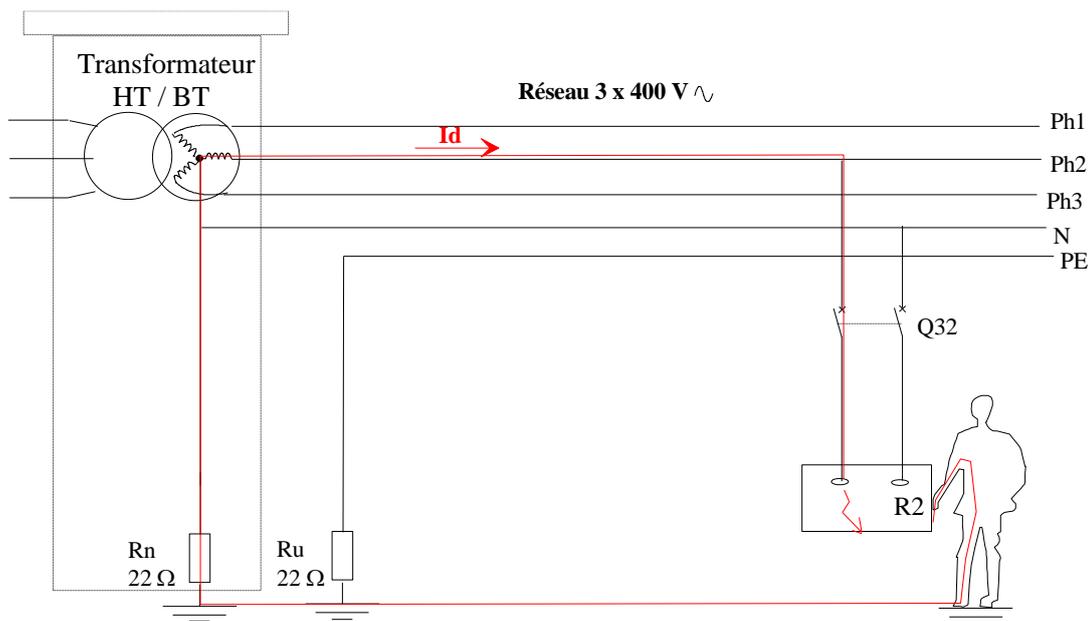
### III.3. Analyse d'un défaut d'isolement

#### III.3.1. Etude de la liaison TT

Comme la liaison TT est largement utilisée à basse tension, plusieurs cas de défauts d'isolement seront détaillés.

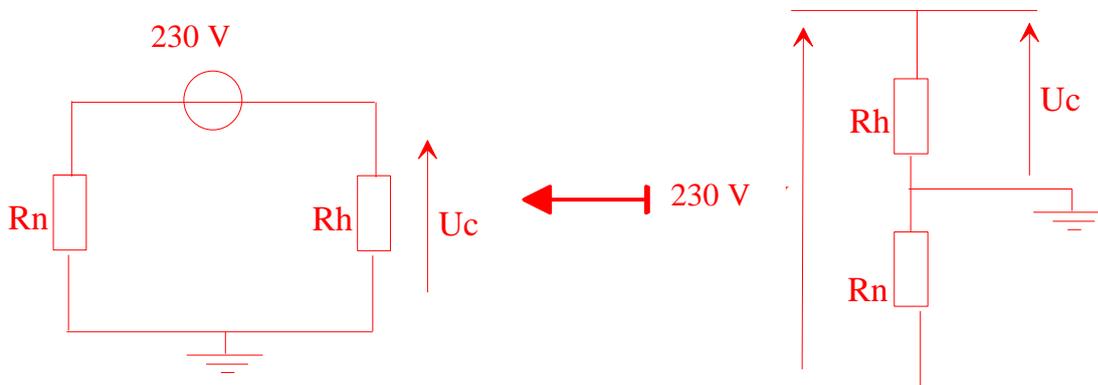
##### 1<sup>er</sup> cas :

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2, une personne touche cette masse, le parcours du courant de défaut  $I_d$  suit le tracé indiqué sur le schéma ci-dessous :



**Figure III.7.** Rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2, une personne touche cette masse.

Le schéma équivalent est représenté ci-dessous (Figure III.8). La résistance du corps humain  $R_h$  est de  $1000 \Omega$ .



**Figure III.8.** Le schéma équivalent pour la figure III.7.

➤ Calcul de la tension de contact  $U_c$  :

$$U_c = \frac{U_o.R_h}{R_n + R_h} = \frac{230.1000}{22 + 1000} = \mathbf{225V} \quad \text{III.2}$$

Comparons cette tension de contact  $U_c$  et la tension  $U_L$  ( $U_L$  : Tension limite de sécurité). La tension de contact ( $U_c$ ) est supérieure à la tension limite de sécurité ( $U_L$ ). C'est donc une tension dangereuse pour le corps humain.

$U_L = 50V$  pour un local sec,  $U_L = 25V$  pour un local humide,  $U_L = 12V$  pour un local mouillé.

➤ Calcul du courant de défaut  $I_d$  :

$$I_d = \frac{U_o}{R_h + R_n} = \frac{230}{1000 + 22} = \mathbf{0.01A} \quad \text{III.3}$$

➤ Conclusion

On a donc :  $U_c > U_L$  et  $I_d > 20mA$ , la protection de personnes n'est pas assurée par ce qu'il n'y a pas de déclenchement du dispositif de protection. Le dispositif de protection n'est pas adapté de plus le conducteur de protection PE n'est pas relié à la carcasse métallique.

2<sup>ème</sup> cas

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2, une personne touche la masse du récepteur R1 et la masse du récepteur R2.

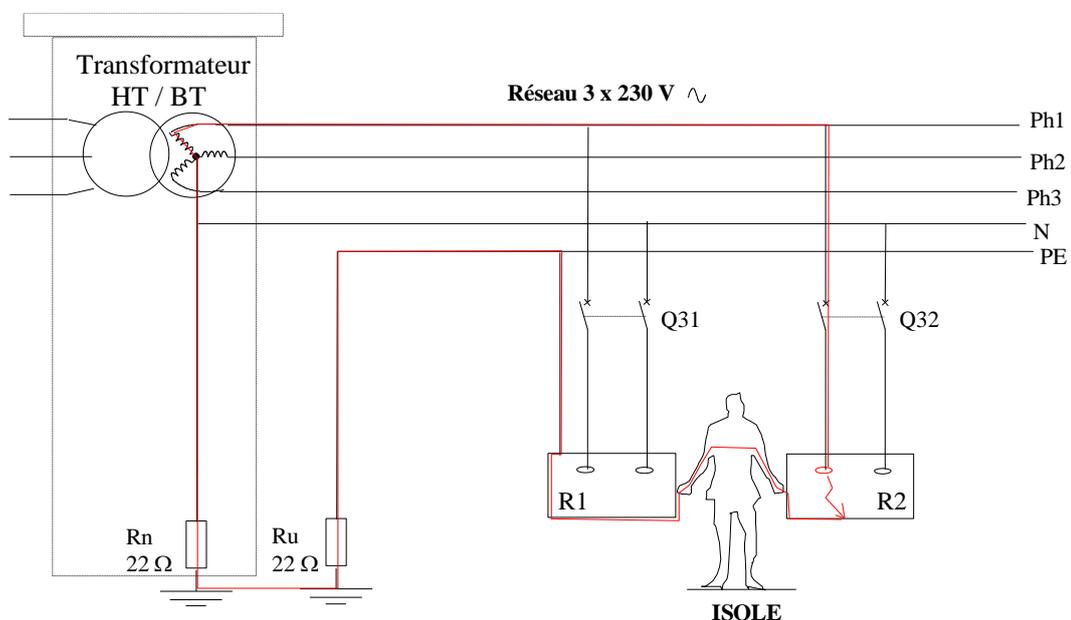


Figure III.9. Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2.

Le schéma équivalent est représenté sur la figure III.10.

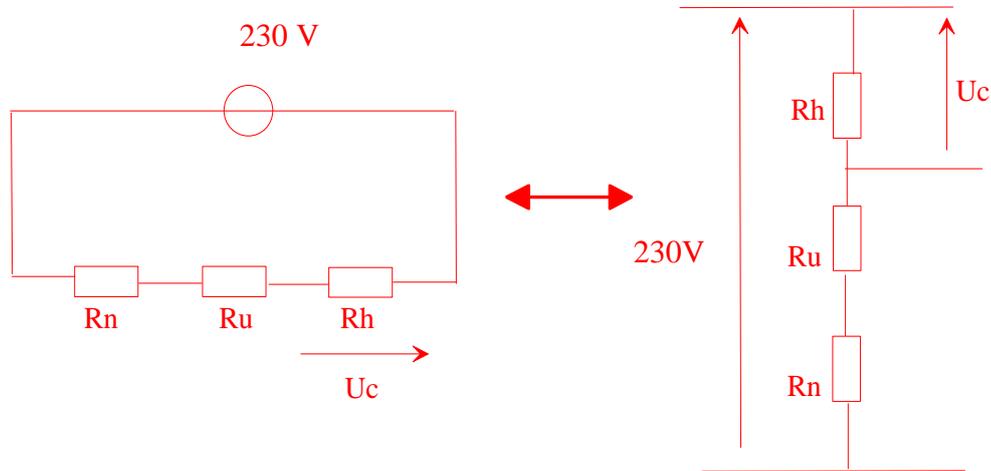


Figure III.10. Le schéma équivalent pour la figure III.9.

➤ **Calcul de la tension de contact  $U_c$  :**

$$U_c = \frac{U_o \cdot R_h}{R_h + R_u + R_n} = \frac{230 \cdot 1000}{1000 + 22 + 22} = \mathbf{220V} \quad \text{III.4}$$

La tension de contact ( $U_c$ ) est supérieure à la tension limite de sécurité ( $U_L$ ).

C'est donc une tension dangereuse pour le corps humain.

➤ **Calcul du courant de défaut  $I_d$  :**

$$I_d = \frac{U_o}{R_h + R_u + R_n} = \frac{230}{1000 + 22 + 22} = \mathbf{0.22 A} \quad \text{III.5}$$

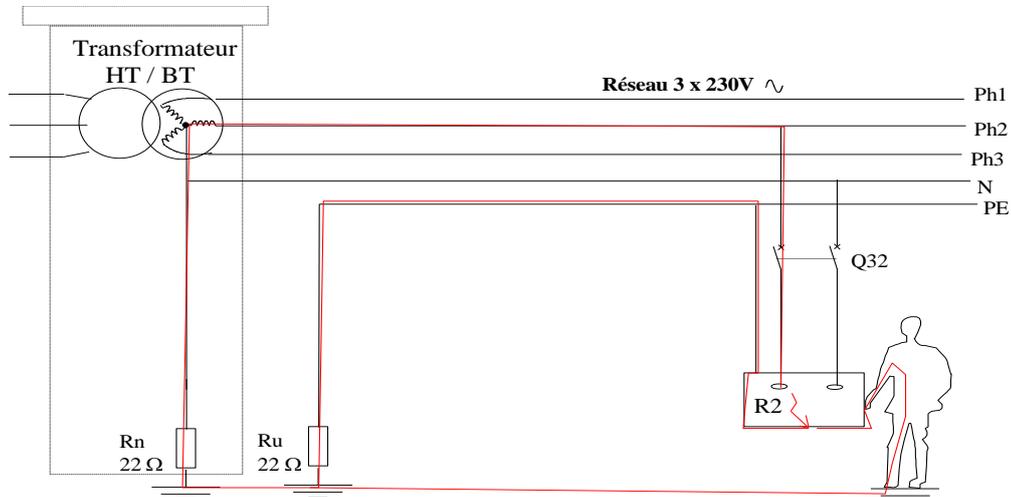
➤ **Conclusion :**

$$U_c > U_L \text{ et } I_d > 20\text{mA}$$

La protection de personnes n'est pas assurée parce il n'y a pas de déclenchement du dispositif de protection (il n'est pas adapté). Malgré que la personne soit isolée (en partie) la tension de contact est dangereuse. La personne touche les 2 carcasses métalliques R1 et R2 simultanément qui ne sont pas au même potentiel (la carcasse R1 est relié à la terre, tandis que R2 non). Il faut que le conducteur de protection (PE) soit relié à toutes les carcasses métalliques.

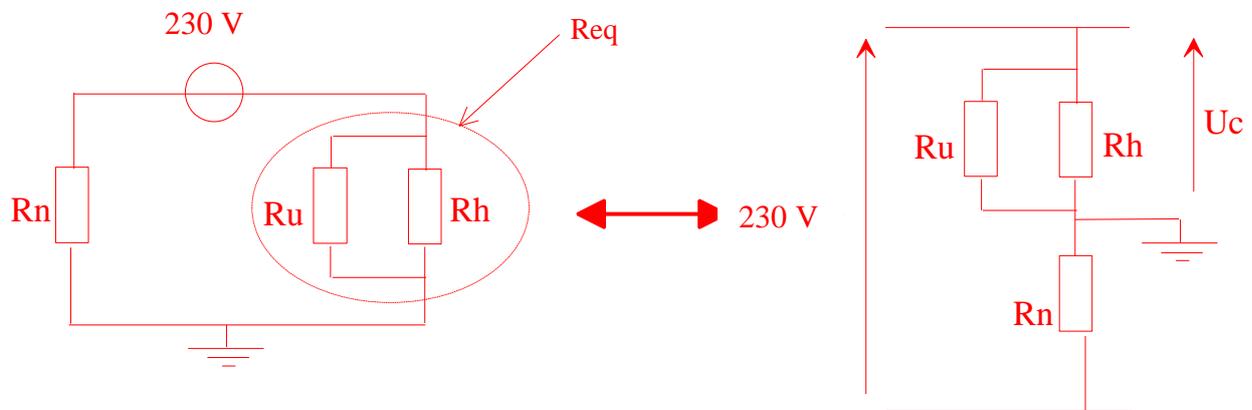
**3<sup>ème</sup> Cas**

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2.



**Figure III.11.** Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2.

Le schéma équivalent est présenté sur la figure III.12.



