



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj –Bouira

UAMO(Algérie)

Faculté des sciences et sciences appliquées



## **Mémoire de master**

Présenté au département de génie électrique pour obtenir le diplôme

De master en génie électrique

Option :

**Gestion et conversion d'énergie**

Par

**Boussaid Hayet**

Thème

**Mise à la terre**

Soutenu le 16 /11/2017 devant la commission d'examen composé de :

M.AMEZIANE.S	enseignant à l'université de Bouira	président
M.GRICHE.I	enseignant à l'université de Bouira	examineur
M.KHERCHI	enseignant à l'université de Bouira	examineur
M.BERRAG. A	enseignant à l'université de Bouira	encadreur

# Remerciements

---

## Remerciements

Je profite par le biais de ce travail de fin d'études, pour exprimer mes vifs remerciements à toute personne contribuant de près ou de loin à l'élaboration de cette humble étude.

Je tiens à remercier vivement mon encadreur Mr. Berrag .A, qui à contribué à la réalisation de ce modeste projet.

Un merci bien particulier adressé également à Melle Harmoune Naima et tout le personnel de service technique et de réalisation de la société de distribution du centre SDC Bouira), qui m'ont accueilli, conseillé et soutenu le long de mon stage.

Que tous ceux qui ont contribué à mener à bien ce stage trouvent ici l'expression de ma parfaite considération.

---

## Dédicaces

---

Je dédis ce modeste travail :

\*A mes très chers parents pour leurs conseils et leurs encouragements ;

\*A mon cher frère et sœurs ;

\*A tous mes amis ;

\*A toute ma promotion.

---

Introduction générale	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles	

## **Chapitre 01 : généralités sur les mises à la terre**

1.1 : introduction.....	P.1
1.2 : but d'un réseau de terre et définition de prise de terre.....	P.1
1.3 : élévation de potentiel autour d'un réseau de terre .....	P.2
1.4 : caractéristiques du sol.....	P.2
1.4.1 : notion de résistivité.....	P.2
1.4.2 : propriétés thermique du sol.....	P.3
1.4.3 : amélioration de la résistivité du sol .....	P.3
1.4.4 : les cas de mesure de la résistivité.....	P.5
1.5 : tension de pas .....	P.5
1.6 : tension de touche.....	P.6
1.7 : système de mise à la terre.....	P.7
1.7 : définitions.....	P.7
1.8 : critères et contraintes à respecter dans la conception des installations de mise à la terre.....	P.7
1.9 : différents types de mise à la terre.....	P.8
1.9.1 : prise de terre par cablette seule.....	P.8
1.9.2 : prise de terre par piquet .....	P.8
1.9.3 : prise de terre par grille.....	P.9
1.9.4 : prise de terre intégrant des procédés chimiques.....	P.9
1.10 : règles pour la mise en œuvre.....	P.10
1.11 : différents équipements mis à la terre .....	P.11
1.11.1 : mise à la terre des pylônes.....	P.11
1.11.2 : mise à la terre des postes.....	P.12
1.11.3 : mise à la terre des masses.....	P.13
1.11.4 : mise à la terre de neutre.....	P.14
1.12 : essai de type sur prise de terre.....	P.15
1.13 : amélioration de la résistance d'une mise à la terre.....	P.17
1.14 : liaison équipotentielle.....	P.17
1.15 : conclusion.....	P.17

## **Chapitre 02 : conception, réalisation et mesure des prises de terre**

2.1 : introduction.....	P.19
2.2 : méthode de mesure de la résistivité du sol.....	P.20
2.2.1 : méthode de wenner.....	P.20
2.3 : réalisation des mises à la terre .....	P.20
2.3.1 : règles complémentaires d'installation.....	P.20
2.4 : mise en œuvre pratique.....	P.21
2.4.1 : mise à la terre d'un poste MT/BT cabine.....	P.21
2.4.2 : mise à la terre des masses de poste sur poteau.....	P.23
2.4.3 : mise à la terre des supports.....	P.24
2.4.3.1 : mise à la terre d'un support métallique.....	P.24
2.4.3.2 : mise à la terre d'un support en bois.....	P.25
2.4.3.3 : mise à la terre des supports d'angle et traversée en ligne.....	P.25
2.5 : réalisation de mise à la terre de neutre .....	P.25
2.5.1 : réseau aérien.....	P.25

---

2.5.2.1 : emplacement des mises à la terre de neutre en basse tension BT.....	P.26
2.5.2.2 : support mixte MT/BT.....	P.27
2.5.2.3 : support en bois.....	P.27
2.5.2.4 : torsadé isolé sur façade.....	P.28
2.5.2 : réseau souterrain.....	P.28
2.6 : mise à la terre des masses d'un I.A.C.M.....	P.29
2.7 : mise à la terre des masses d'un I.A.C.T.....	P.30
2.8 : influence de la profondeur sur la résistance de la mise à la terre .....	P.31
2.9 : mesure de résistance des réseaux de terre.....	P.31
1.9.1: méthode de trois points .....	P.31
1.9.2 : méthode de chute de potentiel.....	P.32
2.10 : autres méthodes de mesure.....	P.33
2.10.1 : la mesure avec pince de terre.....	P.33
2.11 : calcul analytique de la résistance de prise de terre.....	P.35
2.11.1 : terrain homogène.....	P.35
2.11.1.1 : résistance d'une prise de terre sphérique.....	P.35
2.11.1.2 :résistance d'une prise de terre demi sphérique.....	P.35
2.11.1.3 : résistance d'une prise de terre cylindrique verticale.....	P.36
2.11.1.4 : résistance d'une prise de terre à plusieurs cylindres en parallèle.....	P.38
2.11.1.5 : résistance d'une prise de terre d'un câble enterré horizontalement.....	P.39
2.11.1.6 : résistance d'une prise de terre de plusieurs câbles enfouis.....	P.39
2.11.1.7 :résistance d'une prise de terre de forme grille.....	P.40
2.11.1.8 :résistance d'une prise de terre d'une plaque carré de coté r.....	P.42
2.11.1.9 :résistance d'une prise de terre d'une électrode sur circonférence d'un cercle.....	P.43
2.11.2 : terrain multi couches.....	P.43
2.11.2.1 : la méthode des images.....	P.43
2.12 : conclusion.....	P.46

## Chapitre 03 : mesure pratique des mises à la terre

3.1 : introduction .....	P.47
3.2 : terminologie.....	P.47
3.2.1 : les postes HT/BT.....	P.47
3.2.2 : les réseaux BT.....	P.47
3.2.2.1 : réseau BT aérien.....	P.47
3.2.2.2 : réseau BT souterrain .....	P.47
3.2.2.3 : les postes ruraux.....	P.48
3.2.2.4 : postes urbains.....	P.48
3.3 : mesure des mises à la terre des postes MT/BT du réseau de distribution des différentes localités de la ville de Bouira.....	P.48
3.4 : meure périodique de mise à la terre.....	P.50
3.4.1 : mesure de terre par telluromètre.....	P.50
3.4.1.1 : historique.....	P.50
3.4.1.2 : application et mesure.....	P.50
3.4.1.3 : accessoires.....	P.51
3.4.1.4 : caractéristiques techniques.....	P.51
3.4.1.4 : précautions.....	P.52
3.4.2 : la méthode de mesure.....	P.52
3.5 : méthode explicative de mesure de terre dans un poste électrique de distribution .....	P.53
3.6 : résultats de mesure.....	P.54

---

<b>3.7</b> : discussion des résultats de mesure.....	P.55
<b>3.8</b> : amélioration d'une résistance de mise à la terre .....	P.55
<b>3.8.1</b> : augmentation de nombres de piquet de terre.....	P.57
<b>3.8.2</b> : augmentation de diamètre de piquet de terre.....	P.57
<b>3.8.3</b> : géométrie de piquet de terre.....	P.57
<b>3.8.4</b> : traitement de sol.....	P.57
<b>3.9</b> : valeurs et périodicité des contrôles.....	P.57
<b>3.9.1</b> : vérification des circuits de terre.....	P.57
<b>3.9.1.1</b> : la construction.....	P.57
<b>3.10</b> : conclusion.....	P.58

---

# Introduction générale

---

## **Introduction générale:**

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

Les entreprises d'électricité consacrent des efforts pour améliorer la qualité de fourniture et la sûreté de fonctionnement, la protection contre ces perturbations nécessitent généralement un système de mise à la terre pour l'écoulement rapide des courants de défauts dans le sol et assurer un fonctionnement adéquat des installations électriques. Ce qui mène les recherches à s'intensifier à la réalisation des réseaux de terre.

Lors d'un défaut à la terre dans un poste ou sur une ligne de transport d'énergie, le courant de défaut cherche à s'écouler dans le sol à travers les électrodes de mise à la terre ce qui fait monter le potentiel local du sol par rapport à celui d'une terre lointaine. Le besoin d'une mise à la terre se fait sentir d'une façon plus aiguë à cause de l'importance de matériels d'installations, Les systèmes non reliés à la terre produisent des surtensions plus importantes en cas de défaut, plusieurs efforts ont été déployés pour s'approcher le plus possible des conditions réelles de l'installation et de façon à prévoir le comportement de la mise à la terre lors d'un défaut du réseau électrique. La structure du sol et sa résistivité peuvent influencer beaucoup sur le comportement de la mise à la terre, et le profil de l'élévation du potentiel engendré par le courant qui s'écoule dans le sol lors d'un défaut quelconque. Le travail effectué s'inscrit dans la continuité des efforts pour obtenir une conception réaliste de la mise à la terre en tenant compte des différents paramètres du sol qui peuvent influencer les résultats, d'assurer la sécurité du personnel et réduire les coûts associés à l'installation des systèmes de mise à la terre. Après la recherche bibliographique effectuée dans le cadre de ce sujet, une introduction à la mise à la terre est présentée au chapitre 1. Dans ce chapitre, l'importance de la mise à terre des installations électriques est discutée, quelques définitions des paramètres qui sont considérés très importants et la théorie pour calculer le potentiel de touche et de pas, l'influence des propriétés thermiques et électriques du sol sur le comportement des systèmes de mise à la terre sont présentés. Un deuxième chapitre consacré pour calcul analytique donnant les formules de différentes mises à la terre, suivi par la conception et la réalisation des prises de terres ensuite connaître la méthode de mesure, un

---

## Introduction générale

---

dernier chapitre pratique au sein de société de distribution d'électricité de la wilaya de Bouira et avec l'utilisation de l'appareil de mesure de résistance de terre nommé « telluromètre », qui facilite la tâche de mesure périodique dans plusieurs localités de la wilaya, on a pu réaliser des mesures de terre de plusieurs postes de réseaux de distribution dont la tension varie entre  $50v < U \leq 1000v$ .

Notre mémoire s'achève par une conclusion générale où nous indiquons quelques perspectives futures dans le domaine de mise à la terre visé par l'Algérie et spécialement par la wilaya de Bouira, dans l'axe de recherche relatif à nos travaux.