**Figure III.12.** Le schéma équivalent pour la figure III.11.

➤ **Détermination de la tension de contact  $U_c$ :**

$$R_{eq} = \frac{R_u \cdot R_h}{R_u + R_h} = \frac{22 \cdot 1000}{22 + 1000} = 21,5 \Omega \quad \text{III.5}$$

$$U_c = \frac{U_o \cdot R_{eq}}{R_{eq} + R_n} = \frac{230 \cdot 21,5}{21,5 + 22} = 113,67 \text{ V} \quad \text{III.6}$$

La tension de contact ( $U_c$ ) est supérieure à la tension limite de sécurité ( $U_L$ ). C'est donc une tension dangereuse pour le corps humain.

➤ **Calcul du courant de défaut  $I_d$  :**

$$I_d = \frac{U_0}{R_n + R_{eq}} = \frac{230}{22 + 21,5} = 5,28 \text{ A} \quad \text{III.7}$$

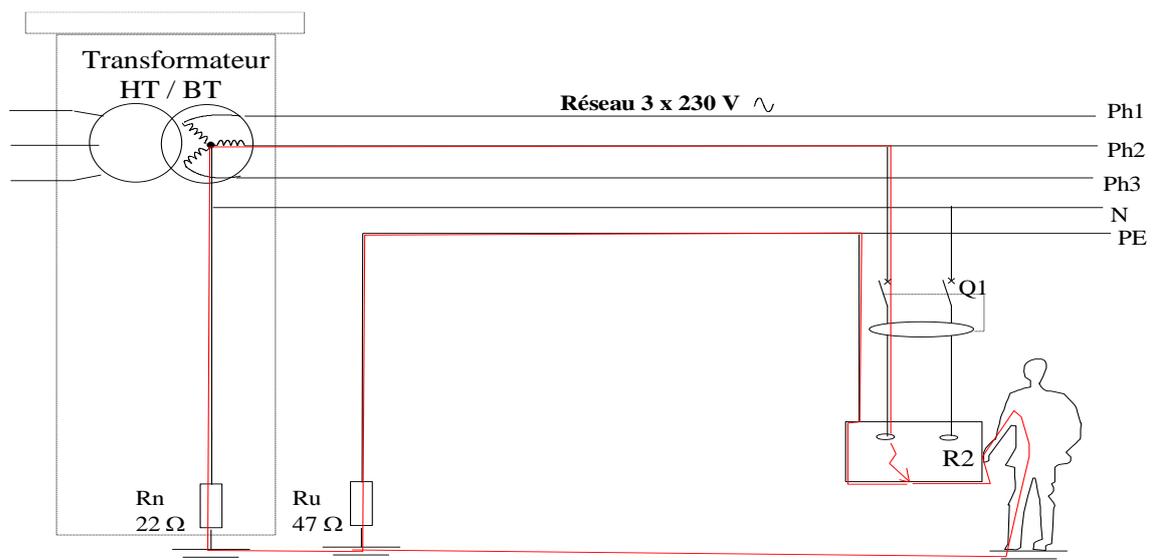
➤ **Conclusion :**

La protection des personnes n'est pas assurée malgré l'interconnexion des masses à la terre, Il n'y a pas de déclenchement du dispositif de protection. La tension de contact et le courant de défaut sont dangereux.

La liaison des masses à la terre n'est pas une condition suffisante.

**4<sup>ème</sup> Cas :**

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse.



**Figure III.13.** Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse.

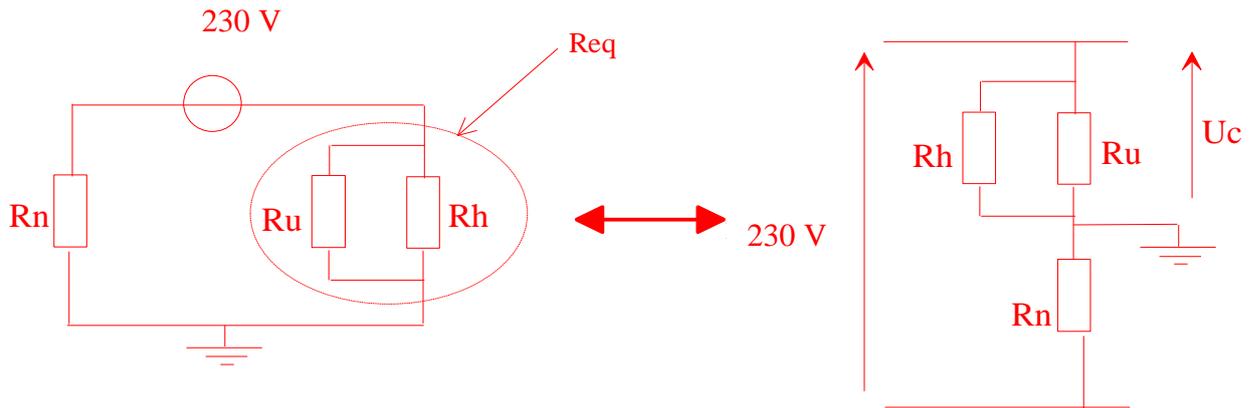


Figure III.14. Le schéma équivalent pour la figure III.13.

➤ **Tension de contact  $U_c$ :**

$$R_{eq} = \frac{R_u \cdot R_h}{R_u + R_h} = \frac{47 \cdot 1000}{47 + 1000} = 45 \Omega \quad \text{III.8}$$

$$U_c = \frac{U_0 \cdot R_{eq}}{R_{eq} + R_n} = \frac{230 \cdot 45}{45 + 22} = 220,21 \text{ V} \quad \text{III.9}$$

➤ **Courant de défaut  $I_d$ :**

$$I_d = \frac{U_0}{R_n + R_{eq}} = \frac{230}{22 + 45} = 4,9 \text{ A} \quad \text{III.10}$$

➤ **Conclusion :**

Cette tension de contact ( $U_c$ ) est supérieure à la tension limite de sécurité ( $U_L$ ). C'est donc une tension dangereuse pour le corps humain. Pour éliminer ce défaut il faut placer un dispositif différentiel à courant résiduel.

**5<sup>ème</sup> cas :**

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse.

Prenant  $U_0 = 230\text{V}$ ,  $R_n = 22\Omega$ ,  $R_u = 47 \Omega$  et  $R_h = 1000\Omega$ .

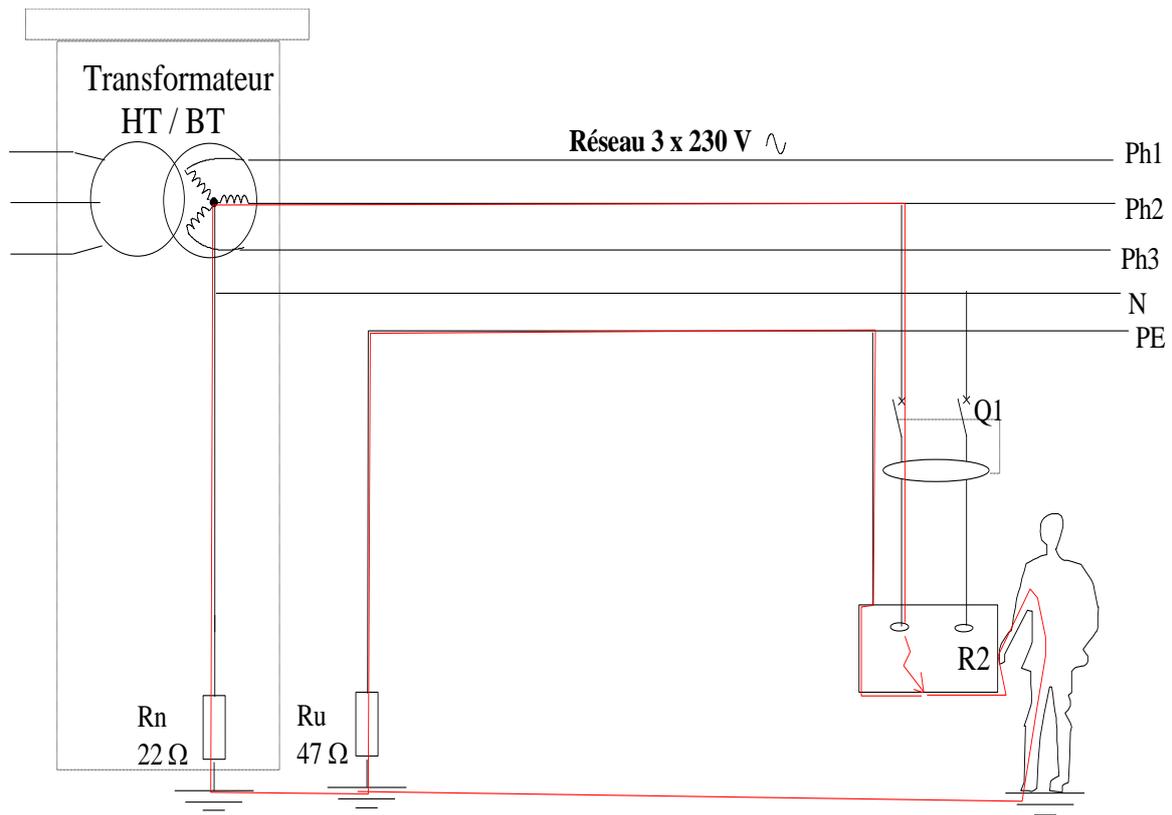


Figure III.15. Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse.

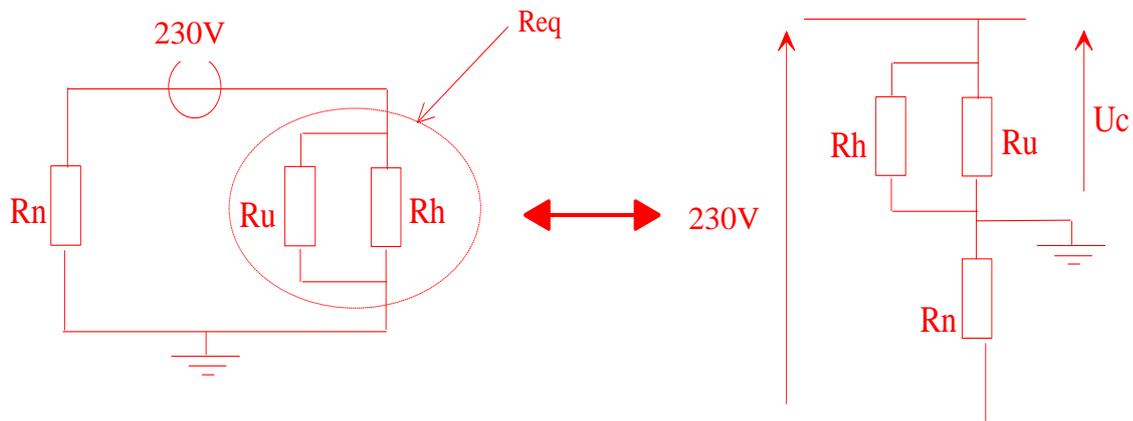


Figure III.16. Schéma équivalent pour la figure III.15.

➤ Calculer la valeur de la tension de contact  $U_c$ :

$$R_{eq} = \frac{R_u \cdot R_h}{R_u + R_h} = \frac{47 \cdot 1000}{47 + 1000} = 44,89 \Omega \quad \text{III.10}$$

$$U_c = \frac{U_0 \cdot R_{eq}}{R_{eq} + R_n} = \frac{230 \cdot 45}{45 + 22} = 154,47 \text{ V} \quad \text{III.11}$$

➤ **Calcul du courant de défaut  $I_d$ :**

$$I_d = \frac{U_0}{R_n + R_{eq}} = \frac{230}{22 + 45} = 3,43 \text{ A} \quad \text{III.12}$$

➤ **Conclusion :**

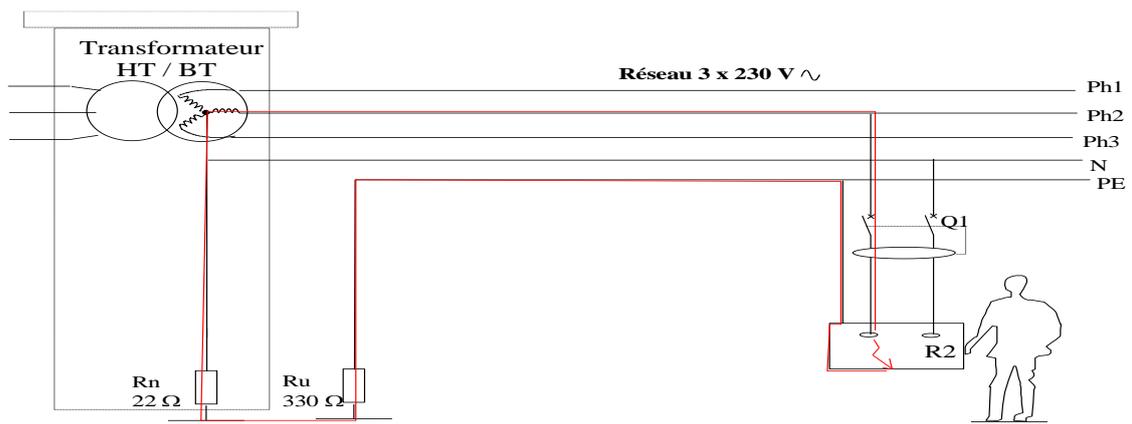
Cette tension de contact ( $U_c$ ) est supérieure à la tension limite de sécurité ( $U_L$ ). C'est donc une tension dangereuse pour le corps humain. Pour éliminer ce défaut il faut placer un dispositif différentiel à courant résiduel. Si la sensibilité  $I_{\Delta n}$  du DDR est trop importante, la protection des personnes n'est pas assurée, il n'y a pas de déclenchement du disjoncteur différentiel. Pour que la protection des personnes soit assurée, il faut que la sensibilité  $I_{\Delta n}$  du dispositif différentiel à courant résiduel soit inférieure au rapport  $U_L / R_u$ .

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_u} \quad \text{III.13}$$

$$I_{\Delta n} < \frac{25}{47} \quad \text{Donc: } I_{\Delta n} < 531 \text{ mA.}$$

**6<sup>ème</sup> cas :**

Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne touche cette masse.



**Figure III.17.** Une rupture d'isolement intervient sur la masse du récepteur R2 et une personne ne touche cette masse.

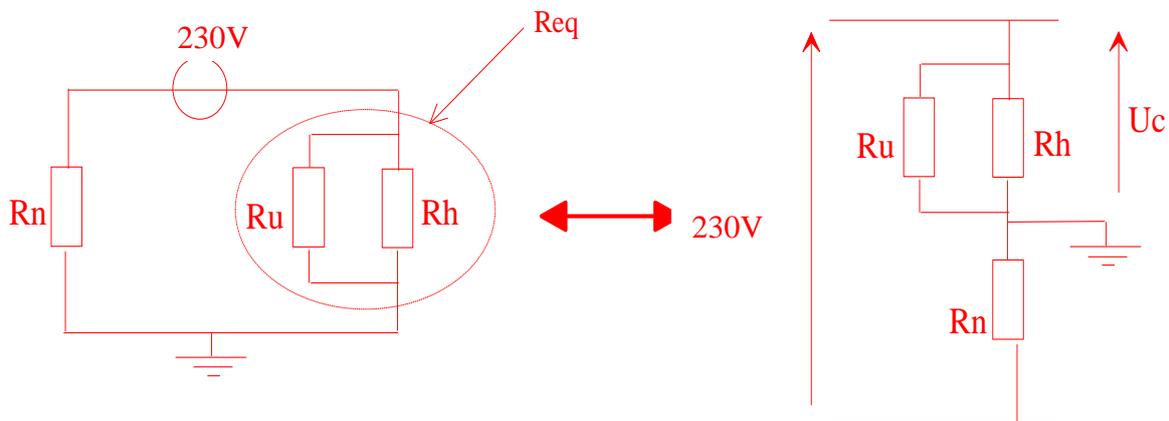


Figure III.18. Schéma équivalent pour la figure III.17.

- Calcule la valeur de la tension de contact  $U_c$ :

$$R_{eq} = \frac{R_u \cdot R_h}{R_u + R_h} = \frac{330 \cdot 1000}{330 + 1000} = 248 \Omega \quad \text{III.14}$$

$$U_c = \frac{U_o \cdot R_{eq}}{R_{eq} + R_n} = \frac{230 \cdot 248}{248 + 22} = 211,25 \text{ V} \quad \text{III.15}$$

- Calcul de la valeur du courant de défaut  $I_d$ :

$$I_d = \frac{U_o}{R_n + R_{eq}} = \frac{230}{22 + 248} = 0,85 \text{ A} \quad \text{III.16}$$

On constate que la résistance de terre  $R_u$  est trop élevée et par conséquent elle doit être changée.

Calcul de la valeur de  $R_u$  pour que la protection des personnes soit assurée ( $I_{\Delta n} = 1 \text{ A}$ ):

$$R_u \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}} \quad \text{III.17}$$

$$R_u \leq \frac{25}{1} \quad \text{Donc : } R_u \leq 25 \Omega$$

Un contrôle périodique de la résistance de la prise de terre est nécessaire.

On s'aperçoit ici que le fait de changement de valeur de la prise de terre, le DDR ne déclenche ou pas. Le seul fait de variation de la prise de terre peut entraîner une électrocution pour le corps humain. Il faut respecter la condition (III.17).

### III.3.1.1. Avantages, inconvénients, utilisations pour le schéma TT

Le schéma de liaison à la terre TT présente :

#### Les avantages :

- Idéal pour les mauvaises valeurs de prises de terre.
- Extension d'installation simple à réaliser.
- Simplification de l'installation électrique, protection en cas de défaut d'isolement par disjoncteur ou interrupteur différentiel, calcul des protections moins contraignant autorisant des modifications aisées des récepteurs.

#### Inconvénients :

- Pas de continuité de service lors d'un défaut d'isolement.
- Dispositif différentiel parfois coûteux (surtout les Hautes Sensibilités)

### III.3.2. Analyse d'un défaut d'isolement régime TN

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

#### III.3.2.1. Condition de protection

La protection est effectuée par disjoncteur ou fusible, ces protections doivent être particulièrement étudiées à cause des risques d'incendie du fait des forts courants de court-circuit. Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement [25].

- **Protection par disjoncteur :**

La comparaison des courbes de fonctionnement d'un disjoncteur et des courbes de sécurité montre qu'un disjoncteur assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant de fonctionnement du déclencheur magnétique [26].

$$I_d > I_{\text{magn}} \quad \text{III.18}$$

$I_d$ : courant de défaut

$I_{\text{magn}}$ : Courant de réglage du déclencheur magnétique.

Dans le cas d'une protection par disjoncteur, si  $I_d > I_{\text{magn}}$  le temps de coupure  $t_d$  est toujours inférieur à  $t_1$ , quels que soient  $U_C$  et la valeur de  $U_L$ .

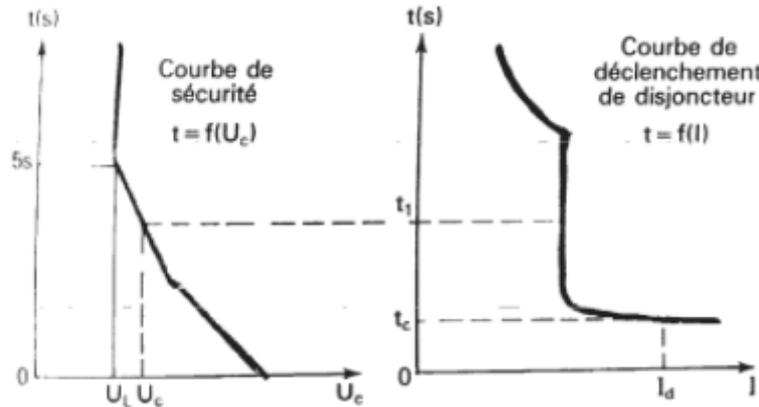


Figure III.19. Variation de courant avec le temps.

#### • Protection par fusibles

La comparaison de la courbe de fusion d'un fusible et des courbes de sécurité montre qu'un fusible assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant assurant la fusion ( $I_f$ ) du fusible dans le temps  $t_1$  prescrit par la courbe de sécurité. La protection des personnes repose essentiellement sur les conditions de fonctionnement des protections du réseau (disjoncteur, fusibles) en présence d'un défaut d'isolement, il faut impérativement prendre toutes les dispositions pour faciliter l'établissement d'un courant de défaut élevé, le conducteur PE ou PEN fait partie du même câble que les conducteurs actifs:

- Interconnecter toutes les masses et éléments conducteurs.
- Vérifier par des calculs la bonne adaptation des protections et, si possible faire des mesures de contrôle [26].

Un fusible assure la protection des personnes à deux conditions :

- Que le courant de défaut soit supérieur au courant ( $I_f$ ) assurant la fusion du fusible.
- Que le temps de fusion ( $t_f$ ) du fusible pour le courant de défaut  $I_d$  soit inférieur au temps maximal de coupure imposé par la norme [27].

### III.3.2.2. Etude d'un Calcul simplifié

Dans le schéma ci-dessous qui représente un départ basse tension la boucle de défaut A', B, C, D'est alimentée par une tension estimé à 0,8 fois la tension simple.

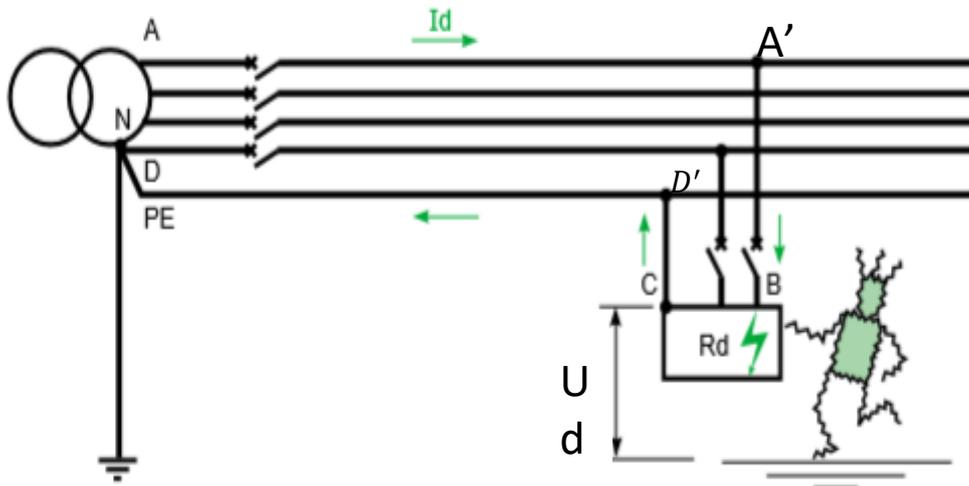


Figure III.20. Schéma d'un défaut d'isolation (TN).

La section des conducteurs est de 50 mm<sup>2</sup> et la longueur est de 40m.

$$V_{A'D'} = 0,8 \times 220 = 176 \text{ V (Réseau 220/380 V).}$$

L'impédance de cette boucle de défaut dans un calcul approché est ramenée à la valeur de la résistance des câbles  $Z_d$  = impédance de la boucle de défaut A', B, C, D'. On considère que le PEN suit le même parcours que le conducteur de phase A'B, donc  $A'B = CD'$ , soit une longueur de 40 m.

$$Z_d = 2 R_{A'B} \quad \text{III.19}$$

D'où :

$$Z_d = 2 \rho l/S = 2 * 22,5 * 40/50 = 36 \text{ m}\Omega$$

Le courant de défaut  $I_d$  est donné par la relation:

$$I_d = V_{A'D'} / Z_d \quad \text{III.20}$$

$$I_d = 176/36 * 10^{-3} = 4890 \text{ A.}$$

La tension de contact ( $U_c$ ) peut être considérée comme la moitié de la tension aux bornes de la boucle de défaut, soit:

$$U_c = V_{CD'} = V_A \quad \text{III.21}$$

$$U_c = 176/2 = 88 \text{ V}$$

Cette tension est dangereuse. Donc, en cas de défaut franc (phase masse) dans le régime de neutre TN, il faut couper immédiatement le circuit en défaut. Si la protection du circuit est assurée par un disjoncteur de calibre 160 A avec un relais magnétique qui déclenche à 7 fois l'intensité nominale.

$$I_{\text{magn}} = 7 * 160 = \mathbf{1120 \text{ A}}$$

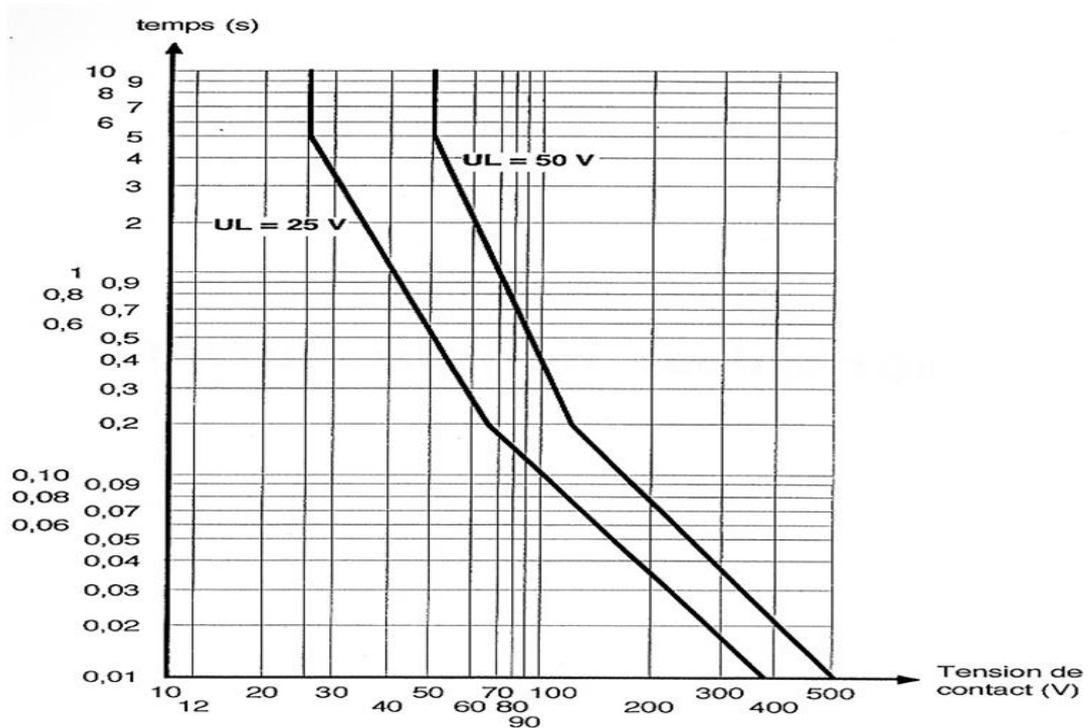
$I_d > I_{\text{magn}}$  provoque le déclenchement du disjoncteur. Il faut aussi s'assurer que le temps de déclenchement du disjoncteur est inférieur au temps maximal donné par la courbe de sécurité:

$$T_{\text{disj}} < t_{\text{sécu}}$$

Le temps de déclenchement du disjoncteur 160 A donné par le constructeur est de 0,025s soit 25 ms. Le temps donné par la courbe de sécurité pour une tension de contact de 88 V, courbe UL = 25 V (Figure III.21).

$$t_{\text{sécu}} = 0.12\text{s} \text{ soit } 120 \text{ ms}$$

$$25 \text{ ms} < 120 \text{ ms}$$



**Figure III.21.** Courbe de sécurité.

Les deux conditions (courant de défaut suffisant pour faire déclencher le disjoncteur et temps de déclenchement du disjoncteur suffisamment court) sont réalisées dans ce cas de calcul approché.

Si les conditions de déclenchement n'étaient pas assurées, il y aurait lieu:

- D'augmenter la section des conducteurs.
- De réaliser des connexions équipotentielles supplémentaires.
- D'agir sur le réglage du calibre du relais magnétique [26].

**III.3.2.3. Temps de coupure en schéma TN**

Sur le tableau ci-dessous sont présentés les temps de coupure en schéma TN (selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100) [23].