---



# Liste des figures

## Liste des figures

<b>Figure.1.1</b> : Notion de résistivité.....	P.3
<b>Figure.1.2</b> : Prise de terre avec trous profonds.....	P.4
<b>Figure.1.3</b> : Tension de pas.....	P.6
<b>Figure.1.4</b> : Tension de pas en fonction de la distance.....	P.6
<b>Figure.1.5</b> : Tension de touche.....	P.5
<b>Figure.1.6</b> : Constitution d'une prise de terre par cablette uniquement.....	P.12
<b>Figure.1.7</b> : Constitution d'une prise de terre par piquet.....	
<b>Figure.1.8</b> : Constitution d'une prise de terre par grille.....	
<b>Figure.1.9</b> : Mise à la terre des pylônes.....	
<b>Figure.1.10</b> : Mise à la terre d'un poste électrique.....	
<b>Figure.1.11</b> : Schéma de liaison de neutre en TT.....	
<b>Figure.1.12</b> : Schéma de liaison de neutre TN-C.....	
<b>Figure.1.13</b> : Schéma de liaison de neutre TN-S.....	
<b>Figure.1.14</b> : Schéma de liaison de neutre TN-C-S.....	
<b>Figure.1.15</b> : Schéma de liaison de neutre de IT.....	
<b>Figure.2.1</b> : principe générale de la méthode de Wenner.....	P.18
<b>Figure.2.2</b> : ceinture à fond de fouille.....	P.21
<b>Figure.2.3</b> : coupe latérale dans un poste cabine.....	P.21
<b>Figure.2.4</b> : prise de terre d'éclateurs d'un poste cabine.....	P.22
<b>Figure.2.5</b> : différentes liaisons à la terre d'un poste sur poteau.....	P.22
<b>Figure.2.6</b> : schéma de liaison à la terre d'un support métallique.....	P.23
<b>Figure.2.7</b> : schéma de liaison à la terre d'un support en bois.....	P.23
<b>Figure.2.8</b> : le support d'angle.....	P.24
<b>Figure.2.9</b> : support de traversée.....	P.24
<b>Figure.2.10</b> : schéma explicatif de mise à la terre de neutre dans le réseau de distribution.....	P.26
<b>Figure.2.11</b> : schéma de liaison à la terre de neutre d'un support MT/BT.....	P.26
<b>Figure.2.12</b> : schéma de mise à la terre de neutre d'un support en bois.....	P.27
<b>Figure.2.13</b> : schéma de mise à la terre de neutre sur façade.....	P.27
<b>Figure.2.14</b> : schéma de mise à la terre de neutre d'un boîtier d'immeuble.....	P.28
<b>Figure.2.15</b> : support équipé d'un I.A.C.M.....	P.29
<b>Figure.2.16</b> : support équipé d'un I.A.C.T.....	P.29
<b>Figure.2.17</b> : graphe de résistance en fonction de la profondeur.....	P.29
<b>Figure.2.18</b> : méthode des trois points.....	P.30
<b>Figure.2.19</b> : méthode de chute de potentiel.....	P.31
<b>Figure.2.20</b> : méthode de 62%.....	P.31
<b>Figure.2.21</b> : schéma explicatif de la méthode de mesure en pince.....	P.32
<b>Figure.2.22</b> : schéma des boucles fond de fouille.....	P.33
<b>Figure.2.23</b> : prise de terre de forme sphérique.....	P.33
<b>Figure.2.24</b> : prise de terre sous forme hémisphérique.....	P.34
<b>Figure.2.25</b> : prise de terre cylindrique verticale.....	P.35
<b>Figure.2.26</b> : prise de terre à plusieurs cylindres en parallèle.....	P.36
<b>Figure.2.27</b> : prise de terre câble enterré horizontalement.....	P.37
<b>Figure.2.28</b> : prise de terre à plusieurs câbles rayonnants.....	P.38
<b>Figure.2.29</b> : Réseau maillé ou grille.....	P.39
<b>Figure.2.30</b> : plaque carré de coté r.....	P.39
<b>Figure.2.31</b> : prise de terre de cercle de rayon R.....	P.41
<b>Figure.2.32</b> : conducteur enfoui dans le sol.....	P.42

## Liste des figures

---

### Liste des figures

<b>Figure.3.1</b> : schéma de raccordement de telluromètre.....	P.51
<b>Figure.3.2</b> : schéma fréquemment utilisé pour la mesure de terre.....	P.51
<b>Figure.3.3</b> : une vue sur l'appareil de mesure de terre .....	P.52
<b>Figure.3.4</b> : schéma explicatif de mesure de terre d'un poste de transformation .....	P.52

### Liste des tableaux

<b>Tableau.1.1</b> : La résistivité de différent type de sol .....	P.3
<b>Tableau.1.2</b> : Constitution d'une prise de terre par cablette uniquement.....	P.8
<b>Tableau.1.3</b> : Constitution d'une prise de terre par piquet.....	P.9
<b>Tableau.1.4</b> : Constitution d'une prise de terre par grille.....	P.9
<b>Tableau.3.1</b> : valeurs et périodicité des contrôles de prise de terre .....	P.48
<b>Tableau.3.2</b> : différentes valeurs de différentes prises de terre mesurées sur postes .....	P.54
<b>Tableau2.1</b> : coefficients(n) pour n électrodes rayonnants.....	P.39

## Liste des symboles

$\rho$	Résistivité en ( $\Omega.m$ )
$\varepsilon$	permittivité
$(\mu)$	perméabilité
$\Omega$	Unité de mesure de résistance
E	Champ électrique
p	Puissance électrique en watt
Up	Tension de pas
KA	Killo ampère (unité de mesure de l'intensité de courant)
v	Volt(tension)
HT	Haute tension.
MT	Moyenne tension.
BT	Basse tension.
I.A.C.M	Interrupteur aérien à commande manuelle.
I.A.C.T	Interrupteur aérien à creux de tension.
SDC	Société de distribution du centre (Bouira)





# Chapitre01

## 1.1 Introduction :

Depuis Plusieurs années avec l'évolution des réseaux de distribution d'énergie, voir le danger que peut causer les différentes parties de ce réseau en vue des défauts qui peuvent survenir (Surtension, foudre, choc électrique...etc.), des études ont été faites pour la prévention et la protection face à ses derniers et en premier lieu les personnes, par conséquent la nécessité d'un moyen simple de protection qu'assure les mise à la terre, qui présente un grand avantage pour les différentes installations électriques (postes, pylône...etc.), une façon de créer un chemin d'écoulement du courant en cas de défaut, la mise à la terre est obligatoire depuis 1969 (avec rupteur différentiel depuis 1991). Depuis 2009, un diagnostic électrique doit être effectué pour la vente d'un bien immobilier, la norme électrique NF C 15-100 impose des règles pour la réalisation des installations depuis 1911, la mise à la terre obligatoire n'apparaît cependant qu'en 1969, et celle de l'installation d'un disjoncteur différentiel de 30mA (milliampères) en 1991. [4]

Dans le présent chapitre, nous allons rappeler les notions de base indispensables à l'analyse des mises à la terre des installations électriques, en mettant un accent particulier sur les propriétés des sols, ainsi les différentes méthodes d'amélioration.

## 1.2 But d'un réseau de terre et définition de prise de terre :

Un réseau de terre est constitué d'un ensemble de conducteur enterré horizontalement et un piquet enterré verticalement), en contact direct avec le sol et reliés électriquement entre eux Généralement son but est [1] :

- D'écouler dans le sol les courants de (foudre, ou surtension...etc.).
- D'assurer le bien des personnes.
- De maintenir un potentiel de référence.

Les mises à la terre ont été introduites par benjamin franklin célèbre inventeur des parafoudres d'un système de mise à la terre .un système de mise à la terre est constitué d'une tige enfouie dans le sol est reliée par un conducteur au neutre du circuit sur lequel différents équipements sont branchés, elles jouent un rôle essentiel et important dans la protection des individus contre les accidents électriques et l'assurance de fonctionnement adéquat des installations électriques. La prise de terre est une pièce conductrice enterrée ou ensembles de

pièces conductrices voisines et interconnectées permettant d'établir une liaison électrique directe avec le sol.

### **1.3 Élévation de potentiel autour d'un réseau de terre :**

La circulation de courant dans une impédance de mise à la terre, provoque une élévation de potentiel qui se développe entre l'électrode de mise à la terre et une terre lointaine.

Par exemple la prise de terre d'un poste prend la forme d'un réseau maillé. Lors d'un défaut, l'environnement de poste subit un gradient de potentiel dont la forme et l'amplitude dépendent de la résistivité du sol et du courant injecté, de la présence d'objets métalliques. L'élévation de potentiel est un critère très important qui permet le choix optimal des appareils de protection, des câbles de communication reliés au poste, lesquels pourraient subir la totalité de la montée de potentiel.

### **1.4 Caractéristiques du sol :**

On peut résumer les caractéristiques du sol par trois grandeurs essentielles :

La résistivité( $\rho$ ) qui est un des principaux facteurs de détermination de la résistance de prise de terre, la permittivité ( $\varepsilon$ ) qui caractérise son comportement diélectrique et la perméabilité ( $\mu$ ), (la constitution du sol est considérée en matériaux magnétiques donc  $(\mu) = 1$  .

#### **Pourquoi mesurer la résistivité des sols ?**

- Avoir la possibilité de choisir l'emplacement de prise de terre et sa forme.
- Pour prévoir les caractéristiques électriques des prises de terre et réseaux de terre.
- Pour optimiser les coûts de construction des prises de terre et réseaux de terre (gain de temps pour obtenir la résistance de terre souhaitée).

#### **1.4.1 Notion de la résistivité de terrain :**

La résistivité ( $\rho$ ) d'un terrain s'exprime en Ohmmètre ( $\Omega.m$ ). Ceci correspond à la résistance théorique en Ohm d'un cylindre de terre de  $1m^2$  de section et de 1m de longueur. La résistivité est très variable selon les régions et la nature des sols.



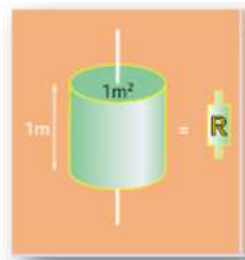


Figure.1.1 : notion de résistivité

Le tableau récapitulatif des valeurs de résistivité mesurée à 50HZ pour les principaux sols est illustré au tableau.1.1.

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

Tableau.1.1 : la résistivité de différents types de sol [10]

#### 1.4.2. Propriétés thermiques du sol :

Le courant électrique qui circule dans le sol produit un transfert d'énergie par effet Joule sous forme de chaleur ce qui entraîne une augmentation de la température du milieu. La puissance dissipée dans le sol par unité de volume est représentée comme suit:

$$P = E \cdot J = \rho J^2 = \frac{E^2}{\rho} \left( \frac{w}{m^3} \right) \quad (1)$$

Ou :

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

J (A/m<sup>2</sup>) : la densité du courant.

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

On peut citer encore la conductivité thermique du sol qui représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 kelvin ou 1 degré Celsius par mètre .

### 1.4.3 Amélioration de la résistivité du sol :

La résistivité naturelle de certains sols est parfois élevée mène à une mauvaise résistance de mise à la terre (prise de terre), par conséquent le traitement chimique de sol est indispensable par l'addition de certains éléments (charbon, sel, limaille de fer...etc), prenant en considération que les matières ajoutées ne doivent pas causer la corrosion au piquet métallique souvent en (cuivre, acier inoxydable), une autre technique apparue basée sur des trous profonds dans le sol, elle est appliquée dans les zones ou il ya beaucoup d'eau souterraines, le puit de sol est formé par un tube métallique avec des ouvertures latérales qui permettent la pénétration d'eau souterraine , il a la capacité de mouiller l'environnement autour de sol, tel qu'illustre la figure suivante :

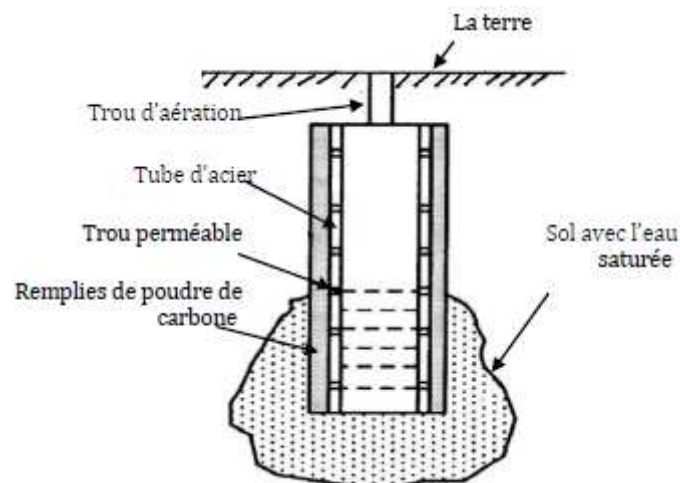


Figure.1.2 : prise de terre avec trous profonds [10]

### 1.4.4 Les cas de mesure de la résistivité :

- sur un terrain en construction
- 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.

### 1.5 Tension de pas :

Les défauts électriques peuvent engendrer un risque de choc électrique qui dépend de plusieurs facteurs, (la fréquence de la durée du défaut et celle de contact), et si ces derniers se réunissent avec le fait que la tension de contact est dangereuse donc l'électrocution se produit. La tension de pas peut être définie comme la différence de potentiel en deux points à la surface du sol elle dépend de la distribution de potentiel dans le sol. Un pas est assimilé à un mètre.

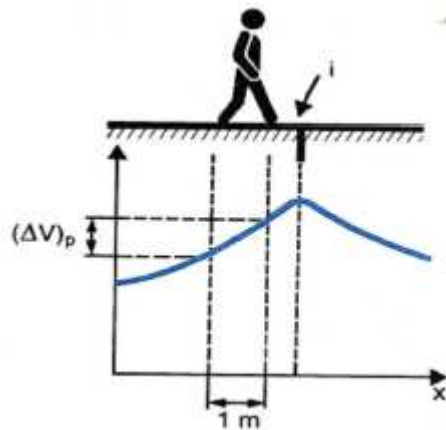


Figure.1.3: tension de pas [2]

A une distance  $d$  de lieu d'impact d'un courant de foudre au sol, en considérant un sol homogène de résistivité  $\rho$ , et une répartition purement résistive de potentiel, la tension de pas est donnée par :

$$U_p = \frac{\rho I}{2\pi(d+1)d} \quad (2)$$

Cette relation définit bien la diminution de la tension de pas avec l'éloignement de point d'écoulement de courant à la terre.

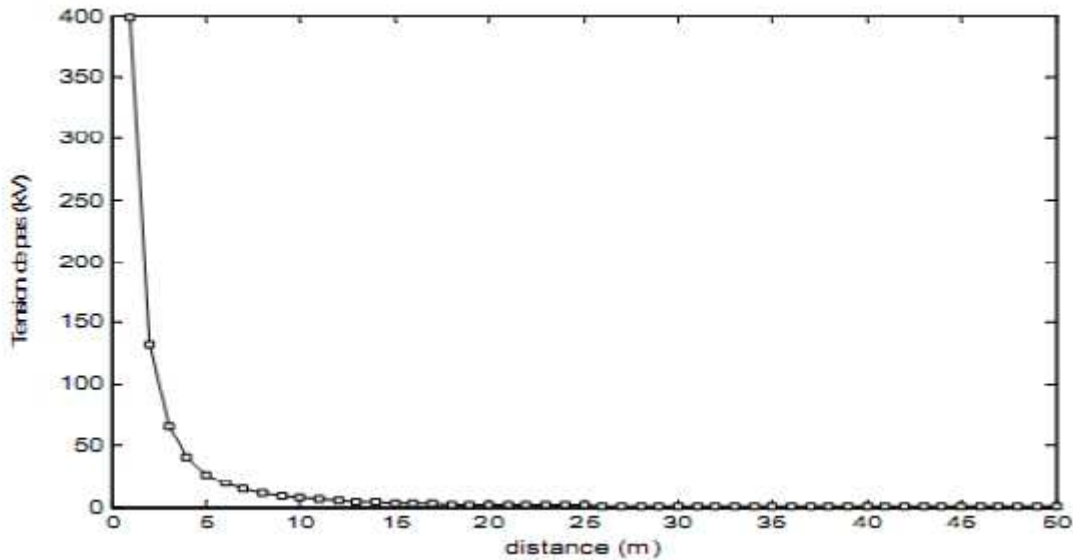


Figure.1.4 : tension de pas en fonction de la distance [2]

### 1.6 Tension de touche (ou de contact) :

C'est la différence de potentiel entre deux points celui de la structure métallique mise à la terre et celui de la surface de sol à une distance égale à 1m.

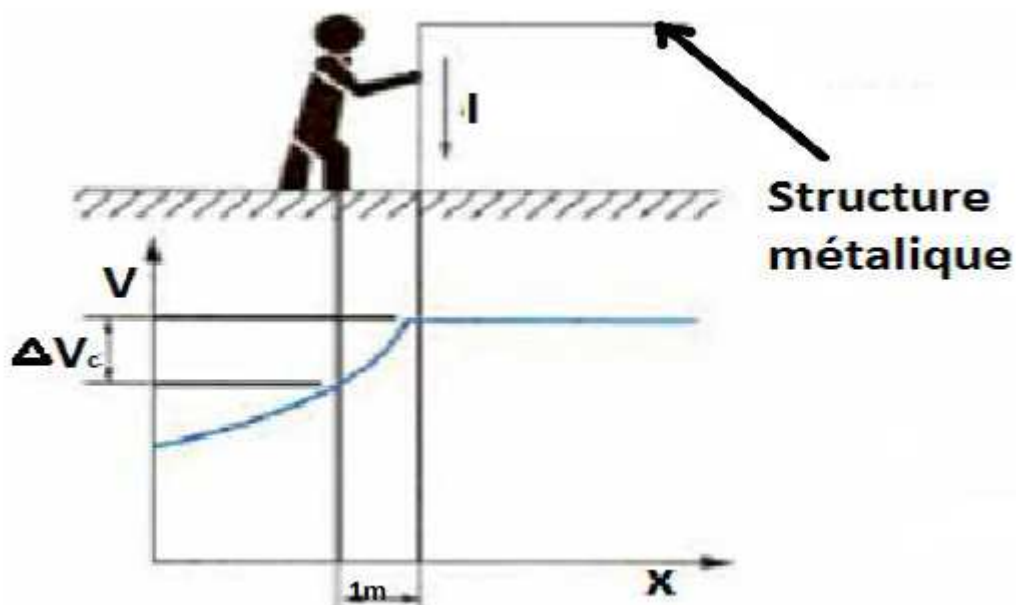


Figure.1.5 : tension de touche [2]

## 1.7 Système de mise à la terre :

### 1.7.1 Définitions :

**1.7.1.1 Conducteur actif :** tout conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique.

**1.7.1.2 Masse :** partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touché directement, qui n'est pas normalement sous tension, mais qui peut le devenir en cas de défaut.

**1.7.1.3 Circuit de terre :** ensemble de conducteurs installés pour réaliser une liaison électrique entre des éléments non isolants et une prise de terre.

**1.7.1.4 Prise de terre :** pièce conductrice enterrée ou ensemble de pièces conductrices voisines et interconnectées permettant d'établir une liaison électrique directe avec le sol.

Les mises à la terre ont été introduites par benjamin franklin, célèbre inventeur des parafoudres, un système de mise à la terre est constitué d'une tige enfouie dans le sol relié à un conducteur qui est branché aux différents équipements.

### 1.7.2 Résistance de prise de terre :

Par définition, la résistance d'une prise de terre est égale au rapport de son élévation de potentiel, mesurée par rapport à une référence infiniment éloignée (terre lointaine) au courant qu'on y injecte.

## 1.8 Critères et contraintes à respecter dans la conception des installations de mise à la terre :

Un système de mise à la terre doit répondre à quelques exigences qui sont :

- Résister à la corrosion, et supporter le courant de défaut le plus élevé.
- Assurer la sécurité des personnes et assurer la continuité de service vis-à-vis des défauts.

En second lieu les paramètres qu'il faut prendre en considération tels que :

- La nature du sol.
- Valeur et nature de défaut et sa durée, enfin le facteur cout qui est toujours considéré durant la réalisation.

### 1.9 Différents type de mise à la terre :

Une prise de terre est un assemblage généralement constitué en trois parties :

- Une partie métallique enterrée dont le contact intime avec le sol constitue la prise de terre proprement dit.
- Une câblette de mise à la terre en provenance de la masse métallique de l'équipement.
- Un raccordement entre les deux.

Les mises à la terre sont réalisées par simple enfouissement de conducteurs de formes variées dans le sol.

**N.B :** toute réalisation de prise de terre dans le lit d'un cours d'eau est strictement interdite

#### 1.9.1 Prise de terre par câblette seule :

**Cablette :** Câble en cuivre nu, de 28 mm<sup>2</sup> avec 78brins (4mm<sup>2</sup>), elle peut seule réaliser la prise de terre, elle sert également à relier la masse d'un équipement à une prise de terre ou à relier les éléments conducteurs d'une prise de terre entre eux.

Les différents assemblages possibles sont récapitulés dans le tableau suivant :

Partie supérieure	Raccord	Partie inférieure
Cablette venant de l'équipement	Connecteur en "c"	Cablette enterrée
	Soudure aluminothermique	
Meme cablette , sans raccord (technique du piquet-tracteur)		

Tableau 1.2 : Constitution d'une prise de terre par câblette(s) uniquement

#### 1.9.2 Prise de terre par piquet :

Deux types de piquet sont utilisés : le piquet acier inoxydable et le piquet acier cuivré.

##### a)Caractéristiques du piquet acier inoxydable :

Le piquet est en acier inoxydable. Sa longueur est de 1 mètre et son diamètre est de 16mm. Il est auto-allongeable. Sa grande rigidité mécanique et son insensibilité aux rayures à l'enfoncement permettent de le préconiser dans les terrains difficiles à prédominance rocheuse.

**b) Caractéristiques du piquet acier cuivré :**

Le piquet acier cuivré comporte une couche de cuivre déposée sur l'âme en acier par électrolyse ; La couche de cuivre doit être égale au minimum à 350 microns. Sa longueur est de 1 mètre et son diamètre est de 17,3mm. Il est auto-allongeable, sa très bonne conductibilité et sa bonne tenue aux rayures à l'enfoncement permettent de le préconiser dans les terrains de résistivité moyenne à faible proportion de roches. Les différents assemblages possibles sont récapitulés dans le tableau suivant :

<b>Partie supérieure</b>	<b>Raccord</b>	<b>Partie inférieure</b>
<b>Extrémité cablette</b>	<b>Cosse à sertir</b>	<b>Piquet auto-allongeable acier inox ou acier cuivré</b>
	<b>Cosse à emboutir</b>	
	<b>Cosse à serrage mécanique indémontable</b>	
	<b>Soudure aluminothermique (sur la tête du 1<sup>er</sup> piquet)</b>	

Tableau 1.3 : Constitution d'une prise de terre par piquet

**1.9.3 Prise de terre par grille :**

Les différents assemblages possibles sont récapitulés dans le Tableau:

<b>Partie supérieure</b>	<b>Raccord</b>	<b>Partie inférieure</b>
<b>Extrémité cablette</b>	<b>Connecteur en 'c'</b>	<b>Grille</b>
	<b>Soudure aluminothermique</b>	

Tableau 1.4: Constitution d'une prise de terre par grille

**1.9.4 Prises de terre intégrant des procédés chimiques :**

Le principe de ces prises de terre utilise l'enfouissement de conducteurs dans le sol accompagné de composants chimiques qui réduisent notablement la résistivité du sol au

voisinage immédiat. Les composants chimiques peuvent être intégrés directement en usine à la construction des modules servant à la réalisation des prises de terre.

**. Caractéristiques assignées :**

- Durée de vie 40 ans.
- Tenue aux courts-circuits 50 Hz (double défaut monophasé phase/terre, évalué à 5 kA - 1 seconde).
- Tenue à l'onde de foudre coordonnée avec celle du parafoudre (65 kA onde 8/20  $\mu$ s).
- Tenue à la corrosion (notamment état de surface et contacts) par un essai au brouillard salin pendant 240 heures suivant la norme NF X 41-002.
- Tenue mécanique à l'arrachement (500 N pendant 10 secondes).

### **1.10 Règles pour la mise en œuvre :**

#### **a) Câblette seule avec usage de piquet tracteur (cas général) :**

Partout où la nature du sol le permet (résistivité faible ou moyenne, terrain facilement fonçable), l'utilisation du piquet tracteur est particulièrement recommandée car elle permet d'éviter toute connexion enterrée souvent préjudiciable à la pérennité de la prise de terre. Dans cette technique, le piquet tracteur n'est qu'un vecteur mécanique d'enfoncement de la câblette dans le sol ; la prise de terre est réalisée par la câblette seule qui ne doit donc pas être blessée lors de l'enfoncement, ce qui réserve l'utilisation de cette technique dans les terrains facilement fonçables. La longueur minimum de câblette enfoncée est de trois mètres.

#### **b) Piquet (terrains difficilement fonçables) :**

Dans les terrains où la technique du piquet tracteur ne peut être employée, les prises de terre sont réalisées en utilisant des piquets en acier inoxydable ou en acier cuivré. La mise en œuvre de ces piquets doit être réalisée en utilisant impérativement les "bouterolles d'enfoncement" prévues à cet effet.



**C) Autres techniques (terrains à résistivité élevée) :**

Dans les terrains de forte résistivité, les techniques classiques de réalisation des prises de terre ne permettent pas d'obtenir les valeurs ohmiques recommandées. On peut donc mettre en œuvre les techniques supplémentaires suivantes :

- utilisation de grille de terre : l'utilisation de grilles de terre dans les terrains difficiles permet d'abaisser notablement la valeur ohmique de la prise de terre par augmentation de la surface de contact avec le sol.
- réalisation d'une terre en profondeur : il est également intéressant de réaliser pour les cas difficiles une terre en profondeur. Il est important de signaler qu'une "terre profonde" est efficace uniquement pour l'écoulement des courants 50 Hz. Aussi, avant d'envisager une telle réalisation, il est primordial de connaître si à une certaine profondeur il existe une couche de terrain de faible résistivité qui permet d'abaisser notablement la valeur de la prise de terre. On doit donc effectuer des mesures de résistivité en profondeur en utilisant un mesureur autorisé de terrain de faible résistivité qui permet d'abaisser notablement la valeur de la prise de terre.

**1.11 Différents équipements mis à la terre :****1.11.1 Mise à la terre des pylônes :**

Les pylônes des lignes de transport d'énergie sont reliés à des prises de terre conçues avec grande précaution afin de leur assurer une faible résistance. Effectivement, il ne faut pas que la chute de tension dans la prise de terre provoquée par un courant de foudre qui frappe le pylône dépasse la tension de contournement des isolateurs, sinon les trois phases de la ligne se mettent en court-circuit entre elles et à la terre.