**Tableau III.1.** Temps de coupure en schéma TN.

<b>U<sub>0</sub> (volts) tension phase/neuter</b>	<b>Temps de coupure (seconde) U<sub>L</sub> = 50V</b>	<b>Temps de coupure (second) U<sub>L</sub> = 25V</b>
<b>127</b>	0.8	0.35
<b>230</b>	0.4	0.2
<b>400</b>	0.2	0.05
<b>&gt; 400</b>	0.1	0.02

**III.3.2.4. Détermination de la longueur maximale**

Pour atteindre le courant magnétique du disjoncteur de protection, il faut un courant de défaut le plus grand possible. Pour cela il faut avoir une résistance de la boucle en défaut la plus faible possible. Etant donné que la résistance dépend des conducteurs, on est amené à fixer une longueur de câble maximale pour le régime TN [23].

Cette dernière donne l'équation :

$$I_d = 0.8 \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{R_{PE} + R_{PH}}$$

D' où :

$$R_{PH} = \frac{L * \rho}{S_{PH}}$$

$$R_{PE} = \frac{L * \rho}{S_{PE}}$$

Et :

$$R_{PH} + R_{PE} = \rho * L * \left( \frac{1}{S_{PH}} + \frac{1}{S_{PE}} \right) = \rho * L * \left( \frac{S_{PH} + S_{PE}}{S_{PH} * S_{PE}} \right) = \frac{\rho * L}{S_{PH}} * \left( 1 + \frac{S_{PH}}{S_{PE}} \right)$$

On pose que :

$$m = \frac{S_{PH}}{S_{PE}}$$

D'où :

$$R_{PH} + R_{PE} = \frac{L \cdot \rho}{S_{PH}} (1+m)$$

Soit:

$$I_d = \frac{0.8 \cdot U \cdot S_{PH}}{\rho \cdot L \cdot (1+m)} \quad \text{III.22}$$

Sachant qu'il faut  $I_d \geq I_{magn}$  pour que la protection des personnes soit assurée, on déduit que :

$$I_{magn} \leq \frac{0.8 \cdot U \cdot S_{PH}}{\rho \cdot L \cdot (1+m)}$$

D'où :

$$L \leq \frac{0.8 \cdot U \cdot S_{PH}}{\rho \cdot L \cdot (1+m)}$$

Alors :

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot U \cdot S_{PH}}{\rho \cdot L \cdot (1+m)} \quad \text{III.23}$$

Avec :

$L_{max}$  : Longueur maximale de la canalisation en mètre (m).

U : Tension simple nominale en Volt (V).

$S_{PH}$  : Section des conducteurs de phase en mm<sup>2</sup>.

$\rho$  : Résistivité des conducteurs à température nominale de fonctionnement.

m: Rapport entre  $S_{ph}$  et  $S_{PE}$   $m = S_{ph} / S_{PE}$ .

$I_{magn}$ : Courant de fonctionnement de la partie magnétique du déclencheur.

Le régime de neutre TN est surtout employé dans l'industrie, par des utilisateurs qui disposent d'un ou de plusieurs postes de transformation. Ce schéma de liaison du neutre présente l'avantage de ne pas nécessiter d'appareils de protection particuliers [23].

### III.3.2.5. Avantages et inconvénients du schéma TN

#### Avantages du schéma TN :

- Economie d'un pôle d'appareillage et d'un conducteur (schéma TNC).
- Dépannage rapide.

#### Inconvénients du schéma TN :

- Coupure au premier défaut.
- Nécessite un personnel d'entretien compétent.
- Accentue les risques d'incendie du fait des forts courants de défaut [23].

### III.3.3. Analyse d'un défaut d'isolement IT

#### III.3.3.1. Comportement au premier défaut (Neutre isolé)

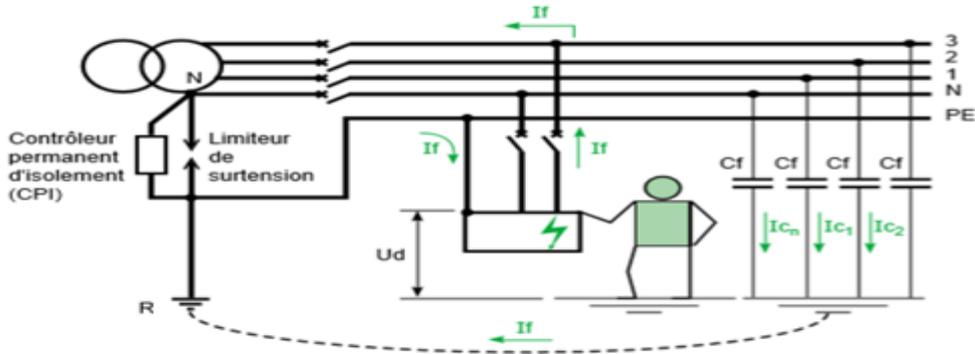
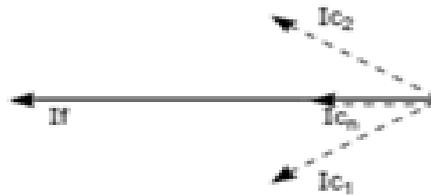


Figure III.22. Défaut d'isolement (IT).

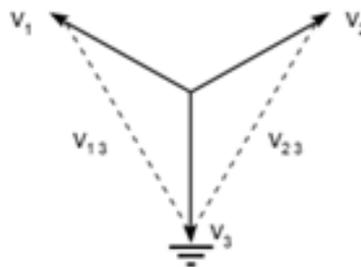
Le courant de défaut s'établit comme suit (valeur maximale en cas de défaut franc et neutre non distribué) [1].

$$I_f = I_{c1} + I_{c2}$$



Avec :

$$I_{c1} = j C_f \omega V_{13} \text{ et } I_{c2} = j C_f \omega V_{23}$$



D'où :

$$I_d = U_o 3 C_f \omega.$$

Pour 1 km de réseau 230/400 V, la tension de défaut sera égale à :

$$U_d = R_n I_d \quad \text{III.24}$$

Si:  $R_n = 10 \Omega$ .

Cette tension est non dangereuse, donc l'installation peut être maintenue en service. Si le neutre est distribué.

### III.3.3.2. Comportement au premier défaut (Neutre impédant)

- **Courant de premier défaut :**

$$I_d = \frac{U}{Z_{eq}} \quad \text{III.25}$$

Avec :

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_n} + 3jC_f\omega.$$

La tension de défaut correspondante reste faible et non dangereuse, l'installation peut être maintenue en service. Continuer l'exploitation sans danger est fort intéressant, mais il faut :

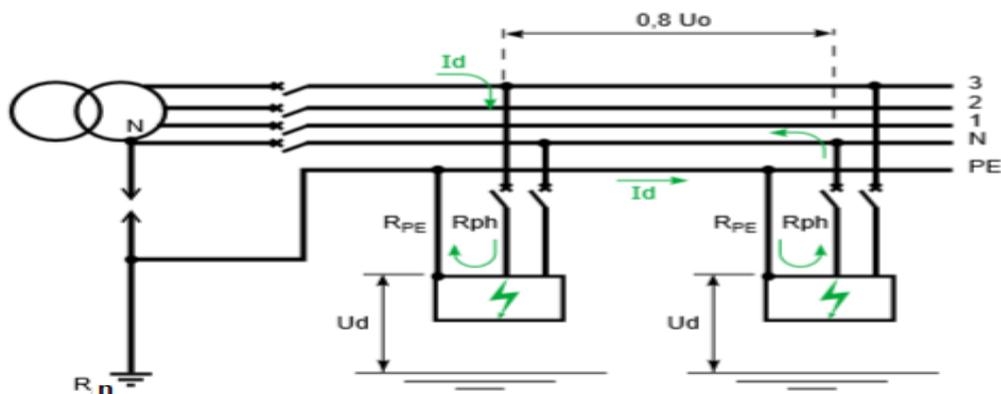
- savoir qu'il y a un défaut.
- le rechercher rapidement, et l'éliminer, ceci avant qu'un deuxième défaut ne survienne.

Pour répondre à cette attente : l'information « défaut présent » est donnée par un Contrôleur Permanent d'Isolation (CPI) qui surveille tous les conducteurs actifs, y compris le neutre (il est obligatoire selon la norme NF C 15-100).

Le défaut ne constitue pas un danger pour les utilisateurs, mais doit être recherché et éliminé.

➤ **la recherche est réalisée à l'aide de localisateurs de défaut :**

### III.3.3.3. Comportement au deuxième défaut



**Figure III.23.** Apparition du 2ème défaut.

Lorsqu'un deuxième défaut apparaît et que le premier défaut n'a pas été éliminé, trois cas sont à examiner : Le défaut concerne le même conducteur actif : rien ne se passe et l'exploitation peut continuer. Le défaut concerne deux conducteurs actifs différents : si toutes les masses sont interconnectées, le défaut double est un court-circuit (via le PE).

- **Courant de défaut :**

$$I_d = \frac{0.8U}{2Z} = \frac{0.8U_0}{2(R_{ph} + R_{PE})} \quad \text{III.26}$$

- **Ou si le neutre n'est pas distribué :**

$$I_d = \frac{0.8U}{2Z} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.8U_0}{2(R_{PH} + R_{PE})} \quad \text{III.27}$$

A noter que dans le cas où l'un des deux défauts est sur le neutre, le courant de défaut et la tension de défaut sont deux fois plus faibles qu'en schéma TN.

#### III.3.3.4. Longueur maximale des lignes d'alimentation

- **neutre distribué :**

$$L_{\max} = \frac{1}{2} \frac{0,8U_0 S_{PH}}{(1+m) \rho I_a} \quad \text{III.28}$$

- **neutre non distribué :**

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0,8U_0 S_{PH}}{(1+m) \rho I_a} \quad \text{III.29}$$

Ceci à condition que le neutre soit protégé et que sa section soit égale à la section des phases... C'est essentiellement pour cette raison que la norme NF C 15-100 déconseille de distribuer le neutre [23].

#### III.3.3.5. Principe de protection

- **Temps de coupure maximal**

Les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre. Les conditions de déclenchement sont identiques à celles du schéma TN soit :

- pour tous les circuits terminaux dont le courant nominal ne dépasse pas 32 A, le temps maximal de coupure ne devra pas dépasser la valeur indiquée dans le tableau.
- pour les circuits de distribution et les autres circuits, le temps maximal de coupure est fixé à 5 s. Cette valeur limite rend possible la sélectivité entre les dispositifs de protection [27].

**Tableau III.2.** Temps de coupure maximaux en schéma IT (selon les normes CEI 60364 et NF15-100)

U <sub>o</sub> /U (volts) 2 U <sub>o</sub> : tension phase/neutre U : tension entre phases	U <sub>L</sub> = 50 V		U <sub>L</sub> = 25 V	
	Neutre no distribué	Neutre distribué	Neutre no distribué	Neutre distribué
<b>127/220</b>	0.8	5	0.4	1.00
<b>230/400</b>	0.40	0.8	0.2	0.5
<b>400/690</b>	0.2	0.4	0.06	0.2
<b>580/1 000</b>	0.1	0.2	0.02	0.08

En effet, en cas de défaut d'isolement au niveau des groupes raccordés à deux prises de terre différentes, le comportement du schéma des liaisons à la terre par rapport au défaut d'isolement (I<sub>d</sub>, U<sub>d</sub>) est analogue à celui d'un schéma en TT (le courant de défaut passe par la terre).

La protection des personnes contre les contacts indirects est alors assurée de la même manière  $I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_u}$  [27].

- **Mise en œuvre d'un schéma IT :**
  - l'installation est isolée de la terre ou un point de l'alimentation, généralement le neutre, est mis à la terre à travers une impédance (schéma IT impédant),
  - les masses sont mises à la terre.
  - soit ensemble (interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre à la borne principale),
  - soit individuellement ou par groupes (mises à la terre à des prises de terre différentes).
- **Cela signifie que dans un schéma IT, un défaut à la terre :**
  - ne crée qu'un courant de défaut de quelques milliampères,
  - ne causera de ce fait :
  - aucune dégradation à l'installation en particulier à l'emplacement du défaut,
  - aucun risque d'incendie,
  - aucune tension de contact (en fait de quelques volts << 50 V).

Une installation en schéma IT en situation de premier défaut peut donc continuer de fonctionner normalement mais il est impératif de savoir qu'un premier défaut a eu lieu, de trouver l'emplacement de ce défaut et de l'éliminer. Un autre intérêt du schéma IT est que la réparation de l'installation peut être planifiée à une période où le besoin de fonctionnement de l'installation électrique n'est pas critique [27].

- **En pratique, l'exploitation satisfaisante d'une installation électrique en schéma IT nécessite certaines mesures spécifiques :**
  - un contrôle permanent de l'isolement de l'installation par rapport à la terre et la signalisation de toute défaillance d'isolement,
  - un dispositif de limitation de tension qui pourrait apparaître entre la terre et l'installation (généralement placé entre le point neutre de la source et la terre),

- une équipe de maintenance efficace pour effectuer avec succès la recherche du premier défaut. Cette recherche est facilitée par l'utilisation de plus en plus courante de matériels de localisation automatique,

L'apparition d'un second défaut avant que le premier défaut ne soit éliminé, entraîne obligatoirement la coupure automatique de l'alimentation. Le second défaut (par définition) est un défaut qui apparaît sur un conducteur actif, phase ou neutre, différent de celui où est apparu le premier défaut [27].

- **Le second défaut entraînera :**

- une tension de contact dangereuse
- un courant de défaut important équivalent à un courant de court-circuit ou relativement faible suivant la manière dont les masses sont mises à la terre [27].

### III.3.3.6. Utilisation du schéma IT

#### III.3.3.6.1. Au niveau matériel le schéma IT est utilisé

- Lorsque le réseau est peu étendu: < 10km
- Lorsque la continuité de service est un impératif: arrêt de production couteux ou coupure impossible (salle de chirurgie ou piste d'aéroport).
- Locaux à risque d'incendie important: limitation au premier défaut d'isolement [28].