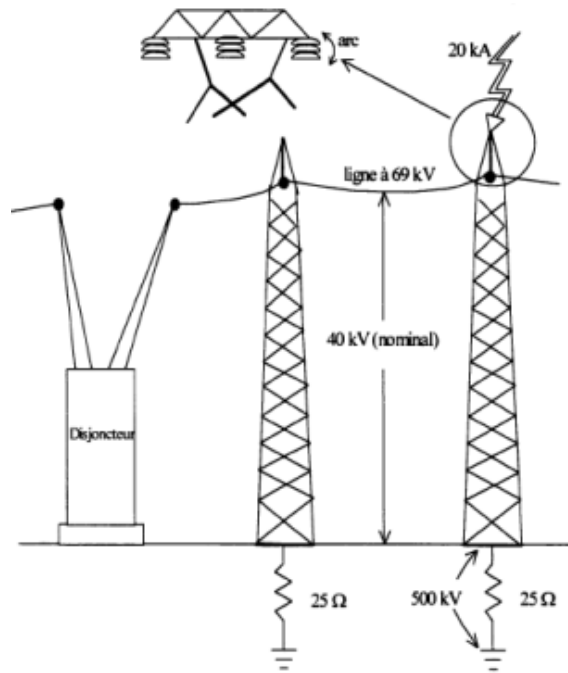


Figure.1.6 : Mise à la terre des pylônes [3]

Lorsque la foudre frappe le pylône tel qu'illustré à la figure, un courant de foudre d'intensité 20 kA circule dans la prise de terre ce qui va provoquer une chute de tension dans cette dernière qui est égale au produit du courant de foudre par la résistance de la prise de terre :

$$v = 20000 \text{ A} * 25 \Omega = 500 \text{ kV}$$

Cette tension s'additionne à la tension nominale de 40 kV ce qui va donner momentanément naissance à une tension des conducteurs par rapport au sol qui est égale à 500 kV + 40 kV = 540 kV. Cette tension est supérieure à la tension de tenue à l'onde de choc des isolateurs, un arc de contournement s'allume entre les bornes des chaînes d'isolateurs, Cela mettrait les trois phases en court circuit entre elles et l'ouverture du disjoncteur de protection sera inévitable pour mettre hors service la ligne de transport d'énergie.

En assurant une faible résistance aux prises de terre des pylônes, on évite les interruptions du courant aux abonnés, la valeur de cette résistance peut atteindre maximum 15  $\Omega$  sans provoquer le contournement des chaînes d'isolateurs et celle là pour un coup de foudre d'intensité de courant ne dépassant pas le 20 kA. Remarquer que des courants de foudre d'une intensité de 20 kA sont relativement fréquents. Même s'ils ne durent que quelques microsecondes mais il faut tenir compte des foudres d'intensités beaucoup plus élevées que 20 kA ce qui veut dire que la résistance des prises de terre doit être le plus faible que possible

### 1.11.2 Mise à la terre des postes :

La mise à la terre des postes est un point très important en vue de leur importance dans le réseau, ou les accidents doivent être loin d'eux le plus possible. Cette configuration de type grille permet de limiter les tensions de pas et d'obtenir une résistance de terre très inférieure

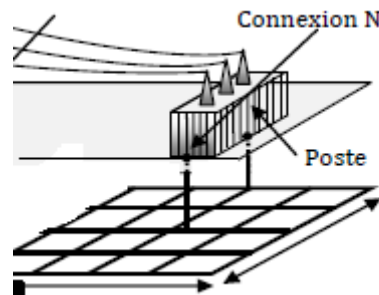


Figure.1.7: mise à la terre d'un poste électrique [10]

### 1.11.3 Mise à la terre des masses :

Tout poste doit comporter une prise de terre des masses constituée d'un conducteur en cuivre nu de 25 mm, de section minimale formant une boucle fermée et disposée directement sur le sol à fond de fouille.

Les éléments à relier à la prise de terre des masses sont :

Les masses métalliques de tous les circuits à haute tension et à basse tension.

- l'enveloppe du tableau HT à partir des bornes prévues à cet effet,
- les écrans métalliques et le conducteur de terre des câbles à haute tension,
- les ferrures éventuelles de fixation des câbles à haute tension,
- la cuve du transformateur,
- les châssis des tableaux basse tension,
- éventuellement les cuves des transformateurs de mesures, etc.
- l'armature métallique du radier lorsqu'il existe.

Intentionnellement, la porte d'accès et les grilles de ventilation métalliques ne sont pas reliées au circuit de terre des masses, sauf dans le cas où l'enveloppe extérieure du poste est entièrement métallique. Chacune des masses doit être reliée individuellement à la terre des masses.

Aucun appareil de coupure (tel que coupe-circuit, interrupteur ou barrette) n'est inséré dans le circuit de mise à la terre des masses.

### 1.11.4 Schéma de liaison à la terre (régime de neutre) en basse tension BT :

Le régime de neutre en BT fait partie de schéma de liaison à la terre "notion normalisée (CEI 364 et NF C 15-100) qui recouvre le mode de liaison à la terre.

Trois schémas de liaison à la terre sont normalisés :

**TT** : neutre à la terre telle que la figure si dessous.

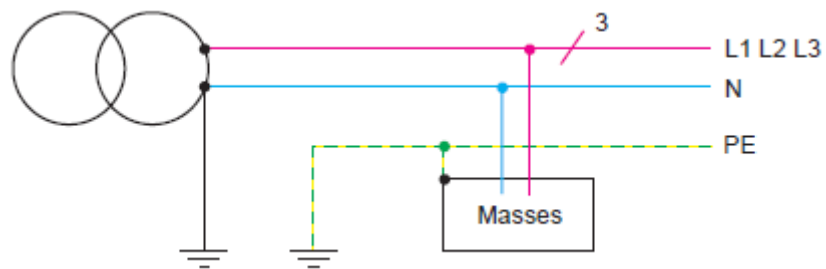


Figure.1.8 : schéma de liaison de neutre en TT

**TN** : mise au neutre (avec trois versions **TN-C**, **TN-S**, **TN-C-S**) :

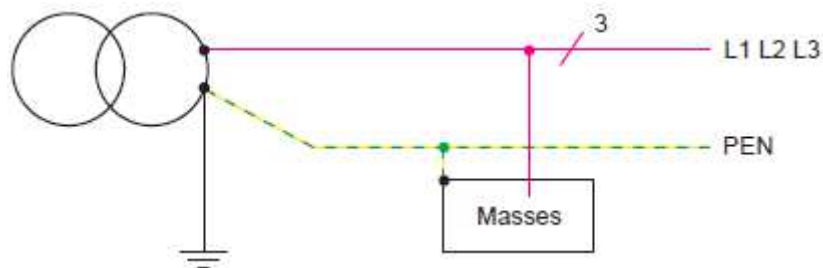


Figure.1.9 : schéma de liaison de neutre en TN-C



Figure.1.10 : Schéma de liaison de neutre en TN-S

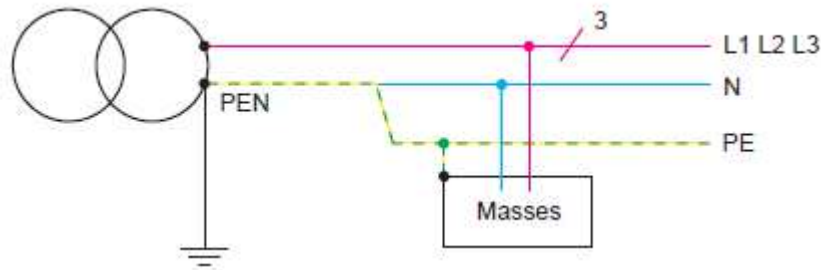


Figure.1.11 : schéma de liaison de neutre en TN-C-S

**IT** : neutre isolé ou impédant.

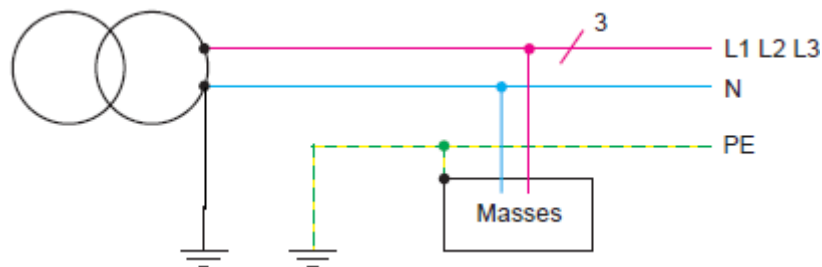


Figure.1.12 : schéma de liaison de neutre en IT [8]

**I** : isolé de la terre

**T** : relié à la terre

**N** : relié au conducteur neutre (N)

La troisième lettre (facultative) : situation de conducteur neutre (N) et de conducteur de protection (PE).

**C** : N et PE forment un conducteur commun PEN.

**S** : N et PE séparés.

### 1.12 Essais de type sur prises de terre :

Les caractéristiques vues précédemment des différentes prise de terre, s'imposent aux fournisseurs et peuvent être vérifiées par des essais qui leurs sont relatifs. Les essais visent essentiellement à vérifier la qualité de la liaison entre la prise de terre proprement dite et la câblette hors sol. Les essais sont réalisés à la température ambiante (aux environs de 20 °C), en respectant l'ordre suivant :

#### 1.12.2 Contrôles préliminaires :

On vérifie que les raccordements des différents ensembles sont correctement effectués suivant les recommandations de mise en œuvre des fournisseurs.

**1.12.3 Test au brouillard salin :**

Il est réalisé conformément à la NF X 41-002 pendant 240 heures avec une concentration saline de 5 %. Les résultats à obtenir sont les suivants :

- ✓ aspect visuel :

La tête pourra être oxydée ; après élimination des dépôts superficiels par un léger brossage, l'aspect de la tête ne devra pas présenter de traces d'oxydation importantes ;

- ✓ contrôle de la résistance électrique :

Avant et après le test au brouillard salin, l'essai de tenue à l'onde de foudre, et l'essai de mise en court-circuit, on procédera à chaque fois à la mesure de la résistance électrique sous un courant de 10 mA :

- d'un tronçon de 100 mm comprenant l'emmanchement des deux piquets.
- d'un tronçon de 100 mm comprenant l'ensemble piquet (tête connectrice, câblette).

L'écart à chaque fois entre les deux valeurs de résistance ne doit pas excéder  $\Omega$ .

**1.12.4 Essai de tenue à l'onde de foudre :**

Pour obtenir le contrôle de la résistance électrique, on applique l'onde de choc suivante :

- temps de montée 8 ms ;
- temps de retour à mi-amplitude 20 ms ;
- amplitude 10 kA.

**1.12.5 Essai de mise en court-circuit :**

Pour Contrôles des caractéristiques électriques, on applique un courant de 5 kA pendant 1 seconde.

**1.12.6 Essai de tenue à l'arrachement :**

L'ensemble piquets (tête, câblette) est soumis à une traction de 500 N pendant 10 secondes.

Les résultats à obtenir sont les suivants : pas de désolidarisation, ni de glissement.

### **1.13 Amélioration de la résistance d'une mise à a terre :**

Pour améliorer la résistance de mise à la terre en augmentant les nombre d'électrodes (piquet), la littérature indique que l'ajout d'électrode diminue la valeur de la résistance. Outre l'augmentation de diamètre, traitement des sols pour réduire la résistivité avec des produits tels que le charbon de bois et le sel, il faut éviter les solutions tendant à réduire les performances de la mise à la terre avec le temps. L'ajout d'une matière de résistivité réduite entourant l'électrode est celle de l'entourer avec une matière peu résistive.

### **1.14 Les liaisons équipotentiels :**

Les liaisons équipotentiels constituent une mesure de sécurité indispensable dans une habitation. Issues de la prise de terre, leur principe de mettre au même potentiel (celui de la terre) tous les éléments conducteurs d'une maison et permettent ainsi de prévenir tout risque de choc électrique ou à des potentiels voisins toutes les parties conductrices n'appartenant pas aux circuits électriques. Par l'intermédiaire des conducteurs de protection, les carcasses des récepteurs électriques se trouvent à peu près au même potentiel que les parties non électriques reliées au conducteur principal d'équipotentialité. Lors d'un défaut (exemple : court-circuit entre la phase et la carcasse métallique) dans le récepteur, il peut tout de même y avoir une différence de potentiel non dangereuse, entre la carcasse du récepteur électrique et les parties métalliques reliées au conducteur principal d'équipotentialité. Cette différence est due à la chute de tension dans le conducteur de protection du récepteur électrique. Il est donc primordial d'attacher une grande importance à la réalisation des liaisons équipotentiels. [1]

### **1.15 Conclusion :**

Ce chapitre s'est intéressé à exposer l'essentiel de notions théoriques rencontrées dans le domaine de la mise à la terre. En premier, la notion de système de mise à la terre a été introduite brièvement ainsi que les différents modes de couplage qui constitue la principale notion dans étude.