#### III.3.3.6.2. Au niveau humain :

Le schéma IT demande un service de maintenance très qualifié pour son exploitation, de par la technologie très élaborée des matériels mis en œuvre, comme le réglage des C.P.I adressables par exemple: épreuve E2 session 2011. Ces appareils permettent de suivre par l'intermédiaire de bus communicants, l'évolution de l'isolement des différents départs des tableaux, et ainsi, d'anticiper la venue du premier défaut. Pour être judicieusement réglés, ils demandent une connaissance fine du comportement des circuits R, L, C en alternatif [28].

### III.3.3.7. Contexte

La survie du patient est intimement liée à la continuité et à la qualité de l'alimentation électrique. Le personnel médical utilise de nombreux instruments / équipements électroniques. Le problème de conception majeur est d'éviter les risques électriques tout en assurant la continuité de l'alimentation.

Les normes, que disent-elles ? Dans les locaux à usage médical le régime IT médical doit être utilisé pour les circuits qui alimentent les équipements électriques médicaux et les systèmes destinés aux applications chirurgicales et de survie, ainsi que les autres équipements situés dans l'environnement du patient [29].

- **Bénéfices :**

- Pas de coupure de courant lors du premier défaut.
- Affichage numérique permanent de la valeur d'isolement.
- Indication de défaut par contact à sûreté intégrée [29].

### III.3.3.8. Les avantages et les inconvénients du régime de neutre IT

- **Avantage**
  - Eviter les pertes de production grâce à une disponibilité accrue de l'alimentation.
  - Limiter les risques pour vos équipes même en cas de contact direct avec des pièces nues sous tension.
  - Prolonger la durée de vie des équipements en limitant les courants de défaut
  - Réduire le risque d'incendie et d'explosion lié à un échauffement ou un arc électrique provoqué par un défaut d'isolement.
- **les inconvénients**
- Nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer le défaut
- Très rapidement avant l'apparition d'un deuxième défaut qui va déclencher la protection.

Ce schéma est obligé la mise en place d'un contrôleur d'isolement signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation [29].

## III.4. Etude comparative des différents schémas de liaison à la terre

Si les trois schémas des liaisons à la terre offrent le même niveau de sécurité aux utilisateurs contre les contacts indirects, seul le schéma IT permet de continuer sans risque l'exploitation en présence d'un défaut d'isolement. C'est un avantage indéniable qui a pour contrepartie des contraintes, par exemple : la nécessité de rechercher ce premier défaut et l'éventualité de surtensions pouvant affecter le fonctionnement de récepteurs sensibles. Mais le choix du SLT pour une installation, dépend encore d'autres paramètres que la sécurité des personnes et la continuité de service :

- l'environnement (par exemple : locaux avec risques d'incendie ou sites fréquemment foudroyés).
- la compatibilité électromagnétique -CEM- (présence dans l'installation d'harmoniques et de champs rayonnants, et sensibilité des équipements à ces phénomènes).
- la technicité des concepteurs et des exploitants de l'installation ; c la qualité et le coût de la maintenance.
- l'étendue du réseau.

Si la prise en compte de tous ces paramètres garantit le choix du SLT le mieux adapté à une installation, il faut souligner que l'avantage apporté par l'IT en terme de disponibilité (2ème défaut très improbable) impose des coûts d'installation et d'exploitation qu'il convient de comparer aux coûts d'arrêt liés à un autre SLT (perte d'exploitation et dépenses de réparation dues au premier défaut d'isolement).

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 en-courus 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  $I^2 t$ ). 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 [22].

### III.5. Les protections différentielles en basse tension

L'électricité est une énergie sûre mais très dangereuse car invisible. C'est la raison pour laquelle nous devons constamment la surveiller. Les protections différentielles ou Dispositifs Différentiels Résiduels (DDR) sont aujourd'hui reconnus dans le monde entier comme le moyen le plus efficace pour assurer la protection des personnes et des biens contre les risques électriques en basse tension. Leur choix et leur utilisation optimale nécessitent une bonne connaissance des règles d'installation électrique, notamment des schémas des liaisons à la terre, des technologies existantes et de leurs performances [30].

#### III.5.1. Applications des protections différentielles

Bien que les risques soient connus depuis longtemps, les premières mesures différentielles étaient surtout une protection contre le "vol" de courant électrique par câblage entre phase et terre ! Très vite ces protections se sont imposées en distribution électrique dans le domaine de la protection des personnes et ceci quel que soit le schéma de liaison à la terre utilisée.

- **En schéma TT:**

Le DDR est l'appareil de base de la protection des personnes, son utilisation est obligatoire pour garantir la sécurité sur l'ensemble de l'installation électrique.

- **En schéma TN et IT:**

La protection par disjoncteur magnétique assure l'essentiel de la sécurité mais une protection complémentaire par DDR est nécessaire dans différents cas spécifiques :

- grande longueur de câble provoquant le risque de non.
- protection par la fonction magnétique.
- installations à masses électriques non interconnectées.
- installations à risques d'incendie ou d'explosion [31].

### III.6. Dispositif différentiel à courant résiduel (DDR)

#### III.6.1. Définition 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 PE) appelé courant résiduel.

Le DDR (Dispositif différentiel à courant Résiduel) peut être soit un disjoncteur soit un interrupteur.

L'emploi d'un disjoncteur différentiel nécessite impérativement :

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

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 [32].

- Symbole d'un DDR:

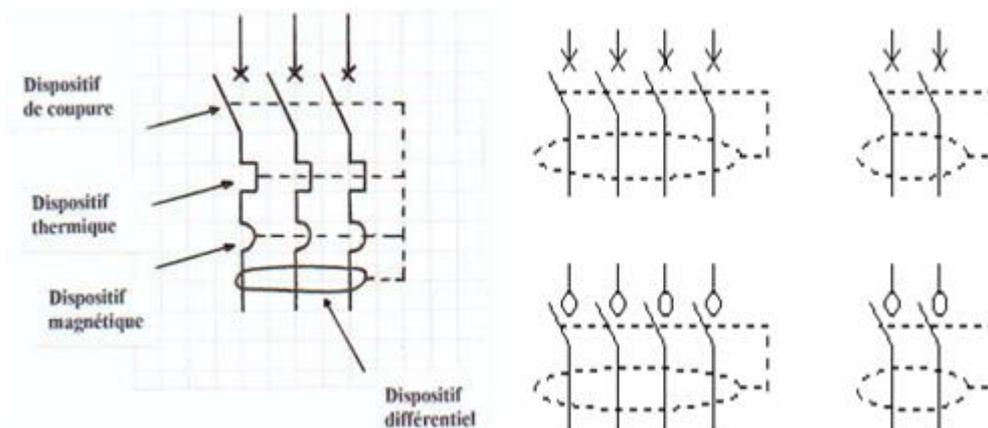


Figure III.24. Symbole d'un DDR.

### III.6.2. Principe de fonctionnement

Le Dispositif Différentiel Résiduel est un appareil de protection qui surveille le courant résiduel consécutif à la somme des courants vectoriels des conducteurs actifs.

Par définition la somme des courants de l'ensemble des conducteurs (phases + neutre + terre) est nulle dans une distribution électrique.

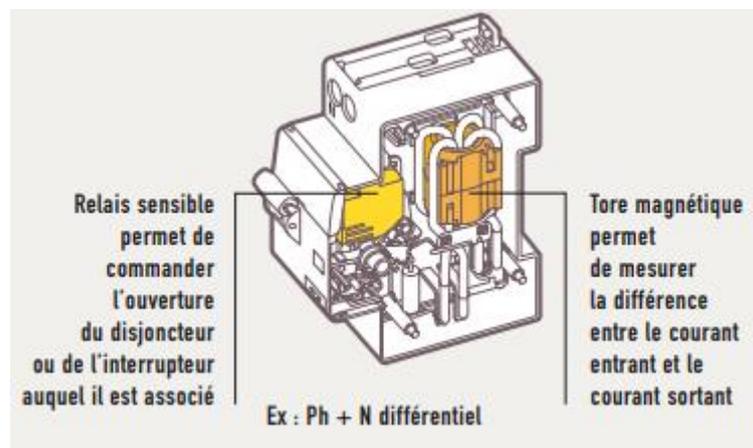


Figure III.25. Intérieur DDR.

Le différentiel mesurant la somme des courants des conducteurs actifs (phase + neutre) détermine donc indirectement la valeur du courant de fuite à la terre.

Le tore magnétique fonctionne comme un transformateur. Le primaire mesure les courants entrants et sortants du circuit à surveiller, le secondaire alimente le relais sensible

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.

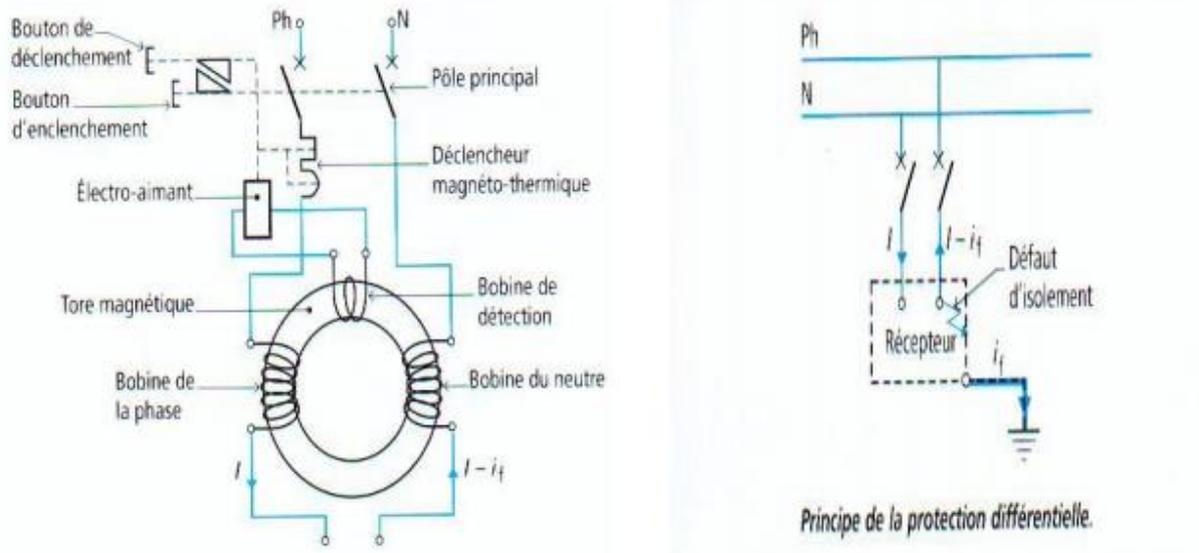


Figure III.26. Principe de fonctionnement DDR

Le principe de fonctionnement est analogue en triphasé mais comprend quatre fils (3fils + Neutre) [32].

### III.6.3. Détection d'un défaut d'isolement

- **Absence de défaut d'isolement :**

La valeur du courant entrant (phase) est égale à celle du courant entrant sortant (neutre).

En l'absence de courant différentiel aucun flux magnétique n'est créé dans le tore K1.

La bobine K2 du relais sensible n'est pas excitée.

Les contacts restent fermés, alors L'équipement fonctionne normalement [33].

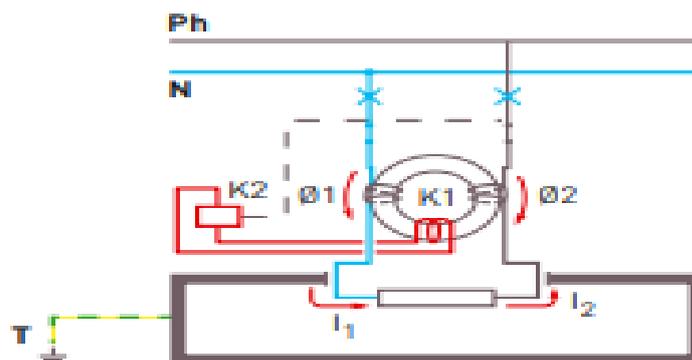


Figure III.27. Schéma principe en absence de défaut d'isolement

Le courant entrant  $I_1$  égale le courant sortant  $I_2$  ( $I_1 = I_2$ ).

Le flux magnétique créé par  $I_1$  :  $\Phi_1$  = le flux magnétique créé par  $I_2$  :  $\Phi_2$  ( $\Phi_1 = \Phi_2$ ).

Le champ résultant  $\Phi_1 - \Phi_2 = 0$ .

Il n'y a pas de courant induit dans la bobine K1.

• **En Présence du défaut d'isolement :**

La valeur du courant entrant (phase) est différente de la valeur du courant sortant (neutre). Le courant différentiel provoque un flux magnétique dans le tore K1, lequel génère un courant qui va agir sur le relais sensible K2, et faire déclencher la mécanique du dispositif différentiel. [33]

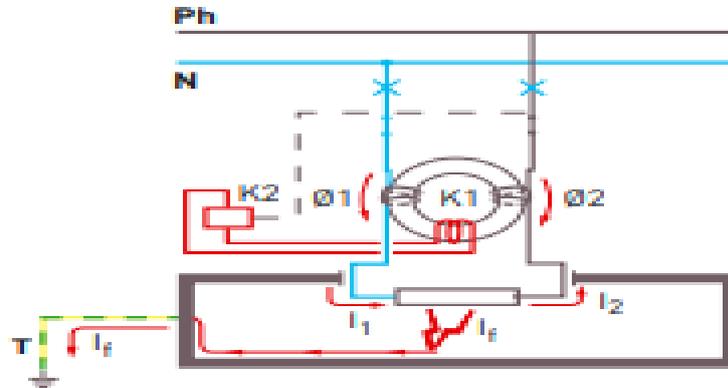


Figure III.28. Schéma principe de présence du défaut d'isolement

Apparition d'un courant de fuite  $I_f$ .

$$I_1 = I_2 + I_f \quad \text{Ou:} \quad I_1 > I_2.$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 \neq 0 \quad \text{ou:} \quad \Phi_1 > \Phi_2.$$

• **Après détection du défaut :**

La bobine K2 excitée par le courant induit de K1 provoque l'ouverture des contacts et met automatiquement l'installation hors tension [33].

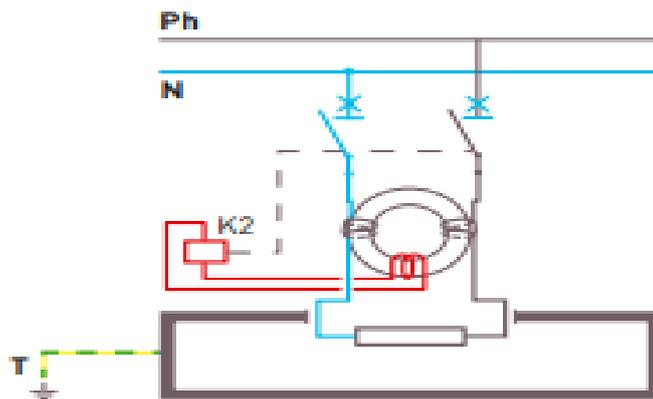


Figure III.29. Schéma principe après détection du défaut

### III.6.4. L'intérêt du DDR

On prend l'exemple d'une machine à laver protégée par un disjoncteur magnétothermique de calibre 20A.

Cette machine possède une masse électrique (carcasse métallique) susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est pas normalement sous tension.

La masse métallique de la machine doit être raccordée à la prise de terre par l'intermédiaire du fil (vert-jaune). Si cette machine à laver présente un défaut d'isolement cela signifie qu'un conducteur actif (phase ou Neutre) entre en contact avec la masse électrique de l'appareil.

Le risque survient si une personne touche la carcasse métallique de la machine à laver, son corps va être parcouru par un courant dit de fuite de terre  $I_f$ .

Le courant  $I_N$  arrivant de la phase qui entre dans le récepteur est différent de celui qui ressort par le conducteur de neutre courant  $I_N$ , en effet il y a un courant de fuite de la terre courant de fuite :

$$I_N = I - I_f \quad \text{III.30}$$

C'est la formule interactive détermination du courant de fuite à la terre.

A cause de la résistance de terre, ou si le défaut n'est pas franc, les systèmes de protection contre les surintensités disjoncteur ou fusible ne fonctionnent pas.

Il y a un risque d'électrocution par contact indirect pour la personne.

Alors la solution est d'installer un Dispositif différentiel à courant Résiduel (DDR) [32].

## III.7. Le disjoncteur différentiel et la prise de terre

Le disjoncteur différentiel est là pour compléter l'action de la prise de terre. En effet, si un courant de fuite existe, l'intensité du courant dans le fil neutre est différente de l'intensité du courant dans le fil de phase. Si le disjoncteur détecte une différence supérieure à une certaine valeur, il coupe immédiatement l'alimentation électrique.

Depuis le début des années quatre-vingt-dix, les nouvelles installations doivent satisfaire aux normes de sécurité suivantes :

- la salle de bain doit être protégée par un disjoncteur différentiel
- 30 milliampères (haute sensibilité – déclenchement en moins de 20 millisecondes) ;
- le disjoncteur principal de l'installation reste différentiel à 500 milliampères et contrôle également les surintensités (court-circuit) [34].

### L'essentiel :

Les utilisateurs d'une installation électrique sont protégés grâce à deux systèmes complémentaires : la prise de terre évacue le courant de fuite, et le disjoncteur différentiel coupe le courant lorsque ce courant de fuite devient dangereux pour l'utilisateur.

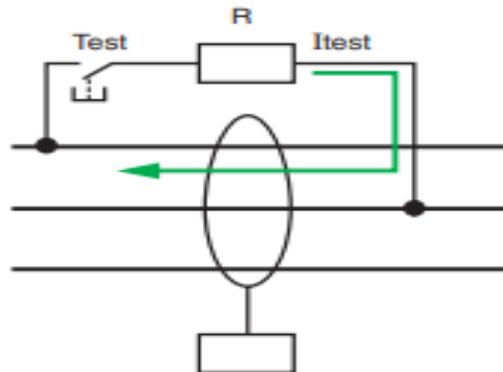
## III.8. Test du DDR

Dans les faits, la sécurité positive parfaite, notamment sur le plan du défaut interne n'existe pas. C'est pourquoi, les DDR utilisant une source auxiliaire sont réservés aux installations industrielles et grand tertiaire et les DDR à propre courant aux installations domestiques et analogues, ce qui est bien en accord avec leurs possibilités intrinsèques évoquées ci-dessus.

Dans tous les cas, le test périodique est à préconiser pour mettre en évidence un éventuel défaut interne.

- **Principe :**

Il consiste à générer un courant qui ne va circuler que dans un seul des conducteurs actifs entourés par le tore, comme illustré sur la figure suivante :



**Figure III.30.** Schéma de principe du circuit de test périodique.

La résistance est déterminée de manière à faire circuler un courant suffisant pour faire déclencher le DDR, en tenant compte d'éventuels courants de fuite qui pourraient se soustraire à ce courant. La valeur maximale admise est de 2,5 fois  $I\Delta n$  (pour un appareil à seuil réglable,  $I\Delta n$  est la plus petite valeur possible).

Ce principe de test est très répandu, car il permet de vérifier l'ensemble de la chaîne :

-tore – relais – appareil de coupure.

Le principe de test évoqué ci-dessus est utilisé sur les prises de courant différentielles, les interrupteurs et disjoncteurs différentiels.

En ce qui concerne les relais différentiels à tore séparé le même principe est parfois retenu.

(Les relais Vigirex de la marque Merlin Gerin par exemple, ont la fonction test incorporée et, de plus, contrôlent en permanence la continuité du circuit de détection (liaison tore – relais et bobinage du tore) [30].

### III.9. Les caractéristiques électriques du DDR

- **Tension d'emploi-tension nominal en volt :**

Monophasé : 230V.

Triphasé : 400V.

- **Le courant nominal –courant assigner :**

Le calibre correspond à l'intensité nominal circulant le circuit.

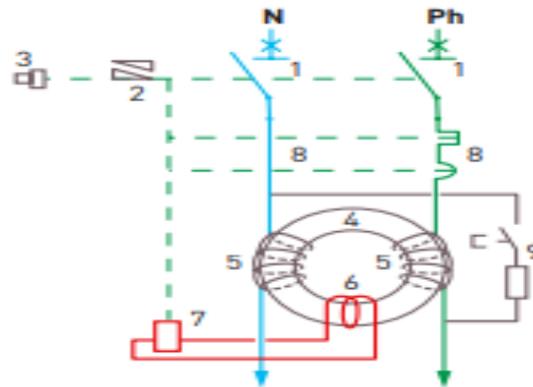
Pour un disjoncteur différentiel le courant nominal va de 2 à 63 A.

(Exemple de calibre rencontrés : 2-3-6-10-16-20-25-32-40-63 A).

• **Nombre de pôles :**

La protection différentielle repose sur la comparaison du courant entrant dans le DDR (phase) et le courant sortant du DDR (Neutre) de ce fait il ne peut être unipolaire.

• **Uni+Neutre :** 1 pole +N (1 phase et 1 Neutre) [32].

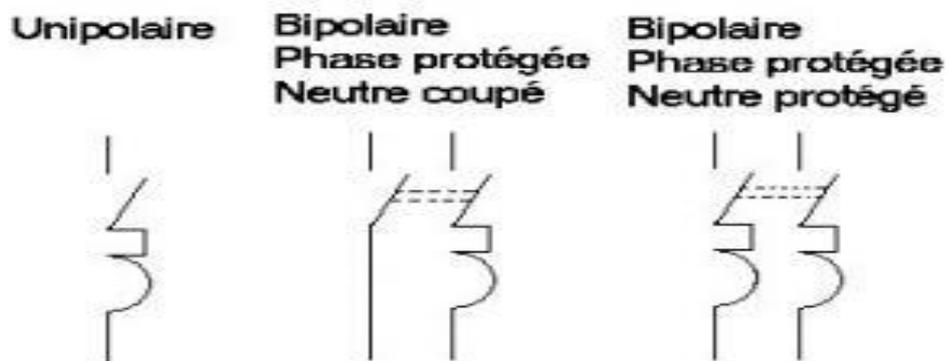


**Figure III.31.** DDR Uni+Neutre

- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Contacts de puissance.          | 6. Bobine de détection.               |
| 2. Accrochage mécanique ou serrure | 7. Relais sensible de détection       |
| 3. Élément de réarmement.          | 8. Détection thermique et magnétique. |
| 4. Tore magnétique.                | 9. Bouton et résistance de test.      |
| 5. Bobinages principaux.           |                                       |

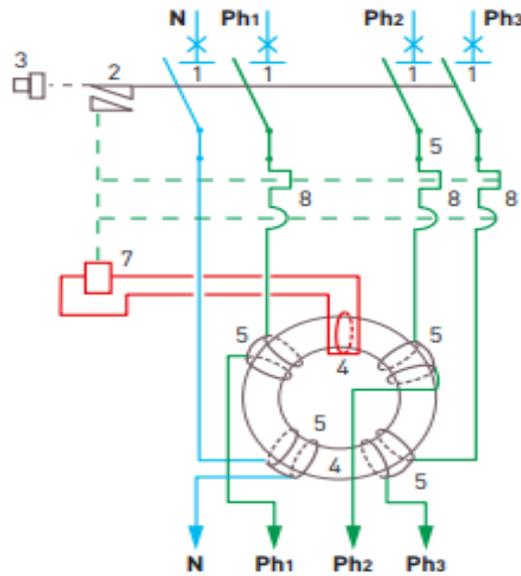
• **Bipolaire :** 2 poles (2 phases).

• **Térapolaire :** 3 pole +Neutre (3 phase et 1 Neutre).



**Figure III.32.** Schéma nombre de pôle DDR.

- **Tripolaire** : 3 pole (3 phase).



**Figure III.33.** Disjoncteur tripolaire

- **Mode de raccordement :**

Bornier raccordement à vis nécessitant l'utilisation d'un tournevis.

Bornier raccordement automatique, plus rapide à relier.

Arrivée par le haut et départ par le haut (utilisation de peignes).

Arrivée par le haut et départ le bas [32].

### III.9.1. Choix DDR

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.
- tension du réseau et nombre de phase.
- tension limite de sécurité : 12, 25 ou 50 V suivant les locaux (voir cours protection des personnes).
- valeur de la résistance de terre des masses métalliques [35].

A l'aide de ces deux dernières valeurs, on peut calculer la sensibilité du dispositif différentiel résiduel (DDR), avec la relation [35]:

$$I\Delta n = U_L / R_a \quad \text{III.31}$$

$I\Delta n$  : sensibilité du DDR en mA.

$U_L$  : tension limite de sécurité en volts.

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

### III.10. Emplacement des DDR

Toutes les masses d'utilisation sont interconnectées à une même prise de terre RA :

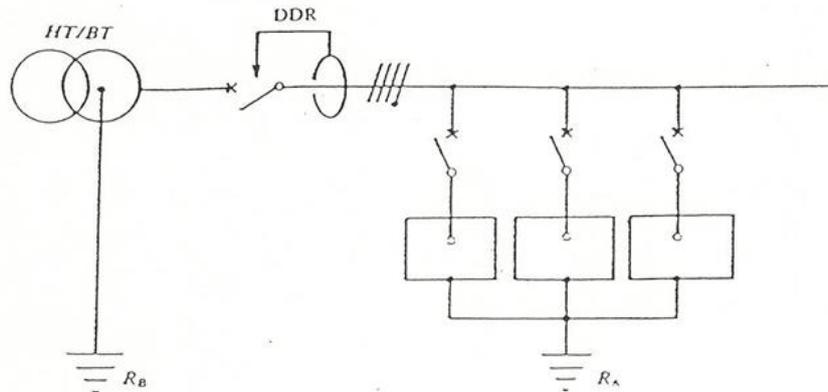


Figure III.33. Schéma emplacement DDR

Quel que soit le départ en défaut le courant de fuite  $I_d$  passera par RA et RB. Si le différentiel est en tête d'installation, il verra passer ce courant de défaut.

Dans ce cas, un seul DDR en tête d'installation est le minimum requis par la norme. Si l'on désire une certaine continuité de service, il faut ajouter des DDR sur les différents départs aval et appliquer les règles de sélectivité différentielles que nous développerons plus tard.

#### III.10.1. Cas particulier

- **Pas de DDR en tête :**

- **1er cas:** le disjoncteur de tête et les disjoncteurs des départs principaux sont dans la même armoire:

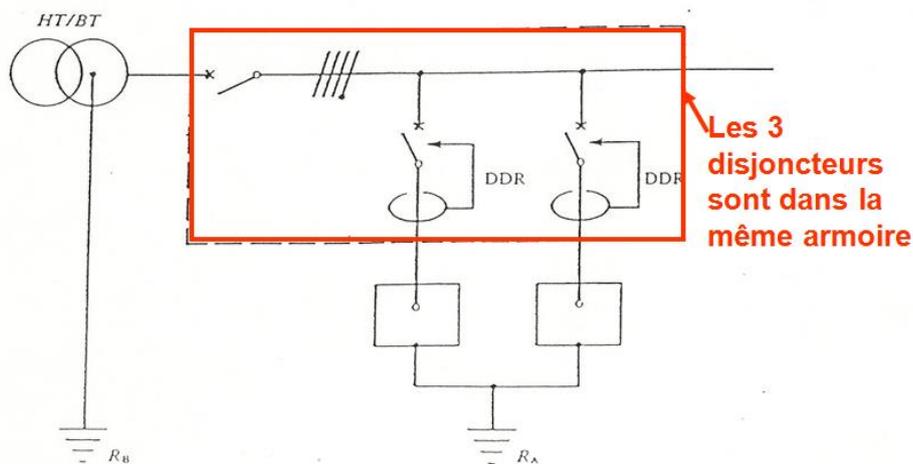


Figure III.344. Schéma pas DDR en tête.

- **2eme cas:** la liaison entre le disjoncteur de tête et les départs principaux :(par exemple sous conduits isolants).