Et puis, une identification des paramètres qui peuvent influencer le comportement d'un tel système, en particulier la nature du sol environnant et son amélioration.



# Chapitre02



## 2.1 Introduction :

Le calcul de la résistance de prise de terre est très important et indispensable pour les réseaux électriques, spécialement pour la protection des équipements, Le problème de la détermination de la résistance d'une prise de terre est extrêmement complexe sauf dans le cas d'une électrode hémisphérique enfouie à la surface d'un terrain homogène. Pour les autres formes, le calcul est non seulement approximatif mais quasiment impossible, en plus on trouve plusieurs formules pour la même forme de prise de terre en fonction du rapport entre longueur et largeur ou profondeur. De plus, le calcul devient très difficile, voire impossible si la terre est non homogène, dans ce chapitre on définit en premier lieu la résistivité du sol qui joue un rôle important dans la conception des systèmes de mise à la terre, ensuite la réalisation des différentes mises à terre pour différents équipements et les méthodes de mesure (on parle toujours des localités de la wilaya de Bouira) et la détermination analytique de différentes formes de mises à la terre.

## 2.2 Méthode de mesure de la résistivité :

Diverses méthodes sont utilisées mais la plus utilisée pour déterminer la résistivité des sols est celle des « quatre électrodes » : méthode de WENNER.

### 2.2.1 Méthode de wenner :

La méthode la plus utilisée pour déterminer la résistivité des sols est celle des quatre électrodes pour connaître la résistivité du sol en fonction de la profondeur, on génère un courant entre deux piquets de terre et disposés symétriquement par rapport au point o. On prévoit deux électrodes supplémentaires et Y et Xv au voisinage du point o pour mesurer la différence de potentielle  $\Delta V$ . Il est alors possible de calculer la résistivité apparente  $\rho$  des couches cumulées du sol sous le point à partir de la résistance donnée par un ohmmètre de terre.

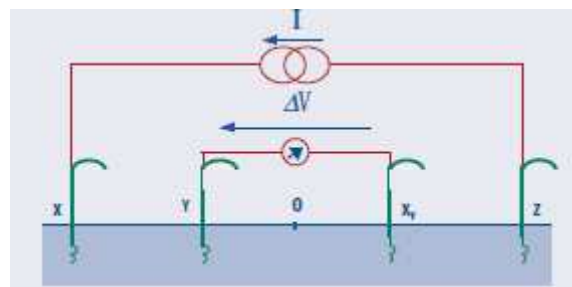


Figure.2.1 : principe générale de la méthode de Wenner [11]

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{ZY} - \frac{1}{YX} - \frac{1}{ZX_v} + \frac{1}{X_vX}} \cdot \frac{\Delta v}{I} \quad (3)$$

P : la résistivité exprimée en  $\Omega \cdot m$ .

ZY, YX, ZX<sub>v</sub> et X<sub>v</sub>X sont les distances entre les quatre piquets.

$\Delta V / I = R$  est la résistance affichée sur l'appareil de mesure de terre en  $\Omega$ .

Par rapport à la méthode classique à quatre électrodes la méthode de Wenner impose un positionnement précis des électrodes les unes par rapport aux autres en, ce qui simplifie la formule de la résistivité apparente :

$$\rho = \frac{2\pi A \Delta v}{I} \quad (4)$$

Ou :

$\rho$  : résistivité par [ $\Omega m$ ]

A : distance entre les sondes [m]

$\Delta V / I = R$  : résistance affichée sur l'appareil de mesure de terre [ $\Omega$ ]

## 2.3 Réalisation des mises à la terre :

### 2.3.1 Règles complémentaires d'installation :

Il y a 4 règles à respecter :

- 1- Même dans le cas où l'on obtient une résistance de prise de terre très bonne à une profondeur de 1.50m ou 2m, il convient de prolonger la prise de terre à une profondeur de 3 à 4m minimum pour être à l'abri du gel ou des variations saisonnières d'humidité.
- 2- Dans le cas d'une prise de terre devant écouler vers la terre en un temps donné des courants de forte intensité, il importe d'avoir une électrode de section calculée. En conséquence, en second lieu, il faut assurer un contact intime entre le terrain et l'électrode.
- 3- Il faut implanter les prises de terre loin des murs enterrés ou des fondations profondes. La diffusion du courant ne se faisant que dans une demi-sphère, l'efficacité de la prise de terre est diminuée.
- 4- Il ne faut pas implanter les prises de terre trop près d'une rivière, le courant souterrain ayant entraîné les électrolytes du terrain, la résistivité de celle-ci est forte.

## **2.4 Mise en œuvre pratique :**

### **2.4.1 Réalisation d'une mise à la terre d'un poste MT /BT cabine :**

Lors de l'exécution des fondations, on dispose à fond de fouille, avant bétonnage un conducteur enterré formant une boucle, et sera prolongé verticalement à l'intérieur de poste jusqu'à 20cm au moins au dessous de niveau de sol.

Le circuit de terre comprend : Un conducteur principale en cuivre nu de 25mm<sup>2</sup> de section,

Des dérivations en cuivre nu de 16 mm<sup>2</sup> de section, reliant des ferrures au circuit principal.

Le conducteur de terre des masses doit être d'une seule longueur et ne doit comprendre aucune coupure.

Le neutre de transformateur doit être relié à la terre des masses du poste après l'ouverture de disjoncteur ou de l'interrupteur BT.

### **Eléments à relier à la terre des masses :**

- Tresse des câbles.
- Ferrures de filtrage et de fixation.
- Ferrures d'appareillage.
- Cuve de transformateur.
- Châssis de tableau BT.
- Eventuellement les bornes de terre des transformateurs de mesure et des condensateurs.
- Le quadrillage métallique noyé dans le béton.
- Tous les écrans ou panneaux métalliques.
- Châssis de système de comptage.

**N.B : les portes et les grilles de ventilation ne sont pas mis à la terre.**

Il sera prévu, en un point accessible, une borne raccordée au conducteur principal, permettant les mesures.

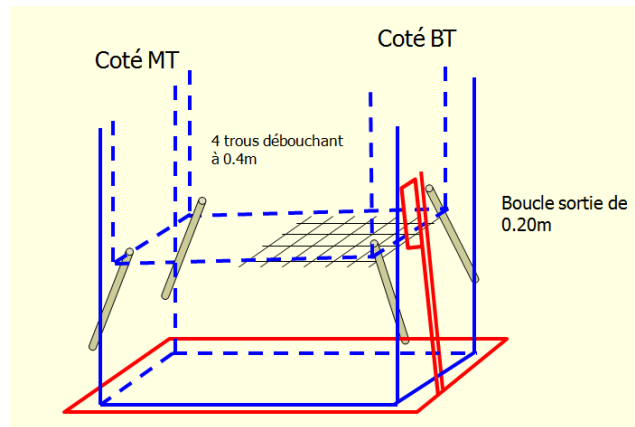


Figure.2.2 : Ceinture de fond de fouille

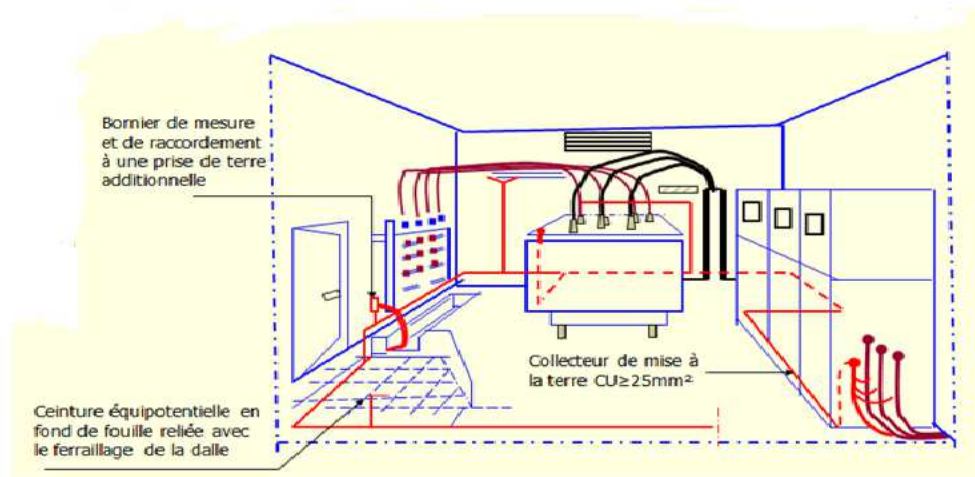


Figure 2.3 : coupe latérale dans un poste cabine [6]

N.B : avant, les postes de distribution disposait d'un éclateur, récemment en Algérie l'utilisation de ce dernier est abandonnée contrairement aux pays européens.

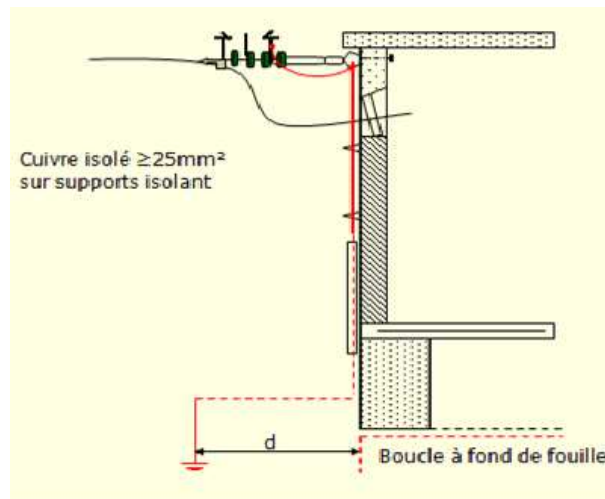


Figure.2.4 : prise de terre d'éclateurs d'un poste cabine [6]

### 2.4.2 Mise à la terre des masses de poste sur poteau :

Le conducteur de terre, en cuivre nu, est d'une section de 25mm<sup>2</sup>, portant des ferrures d'ancrage de la ligne MT et aboutissant à la prise de terre. Les dérivations sont en cuivre de section de 16mm<sup>2</sup>. Aucun appareil de coupure (fusibles, interrupteur, ou barrette de sectionnement) ne doit être installé, sur les conducteurs de masses.

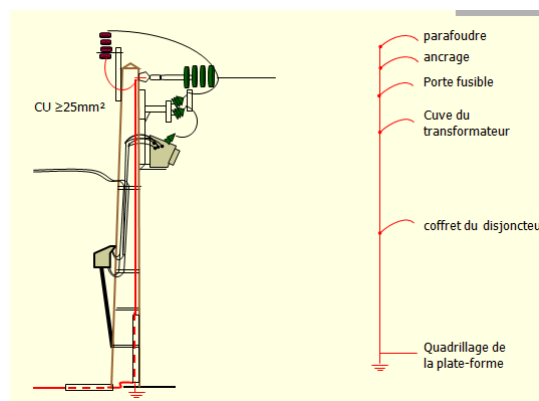


Figure.2.5: différentes liaisons à la terre d'un poste sur poteau [6]