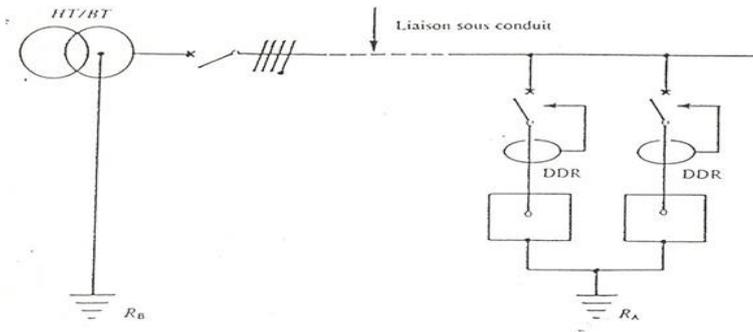


Figure III.355. Schéma DDR liaison sous conduit.

Dans les deux cas il est permis de se dispenser du DDR de tête, à condition d'équiper les départs principaux de DDR séparément.

Toutes les masses d'utilisation ne sont pas interconnectées à une même prise de terre RA :

➤ **Cas des départs éloignés :**

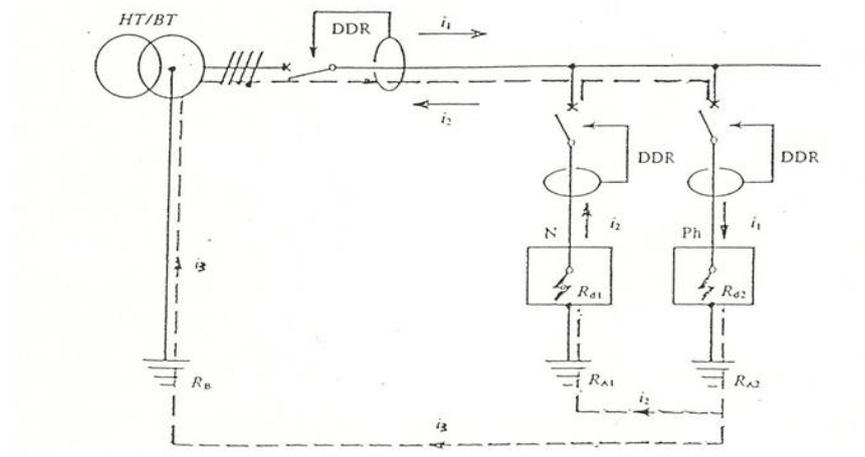


Figure III.366. Schéma DDR cas éloignés.

A priori il suffirait de placer un DDR en tête d'installation calibré en fonction de la valeur de la prise de terre RA1 ou RA2 la plus élevée et avoir:  $I\Delta N < U1 / \text{valeur maxi de RA}$ .

• **N'y a qu'un DDR en tête :**

Envisageons sur le départ n°1 un défaut d'isolement sur le conducteur neutre. Alors aucun courant de fuite n'apparaît et le différentiel de tête n'est pas sensibilisé.

Ce défaut peut persister pendant un temps indéfini.

Sur le départ n°2 survient un deuxième défaut d'isolement sur une phase.

Un courant de fuite  $i1$  prend naissance et se divise en  $i2$  et  $i3$ .

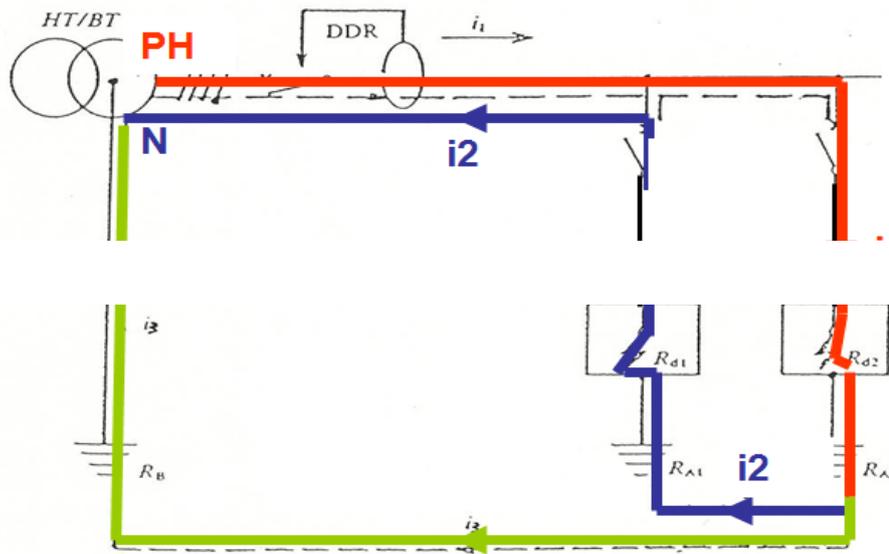


Figure III.37. Schéma n'est pas DDR en tête.

Le différentiel de tête ne verra que le courant ( $i_1-i_2$ ) qui ne reflète pas le courant  $i_1$  dans le départ N°2. Alors Pour obtenir une protection correcte, il faut impérativement placer un DDR sur chaque départ et un DDR en tête [36].

### III.11. La sensibilité en mA $I_{\Delta n}$

La sensibilité c la valeur à partir de laquelle un courant de fuite à la terre sera détecté (détection du défaut d'isolement). On reprend la formule:

$$I_N = I - I_F \quad \text{III.32}$$

Pour assurer la protection des personnes le courant de fuite à la terre doit être supérieur à la sensibilité soit :

$$I_F \geq I_{\Delta n} \quad \text{III.33}$$

Les sensibilités disponibles sont : 10 mA, 30mA, 300mA, 500mA ,1000mA.

D'après les normes d constructions a 20oC les DDR en basse tension ne déclenche pas réellement a  $I_{\Delta n}$  mais à partir de :

$$\frac{I_{\Delta n}}{2} \leq I_F \leq I_{\Delta n} \quad \text{III.34}$$

On Prend l'exemple d'un DDR de sensibilité 30 mA cela donnera une détection partir de 15 mA. D' après les normes NF C 15-100 tous les circuits de l'installation doivent être protégés par des DDR assigné au plus égal à 30 mA. Cette protection peut être divisionnaire pour un groupe de circuits ou individuelle pour un circuits spécialisé ou non (lave-linge, lave-vaisselle..).

Le Dispositif différentiel à courant Résiduel doit déclencher dans un temps inférieur à celui préconisé par la norme (EN 61008 Interrupteur différentiel et EN 61009 disjoncteur différentiel) [32].

Tableau III.3. DDR de la haute sensibilité =30mA

Courant de défaut $I_f$		Temps maximal déclenchement
$I\Delta n/2$	15	Pas de déclenchement
$I\Delta n$	30	300
$I\Delta n*2$	60	150
$I\Delta n*5$	150	40

### III.12. Sélectivité des DDR

Les DDR ont, comme les disjoncteurs, des courbes qui doivent se trouver dans un intervalle min. max.

Tableau III.4. Temps de coupure des DDR (en [ms]).

Temps maximum de réaction admis	Pour $I_d = I\Delta n$	Pour $I_d = 5 I\Delta n$	Pour $I_d = 2 I\Delta n$
Temps minimum de réaction admis	130	60	50
Temps maximum de réaction admis	500	200	150

Les temps de coupure d'un DDR 30 mA qui protège une personne de 1000 ohms sera compris entre 6 ms et 40 ms (le courant de défaut est de 230 mA soit plus de 5 fois  $I\Delta n$ ).

En plaçant en cascade des DDR d'  $I\Delta n$  différents, la limite de sélectivité se situe à la moitié de la valeur la valeur  $I\Delta n$  de celui placé en amont.

#### Exemple :

La limite de sélectivité est de 150 mA dans une installation protégée en amont par un DDR de 300 mA et en aval par un DDR de 30 mA :

Pour un  $I_d$  compris en 15 et 150 mA le temps de réaction du DDR 30 mA est compris entre 6 et 300 ms (à  $I_d = I\Delta n$ ) au maximum sans que le DDR de 300mA ne réagisse.

Entre 150 et 300 mA le DDR 300mA peut déjà réagir entre 6 et 300 ms, on ne peut donc pas garantir la sélectivité avec le DDR en amont qui lui coupera entre 6 et 40 ms [37].

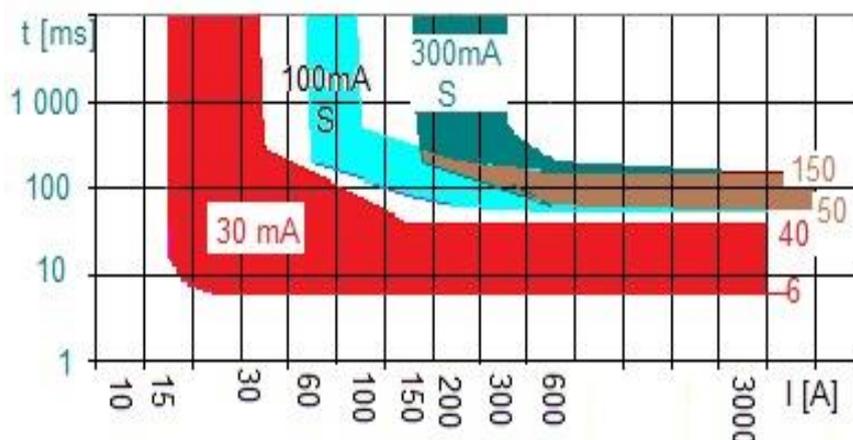


Figure III.37. courbe les zones de sélectivité.

Courbe de déclenchement d'un DDR 30 mA "standard"

Courbe de déclenchement d'un DDR 100 mA "sélectif"

Courbe de déclenchement d'un DDR 300 mA "sélectif"

• **Zone de non sélectivité :**

On constate que la sélectivité est respectée dans le cas de DDR dont  $I\Delta n$  est au moins trois plus petit pour celui en aval. En dessous de cette valeur il y a un manque de sélectivité pour des  $I_d$  de l'ordre de deux  $I\Delta n$  de celui en aval. Le temps de coupure maximum de celui en aval est de 150 ms alors que celui en amont à un courant qui représente que le 2/3 de son  $I\Delta n$  peut couper déjà en 130 ms. Si l'on ne peut pas régler les problèmes de sélectivité, il faut choisir des DDR réglables (quand c'est admis) [37].

III.12.1. **DDR type sélectif S**

Un DDR doit être placé en tête de l'installation (l'origine), cette seule protection présente l'inconvénient de couper toute l'installation électrique en cas de défaut d'isolement.

Pour y remédier, on utilise d'autres DDR plus sensibles (30 mA) placés entre le disjoncteur général et les disjoncteurs visionnaires. Il faut une sélectivité totale, pour cela on utilise en tête de l'installation électrique un disjoncteur générale de type sélectif dont le déclenchement est retardé. Les différentiels en tête des circuits seront de la sensibilité 30 mA. En cas de défaut eu le circuit présentant le défaut d'isolement sera coupé ainsi on évite une coupure générale de l'installation électrique [32].

Tableau III.5. Temps de coupure des DDR type S (en [ms]).

	pour $I_d = I\Delta n$	Pour $I_d = 2 I\Delta n$	Pour $I_d = 5 I\Delta n$
<b>Temps maximum de réaction admis</b>	500	200	150
<b>Temps minimum de réaction admis</b>	130	60	50

### III.12.2. Sélectivité entre DDR

En cas de défaut sur une phase, les deux dispositifs différentiels A et B sont traversés par le même courant de défaut. Il est intéressant d'avoir une sélectivité entre ces deux appareils afin d'obtenir une meilleure continuité de service.

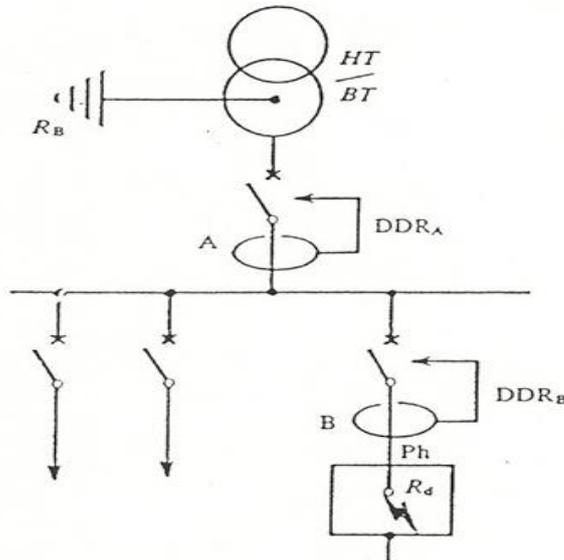


Figure III.38. schéma de principe sélectivité entre 2 DDR.

La sélectivité entre les deux appareils sera totale si pour tout courant de fuite situé en aval de DDR<sub>B</sub>, seul DDR<sub>B</sub> déclenche. On en déduit immédiatement qu'il est nécessaire que le seuil de non-fonctionnement de DDR<sub>A</sub> ( $I_{\Delta N_A}/2$ ) soit au moins égal au seuil de fonctionnement de DDR<sub>B</sub>:

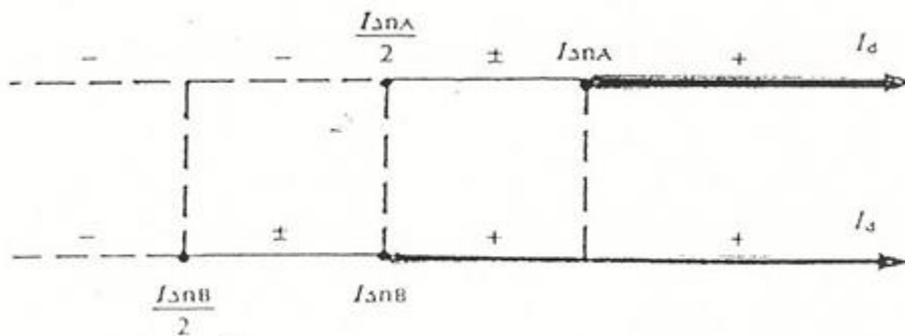


Figure III.390. Seuil de fonctionnement

Plusieurs cas peuvent se produire suivant la valeur réelle du courant de défaut :

1.  $I_d < I_{\Delta N_B}/2$ :

Ni DDR<sub>A</sub>, ni DDR<sub>B</sub> ne sont sensibles à ce courant de fuite qui n'est pas dangereux:

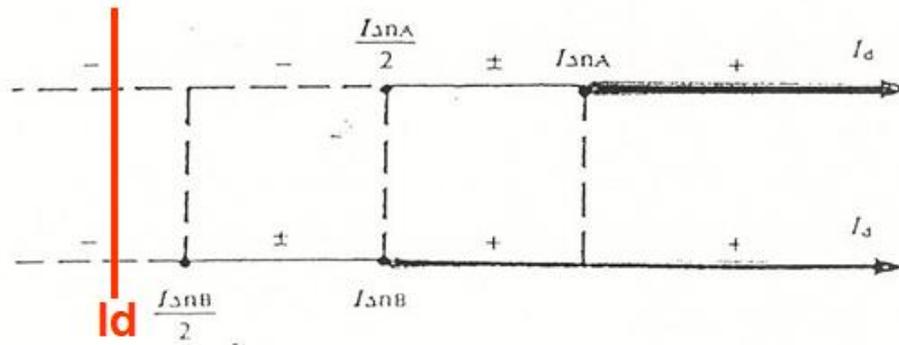


Figure III.401. Schéma d'un cas  $I_d < I_{\Delta nB}/2$ .

2.  $I_{\Delta nA}/2 > I_d > I_{\Delta nB}/2$  :

Le seuil réel de déclenchement de  $DDR_B$  est peut-être atteint mais pas celui de  $DDR_A$ .  
Donc  $DDR_B$  peut déclencher mais pas  $DDR_A$  :

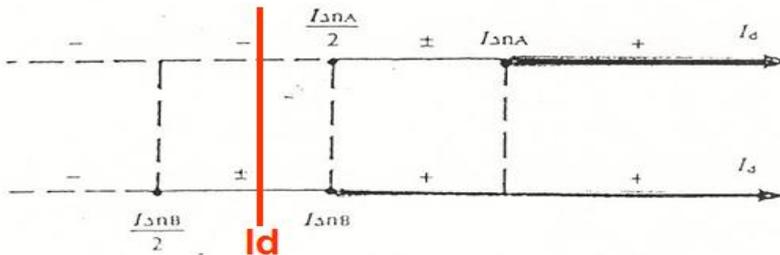


Figure III.412. Schéma d'un cas  $I_{\Delta nA}/2 > I_d > I_{\Delta nB}/2$ .

Il y a sélectivité.

3.  $I_d > I_{\Delta nA}/2$ :

Le seuil réel de déclenchement de  $DDR_B$  est atteint et aussi celui de  $DDR_A$ .  
Donc les deux appareils peuvent déclencher:

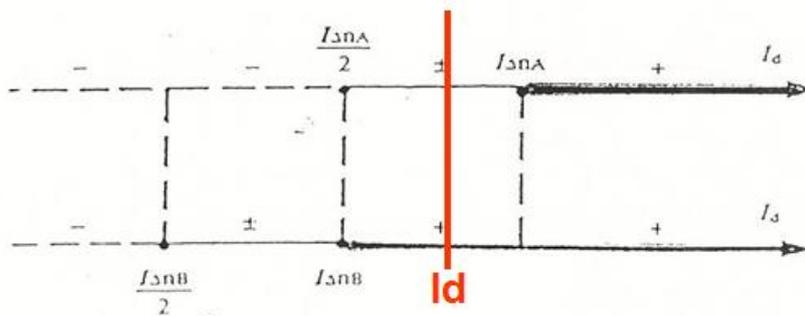


Figure III.423. Schéma d'un cas  $I_d > I_{\Delta nA}/2$ .

Pour obtenir la sélectivité dans tous les cas, nous devons retarder le fonctionnement de  $DDR_A$ . Le temps de non fonctionnement de  $DDR_A$  ( $TNFA$ ) devra être supérieur au temps de coupure total de  $DDR_B$  ( $TTCB$ ) [36]. Il faut donc pour avoir une sélectivité totale, les deux conditions suivantes:

$$IAN_A > 2 \cdot IAN_B$$

$$TNFA > TTCB$$

### III.13. Temps de déclenchement des DDR

Il faut vérifier que le DDR intervienne avant le temps défini selon la courbe de sécurité (figure III.21) Pour cela il faut savoir que la norme UTE 60-130 définit 4 classes d'appareils différentiels en fonction de leur temps de coupure. Généralement, plus le courant de fuite détecté par l'appareil est important par rapport au seuil nominal de ce dernier, plus le déclenchement ne sera rapide [36].

**Tableau III.6.** Déclenchement des DDR.

Classes	Temps de déclenchement		
	In	2In	10In
<b>T01</b>	100 ms	150 ms	30 ms
<b>T02</b>	200 ms	100 ms	30 ms
<b>T1</b>	1000 ms	250 ms	150 ms
<b>T2</b>	200 ms	100 ms	100 ms

**Remarque:**

Les DDR à haute sensibilité ( $I\Delta n < 30\text{mA}$ ) doivent être de classe T01 ou T02.

En cas de défaut d'isolement dans un récepteur, le courant de fuite est dans la grande majorité des cas, supérieur à 300mA soit  $10I\Delta n$ .

On peut ainsi considérer qu'en général un dispositif DDR à haute sensibilité élimine ces intensités de défaut en moins de 30ms.

### III.14. La différence entre un interrupteur et un disjoncteur différentiel

Un interrupteur différentiel sert exclusivement à protéger les personnes au sein d'une habitation d'une électrocution, La seule fonction qu'il possède est donc : la protection différentielle. Pour cela il compare le courant entrant et sortant et le coupe s'il détecte une différence.

Un disjoncteur différentiel, quant à lui, en plus de la protection des personnes, protège les biens matériels. C'est un composant qui à la fois le rôle d'un interrupteur différentiel mais aussi celui d'un disjoncteur. Il s'assure que les équipements électriques ne subissent pas de surtensions ou de court-circuit. Le disjoncteur différentiel surtout utilisé dans le tertiaire et l'industriel, moins dans les installations électriques domestiques [32].

disjoncteur différentiel



Figure III.434. Disjoncteur/Interrupteur différentiel

## II.15. Conclusion

Tous les circuits d'une installation électrique doivent être protégés par un dispositif différentiel résiduel DDR de 30 mA placés à l'origine de tous les circuits.

- Le nombre minimal est de 2 DDR 30 mA dans un logement.
- Le nombre maximal de circuits (départ ou disjoncteurs) sous un DDR est de 8.
- Les prises de courant ou d'éclairage sont répartis sur au moins 2 DDR.

Le dispositif différentiel a une fonction différente :

- il mesure en permanence la valeur des courants qui, à l'aval de son point d'installation, empruntent des conducteurs anormaux, autres que les conducteurs actifs.
- il compare leur intensité ( $i$  ou  $i'$ ) à une valeur prédéterminée, appelée sensibilité et notée  $I \Delta n$ , à partir de laquelle il est programmé pour donner un ordre à un dispositif de coupure automatique qui lui est associé : interrupteur ou disjoncteur.

De tels courants, appelés courants de défaut, apparaissent en effet toujours lorsque les parties d'installation électrique situées en aval sont affectées par un phénomène de nature à mettre gravement en danger la vie des personnes.

## **Conclusion Générale et perspective**

Aujourd'hui, l'énergie électrique est considérée comme une énergie propre est utilisée dans tous les pays pour faire fonctionner des secteurs vitaux comme l'industrie, les moyens de communication et les appareils dont se servent les hommes. Dans le présent travail les dangers électriques créés par un défaut d'isolement sont mette en évidence .Un défaut survenant dans un matériel électrique provoque la circulation d'un courant qui doit être interrompu dans un temps compatible avec la sécurité des personnes et équipements. Ceci peut se faire en utilisant les méthodes directes et indirectes. Les régimes de neutre ou Schémas de Liaison à la Terre (SLT) permettent de distribuer l'énergie chez les utilisateurs tout en assurant leur sécurité.

Il faut rappeler qui il important pour une installation d'avoir un bon système de mise à la terre. La sécurité de tout le personnel et de l'équipement est en jeu. Afin d'être sûr qu'un bon système de mise à la terre est en place, il est nécessaire de connaitre les différentes méthodes pour réalise cette mise à la terre. Il faut maintenir une faible résistance à la terre éloignée de toutes les électrodes et une faible résistivité du sol local. Différentes méthodes pour mesurer la résistance et la résistivité du sol ont été présentées.

Finalement le travail se termine par la présentation et l'analyse des défauts d'isolement dans les différents schémas de protection, puis une description sur le principe de la protection différentielle, et le fonctionnement d'un dispositif de protection a courant résiduel DDR.

En perspective le travail sur appelée pour mettre en évidence les différents Défauts d'isolement et pour le choix de la meilleur protection.

---

## Annexes

**PE** : Le fil de protection, ou conducteur de protection (ou protective earth en anglais abrégé PE), souvent improprement appelé fil de terre, est le fil électrique assurant la liaison entre un équipement électrique, souvent métallique, et le tableau électrique celui-ci étant relié à la barrette de terre<sup>1</sup> qui fait la liaison vers le puits de terre.

**CA.6471** : Contrôleur de terre, terre sélective, résistivité des sols, couplage de terre et continuité Ergonomique, complet et précis, le C.A 6471 offre un accès direct à toutes les mesures en face avant via un commutateur rotatif.

**CA.6472** : Contrôleur permettant tous les types de mesure de terre et mesure de terre des pylônes (avec le C.A 6474) - résistivité des sols - couplage de terre - mesure de potentiel de sol - continuité & résistance. Le CA.6472 permet de réaliser une expertise complète et rapide de toutes les configurations de mise à la terre en réunissant dans un seul appareil l'ensemble des fonctions de mesure de terre.

**Chauvin Arnoux** : différents contrôleurs propose des accessoires de qualité pour vos mesures de résistance de terre et/ou de résistivité du sol. Les raccordements se font aisément et sans risque d'erreur grâce à un ingénieux code de couleur des câbles et des bornes de raccordement.

**Pince de terre C.A 6417** : La pince de terre C.A 6417 est destinée au contrôle des résistances de tout système conducteur présentant les caractéristiques d'une boucle conductrice

**CPI** : est un appareil électrique (souvent électronique) permettant de détecter un défaut sur une installation de type IT (schéma de liaison à la terre)· Ce dispositif est utilisé dans l'industrie (par exemple dans une fonderie, où un arrêt du four rendrait le métal solide et la machine serait à remplacer) et dans les hôpitaux afin de limiter les coupures d'alimentation.

---

## Références bibliographiques

- [1] Cahier technique n°178 (Le schéma IT (à neutre isolé) des liaisons à la terre en BT).
- [2] Office de la formation professionnelle et de la promotion du travail : installation d'une prise de terre.
- [3] Protection des personnes : les schémas liaison à la terre.
- [4] [www.preventica.com](http://www.preventica.com) Risque incendie : causes, conséquences et moyens de lutte.
- [5] Le grand professionnel.
- [6] Zidane Zine Abiddin (Modélisation et simulation des prises de terre dans les systèmes électrique) Magistère Le 13/05/2012 Université Ferhat Abbas-Sétif.
- [7] Fichier sontrac stage 2020 raffinerie RA1K Skikda
- [8] [www.distrelec.com](http://www.distrelec.com) Résistance de mise à la terre.
- [9] [www.chauvin-arnoux.com](http://www.chauvin-arnoux.com) Guide de la mesure de terre.
- [10] [www.hichamaryousecurite/la-mise-a-la-terre](http://www.hichamaryousecurite/la-mise-a-la-terre)
- [11] [www.crushtymks.com/fr/energy-and-power](http://www.crushtymks.com/fr/energy-and-power) Energie et alimentation pour tous.
- [12] Elvis R Sverko (Technique de mesure de sol : Résistance des électrodes à la résistance à la terre et au sol à distance) Protection électrique des installations Etats-Unis.
- [13] [www.blog.formatis.pro](http://www.blog.formatis.pro) MMT : Méthode de mesure de terre.
- [14] [www.mesureterre.com](http://www.mesureterre.com) La mesure de terre.
- [15] <https://docs.rs-online.com/7841/0900766b801212b0.pdf>
- [16] [www.academia.edu-terre](http://www.academia.edu-terre) Youcef aida prise de terre.
- [17] Document de stage sontrac Skikda raffinerie RA1K.
- [18] Apports des mesures de résistivité électrique du sol dans les études sur le fonctionnement hydrique du système sol/vigne. <https://hal.inrae.fr/hal-02656179>
- [19] Electricité de France, " Principes de conception et de réalisation des mises à la terre, " EDF NI 115, Direction des études et recherches, 1984.
- [20] [www.mesures.com](http://www.mesures.com) Installations électrique : Régime de neutre.
- [21] Les schéma de liaisons à la terre.
- [22] SEMINAIRE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX DE TERRE ELECTRIQUES fichier sontrac stage 2020 raffinerie R1K
- [23] [Sarah.essbai1.free.fr](http://Sarah.essbai1.free.fr). La sécurité des personnes : Le régime IT.
- [24] [www.socomec.fr](http://www.socomec.fr) Schéma IT : disponibilité et sécurité.
- [25] Etude des systèmes techniques : Régime de neutre.
- [26] [www.lpmei.com](http://www.lpmei.com) Régime de neutre TN et IT.
- [27] [www.electrical-installation.com](http://www.electrical-installation.com) Schéma TN.
- [28] Schéma des liaisons à la terre : IT.
- [29] Guide d'application Schneider : Système de liaison à la terre IT.
- [30] Schneider Electric cahier technique n°114 : les protections différentielles en basse tension.
- [31] Schneider Electric : la protection différentielle dans les installations électriques basse tension.
- [32] [www.electrotoile.eu.com](http://www.electrotoile.eu.com) Le dispositif différentielle ddr.
- [33] [www.guide-protection.com](http://www.guide-protection.com) legrand : la protection des circuits et des personnes.
- [34] [www.maxicours.com](http://www.maxicours.com) le rôle de la prise de terre et du disjoncteur différentielle.
- [35] [www.formation-energetique.com](http://www.formation-energetique.com) le disjoncteur différentielle.
- [36] [www.régime\\_TT.com](http://www.régime_TT.com) les schémas de liaison.
- [37] [www.installations-electriques.net](http://www.installations-electriques.net)