### 2.4.3 Réalisation des mises à la terre des supports :

#### 2.4.3.1 Support métallique :

Tous les supports métalliques doivent être mis à la terre

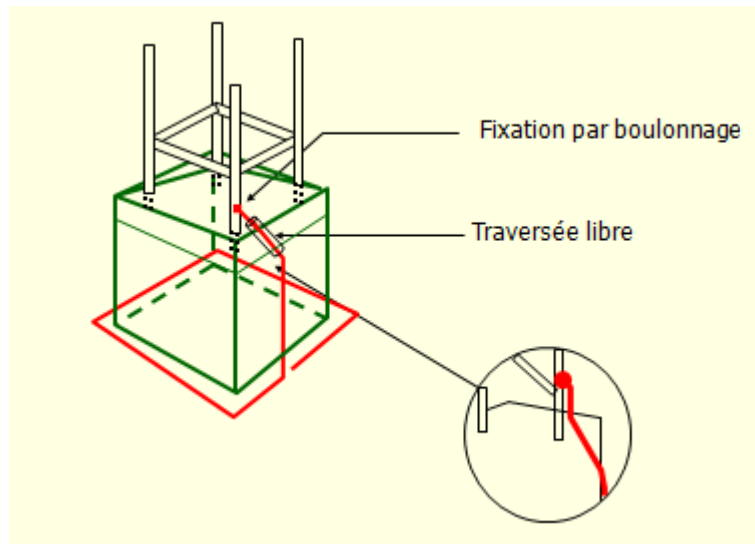


Figure.2.6 : schéma de liaison à la terre d'un support métallique

#### 2.4.3.2 supports en bois :

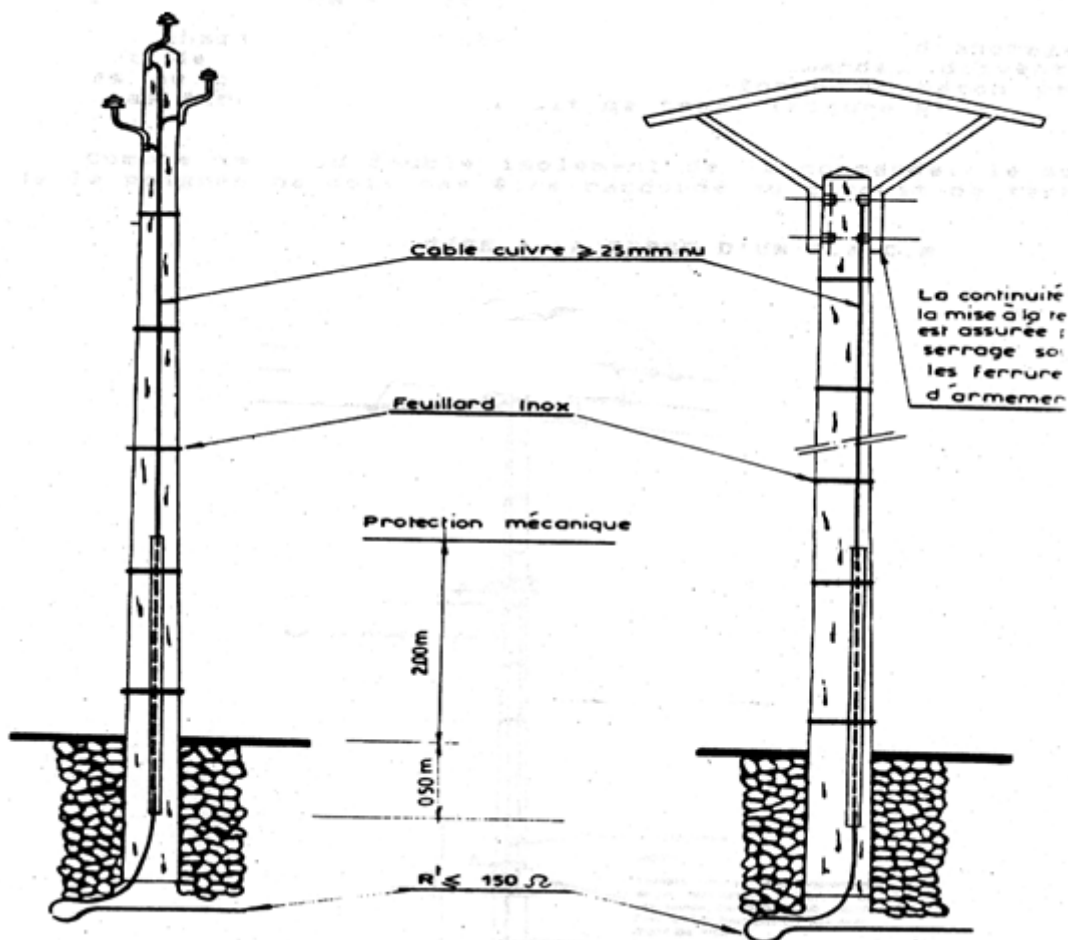


Figure.2.7 : Schéma de liaison à la terre d'un support en bois [6]

### 2.4.3.3 Mise à la terre des supports d'angle et de traversé en ligne :

Les ferrures des supports bois encadrant la traversée (ou les supports d'angle) ainsi que les supports adjacents doivent être mis à la terre.

#### Mise à la terre des supports d'angle :

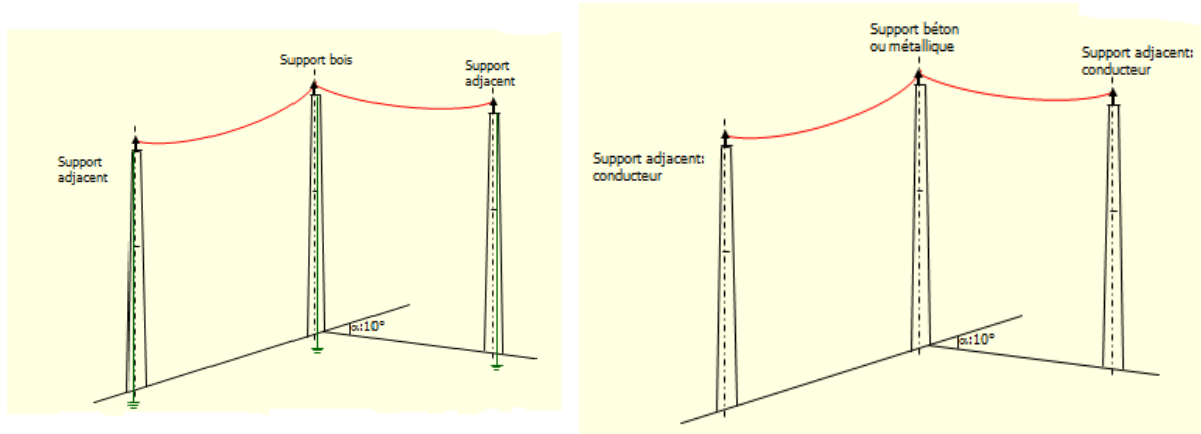


Figure.2.8 : le support d'angle [6]

#### Mise à la terre des supports de traversée :

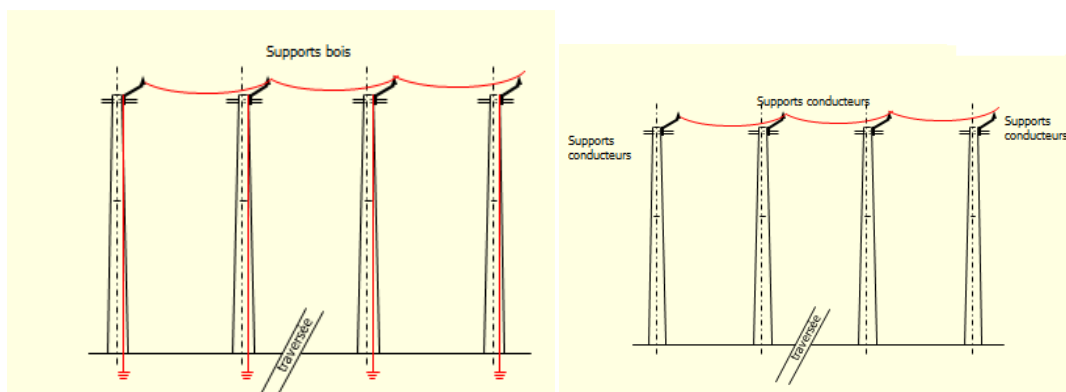


Figure.2.9 : support de traversée [6]

## 2.5 Réalisation de mise à la terre de neutre :

### 2.5.1 Réseau aérien :

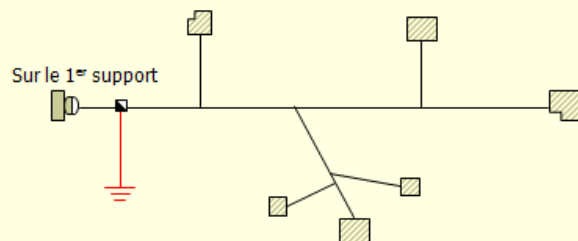
#### Emplacement des mises à la terre de neutre MT :

Elle est réalisée à la sortie des transformateurs HT/MT, par l'intermédiaire :

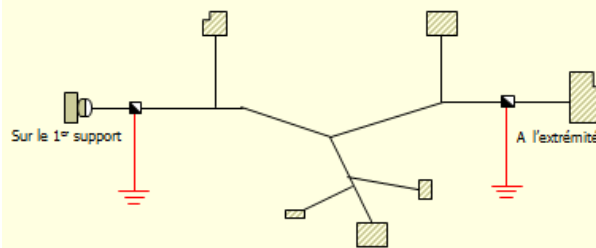
- D'une bobine de point neutre pour les réseaux souterrains, limitant ainsi l'intensité de défaut à 1000A
- D'une bobine de point neutre associée à une résistance limitant l'intensité de défaut à 300A sur les réseaux aériens ou aéro-souterrains.

### 2.5.2.1 Emplacement des mises à la terre de neutre en basse tension BT :

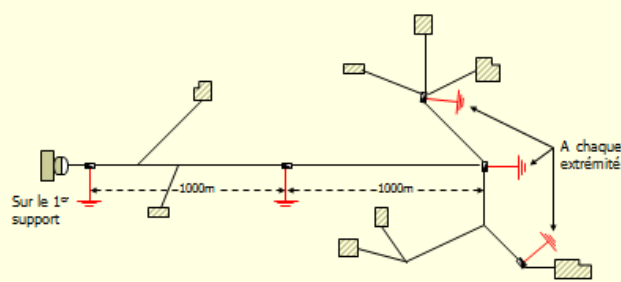
1- réseau de longueur < 300m



2- réseau de longueur entre 100 et 300m



3- réseau de longueur > 300m





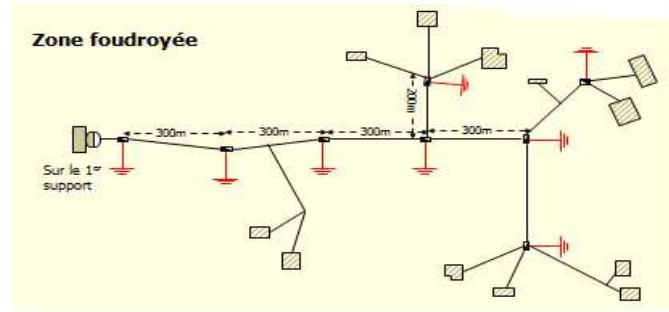


Figure.2.10 : schéma explicatif de mise à la terre de neutre dans le réseau [6]

Il doit y avoir au moins une mise à la terre à une distance min de 200m sur chaque tronçon de ligne aboutissant au point de branchement de la ligne principale.

### 2.5.2.3 Support mixte MT/BT :

Il est déconseillé d'effectuer les mises à la terre du conducteur neutre sur des supports en béton ou métalliques, Les mises à la terre seront réalisées sur des tronçons non mixtes, en particulier sur les dérivations basse tension. Dans le cas où un réseau torsadé prend naissance à partir d'un réseau classique

Réaliser une mise à la terre au niveau du support de raccordement de la torsadé faisant partie de la ligne classique, pour les supports béton le conducteur de la mise à la terre doit être relié électriquement aux armements (double isolement).

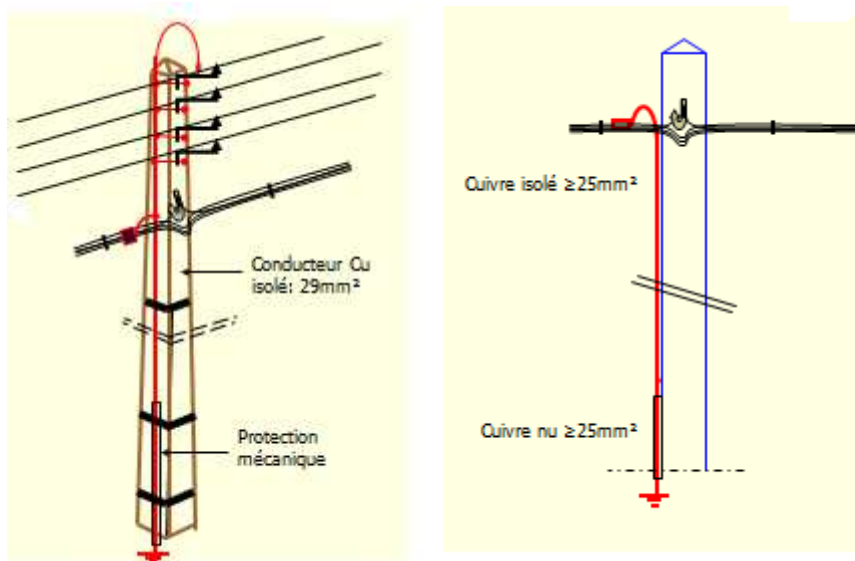


Figure2.11 : schéma de mise à la terre de neutre d'un support MT/BT [6]

**2.5.2.4 Support en bois :** Le conducteur neutre sera réuni électriquement aux ferrures supports des isolateurs

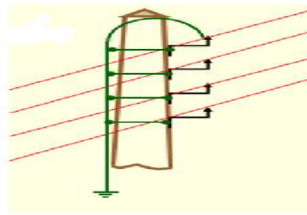


Figure.2.12 : schéma de mise à la terre de neutre d'un support en bois

### 2.5.2.5 Torsadé isolé sur façade :

Les immeubles qui sont construits avec des postes intégrés (au dessous ou à coté), récemment cette réalisation est beaucoup utilisés, la mise à la terre sera comme suit :

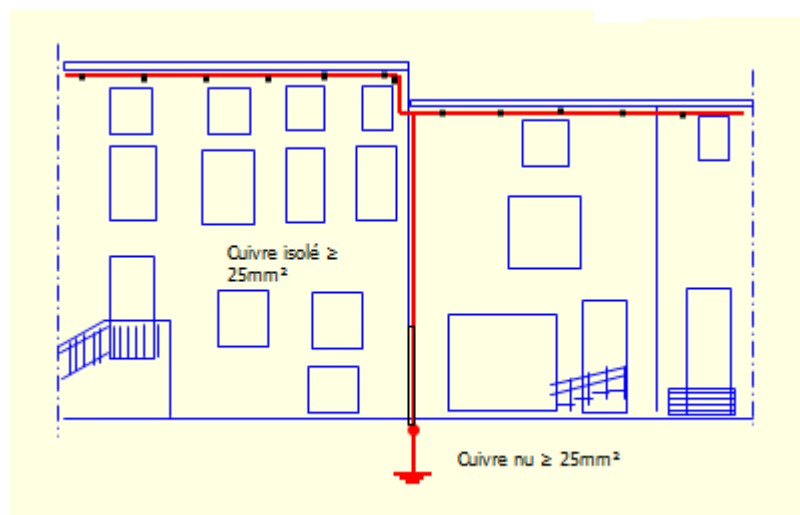


Figure.2.13 : schéma de mise à la terre de neutre sur façade [6]

### 2.5.2 Réseaux souterrains :

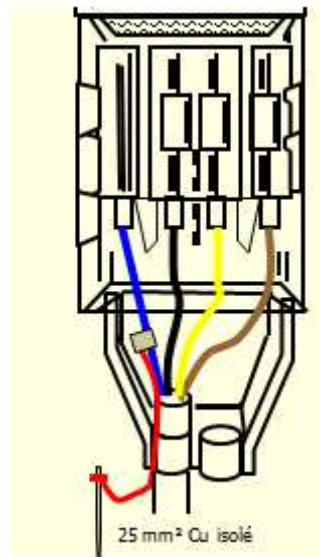


Figure.2.14 : Schéma de mise à la terre de neutre d'un boîtier de l'immeuble

### 2.6 Mise à la terre des masses I.A.C.M (interrupteur aérien à commande manuelle) :

Conçus pour les réseaux aériens de distribution de tension max. 36kV. Ils permettent d'isoler la partie du réseau en aval du défaut permanent, et d'assurer les interventions de maintenance en parfaite sécurité.

Les ferrures à relier à la prise de terre sont : Le châssis de l'appareillage et les ferrures d'ancrage de la ligne, les ferrures de fixation des renvois de tringlerie et les ferrures de fixation de boîtier de commande. Compte tenue de double isolement de la commande, le boîtier de commande (lui même) ne doit pas être raccordé au circuit de terre, il est par ailleurs inutile de relier intentionnellement la plate forme à la terre. Le conducteur de terre est constitué d'un câble nu de section de 25mm<sup>2</sup>

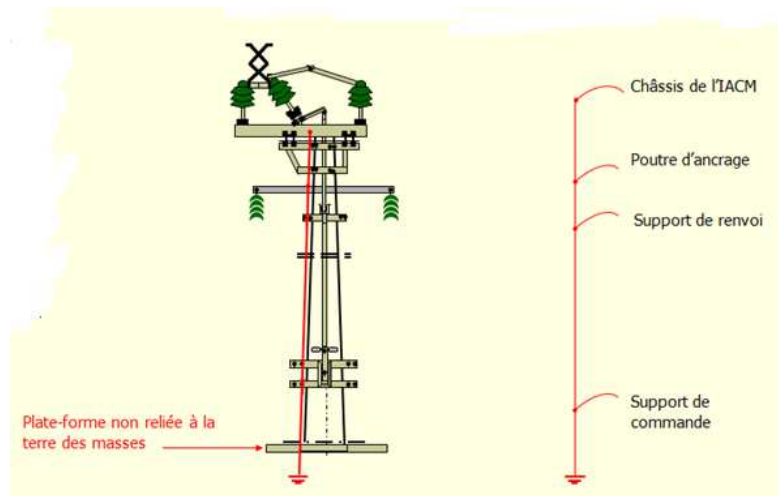


Figure.2.15 : support équipé d'un I.A.C.M

### 2.7 Mise à la terre des masses I.A.C.T (interrupteur aérien télécommandé):

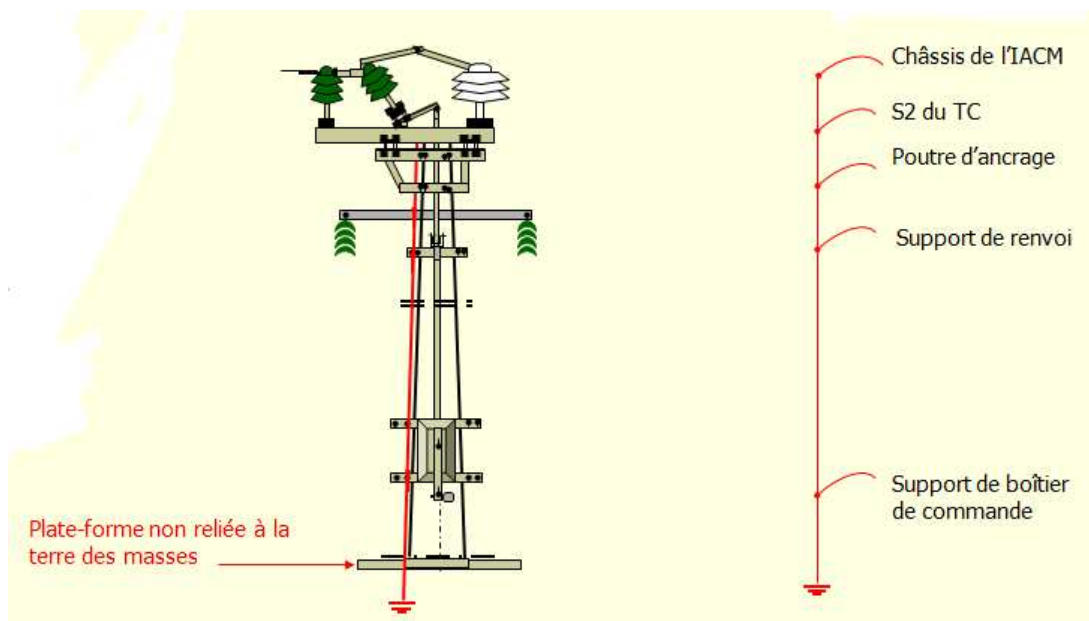


Figure.2.16 : support équipé d'un I.A.C.T [6]

Les modèles précédents sont renouveler récemment par **I.A.T.C.T** (interrupteur télécommandé à creux de tension).

## 2.8 Influence de la profondeur sur la résistance de la mise à la terre :

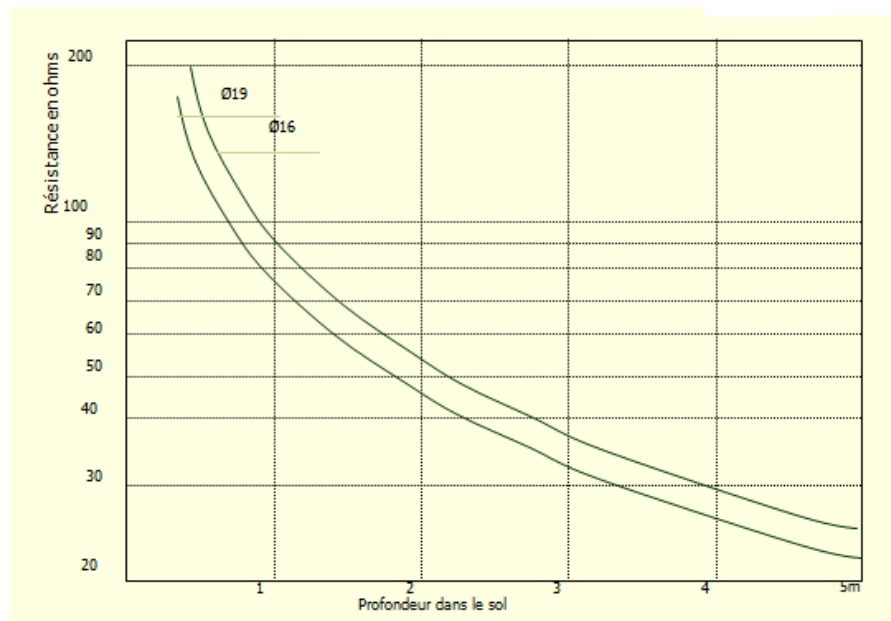


Figure.2.17 : graphe de résistance en fonction de la profondeur [6]

La résistivité des couches superficielles du terrain est influencée par la sécheresse et l'humidité jusqu'à 1 à 2 mètres de profondeur, D'où l'intérêt d'enterrer profondément les prises de terre

## 2.9 Mesure de résistance des réseaux de terre :

### 1.9.1 Méthode des trois points :

On utilise deux électrodes auxiliaire E1 et E2 associées à l'électrode de mesure E, on injecte un courant électrique I entre les électrodes E et E2 et on mesure la différence de potentiel entre E et E1, les mesures se font plusieurs fois jusqu'à ce que les mesures soient constante, elle nécessite la déconnexion de la barrette de terre avant la mesure .[8]

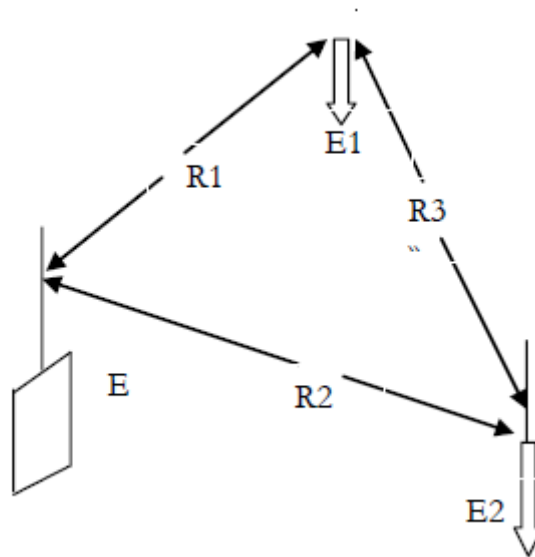


Figure.2.18 : méthode des trois points [2]

### 1.9.2 Méthodes de chute de potentiel :

C'est la méthode appliquée pour tous type de réseau, elle utilise deux électrodes auxiliaires pour l'injection de courant et la référence de potentiel 0V.

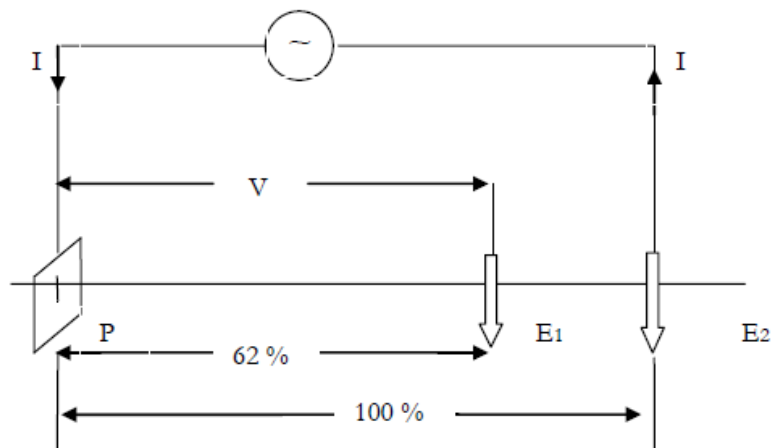


Figure.2.19 : méthode de chute de potentiel [2]

Il faut que la prise auxiliaire de référence de potentiel  $E1$  ne soit pas planter dans les zones d'influences des terres  $E$  et  $H$  (zones d'influences créées par la circulation de courant  $i$

Pour garantir la plus grande précision de mesure consiste à placer le piquet E1 à 62% sur la droite de E2.

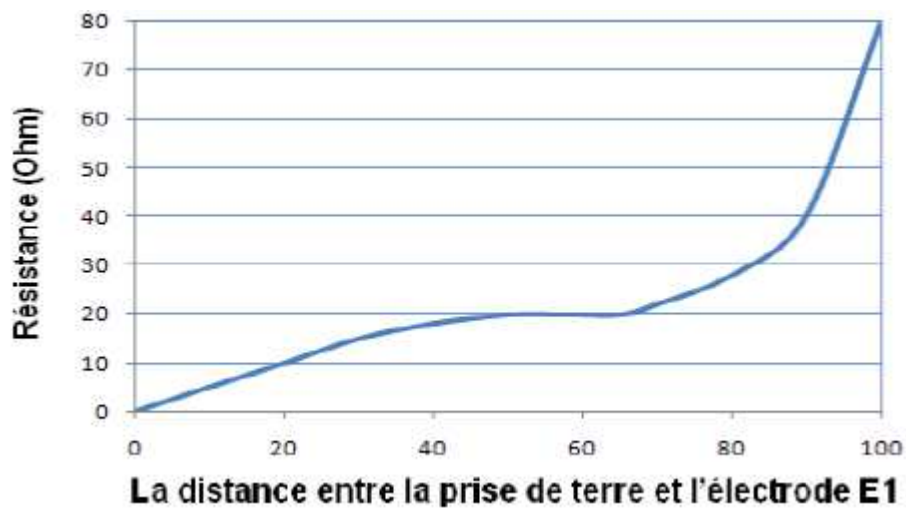


Figure.2.20: méthode de 62% [2]

## 2.10 Autres méthodes de mesure :

### 2.10.1 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 serrage 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 ».

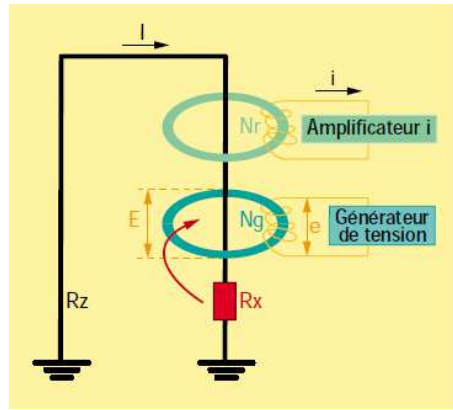


Figure.2.21 : schémas explicatif de la méthode de mesure en pince [11]

- L'enroulement « générateur » de la pince développe une tension alternative au niveau constant  $E$  autour du conducteur enserré ; un courant  $I = E / R$  circule alors à travers la boucle résistive.
- L'enroulement « récepteur » mesure ce courant.
- Connaissant  $E$  et  $I$ , on en déduit la résistance de boucle. Nous sommes dans le cas d'un réseau de terres en parallèles. Sachant que «  $n$  » résistances en parallèle équivalent à une résistance  $R_{aux}$  de valeur négligeable, on peut mesurer la valeur de la terre locale  $R_x$  :  
 $R_{\text{boucle}} = R_x + R_{aux}$  (avec  $R_{aux}$  = résistance équivalente à  $R_1 \dots R_n$  en parallèle) Comme  $R_x \gg R_{aux}$  On obtient ( $R_{\text{boucle}} = R_x$ ), La pince de terre est utilisée pour les mesures de résistance de terre :
  - au niveau des transformateurs MT/BT,
  - des lignes de télécommunication
  - et pour la continuité des boucles « fond de fouille ».

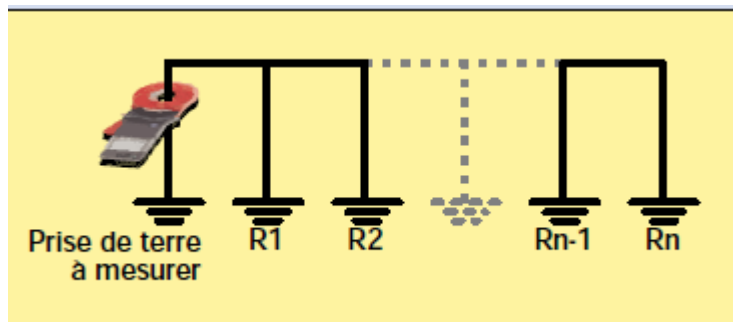


Figure.2.22 : schémas des boucles fond de fouille [11]



## 2.11 Calcul analytique de la résistance de prise de terre :

Par définition, la résistance de prise de terre est égale au rapport de son élévation de potentiel, mesurée par rapport à une référence infiniment éloignée (terre lointaine au courant qu'on y injecte). Dans ce point nous résumons une étude bibliographique, sur le calcul analytique de la résistance de prise de terre dans différents terrain (homogène et non homogène).

### 2.11.1 Terrain homogène :

Le principe de calcul pour une prise de terre dans un sol de résistivité  $\rho$ , sera toujours le même pour les terres uniques, c'est-à-dire qu'à une distance  $L$  on trace une surface ( $s$ ) de forme semblable à la surface du piquet (ou électrode de prise de terre), on calcule cette surface. Le résultat on l'intègre de  $r$  à l'infini.

#### 2.11.1.1 Résistance d'une prise de terre sphérique :

Considérant une prise de terre de forme sphérique de rayon  $r$ .

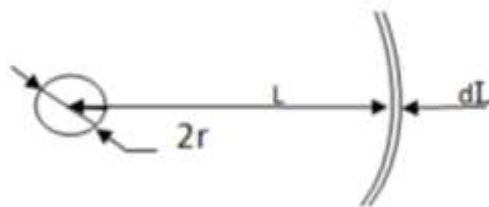


Figure 2.23 : Prise de terre de forme sphérique [7]

$R_t$  : la résistance de la prise de terre, c'est-à-dire la résistance de terre entre l'électrode sphérique de rayon  $r$  et une électrode sphérique de rayon  $\infty$ .

$$dR_t = \frac{\rho \cdot dl}{s} \quad (2.1)$$

$$dR_t = \frac{\rho \cdot dl}{4\pi L^2} \quad (2.2)$$

Soit :

$$R_t = \frac{\rho}{4\pi} \int_r^\infty \frac{dl}{L^2} \quad (2.3)$$

$$R_t = \frac{\rho}{4\pi r} \quad (2.4)$$

### 2.11.1.2 Resistance d'une prise de terre demi-sphérique :

En suivant les mêmes démarches de (2.1) on trouve la relation (2.5) qui donne la résistance de prise de terre hémisphérique de rayon r.



Figure 2.24 : Prise de terre sous forme hémisphérique [7]

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2.5)$$

### 2.11.1.3 Resistance d'une prise de terre cylindrique verticale :

Trois relations ont été développées dans la littérature pour la détermination de la résistance d'un piquet de terre vertical, de forme cylindrique.

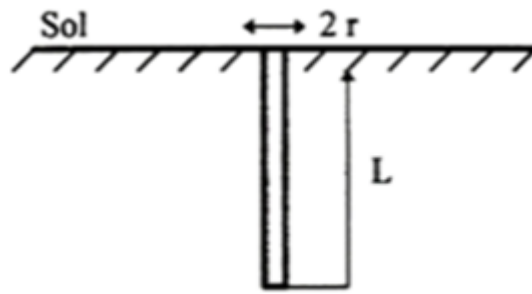


Figure 2.25: Prise de terre cylindrique verticale

a) La relation de Rudenberg :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{d} \right) \quad (2.6)$$

Avec  $\rho$  la résistivité du sol,  $l$  la longueur de l'électrode et  $d$  le diamètre de l'électrode.

b) La relation de Dwight-Sunde :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{8l}{d} - 1 \right) \quad (2.7)$$

c) La relation de Liew-Darveniza :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( \frac{r+l}{r} \right) \quad (2.8)$$

( $r$ ) étant le rayon de l'électrode.

$$R_{eq} = \frac{\rho}{2\pi R_{piquet}} \quad (2.9)$$

$R_{piquet}$  est la résistance du piquet.

### 2.11.1.4 Résistance d'une prise de terre à plusieurs cylindres en parallèle :

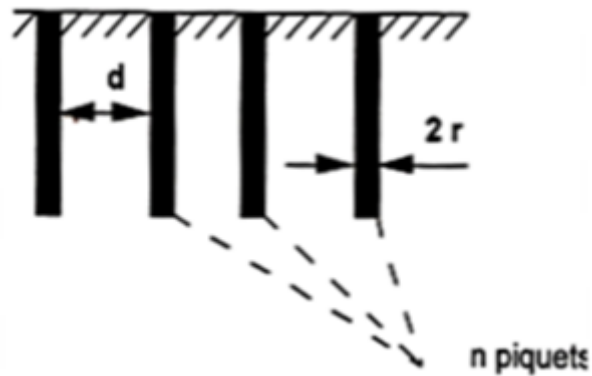


Figure 2.26: prise de terre à plusieurs cylindres en parallèle

La résistance équivalente de deux électrodes en ligne droite est donnée par la formule suivante :

$$R_2 = R \left( \frac{1+\alpha}{2} \right) \quad (2.10)$$

Avec  $\alpha = \frac{r_{eq}}{d}$

(d) étant la distance entre les électrodes.

La résistance équivalente de trois électrodes en ligne droite est donnée par la formule suivante:

$$R_{31} = R \left( \frac{2+\alpha-4\alpha^2}{6-7\alpha} \right) \quad (2.11)$$

En général, pour N électrodes en ligne droite, pour  $d > L$ , la résistance équivalente est donnée par la relation approchée suivante :

$$R \approx \frac{1}{N} \left[ \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{\pi d} \left( \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{N} \right) \right] \quad (2.12)$$

### 2.11.1.5 Resistance d'une prise de terre câble enterré horizontalement :

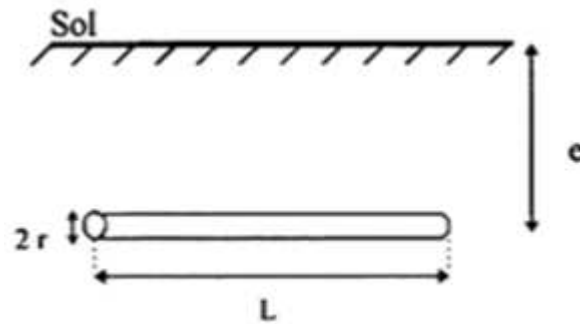


Figure.2.27 : prise de terre câble enterrée horizontalement

La résistance d'un câble de longueur L et de rayon r, enterré horizontalement à une profondeur h est donnée par :

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt{2rh}} - 1 \right) \quad (2.13)$$

Tagg a proposé une relation analytique et ses approximations qui tiennent compte de la comparaison entre la longueur du conducteur enterré et la profondeur d'enfouissement

(Avec  $L' = L/2$  et  $S = 2h$ )

$$R = \frac{\rho}{4\pi L'} \left( \ln \frac{4L'}{r} - 1 + \ln \frac{2L' \sqrt{(s^2 + 4L'^2)}}{s} + \frac{s}{2L'} - \frac{\sqrt{(s^2 + 4L'^2)}}{2L'} \right) \quad (2.14)$$

Pour des valeurs du rapport  $S/L'$  élevées, la relation devient :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L'} \left( \ln \frac{4L'}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi s} \left( 1 - \frac{L'^2}{3s^2} + \frac{2L'^4}{5s^4} \right) \quad (2.15)$$

Pour des valeurs du rapport  $S/L'$  faibles,

$$R = \frac{\rho}{2\pi L'} \left( \ln \frac{4L'}{r} + \ln \frac{4L'}{s} - 2 + \frac{s}{2L'} - 2 + \frac{s}{2L'} - \frac{s^2}{16L'^2} + \frac{s^4}{512L'^4} \right) \quad (2.16)$$

### 2.11.1.6 Resistance de prise de terre à plusieurs câbles enfouis :

Si l'on dispose de deux câbles horizontaux en parallèle, écartés d'une distance e ( $e \ll L$ ), la résistance devient :

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt{2rhe e'}} - 1 \right) \text{ avec } e' = \sqrt{e^2 - 4h^2} \quad (2.17)$$

Resistance de prise de terre de plusieurs câbles(n) rayonnant de longueur l, enfouis à la même profondeur h:



Figure2.28 : Plusieurs câbles rayonnants [9]

La résistance équivalente est donnée par la relation :

$$R = \frac{\rho}{n\pi l} \left( \ln \frac{2l}{\sqrt{2rh}} - 1 + N(n) \right) \quad (2.18)$$

avec  $N(n)$  est donné par le tableau suivant :

N	2	3	4	6	8	12	100
N	0.7	0.53	2.45	4.42	6.5	11	116

Tableau.2.1 : Coefficients  $N(n)$  pour n électrodes rayonnant [7]

### 2.11.1.7 Resistance d'un grillage (enterré ou non) :

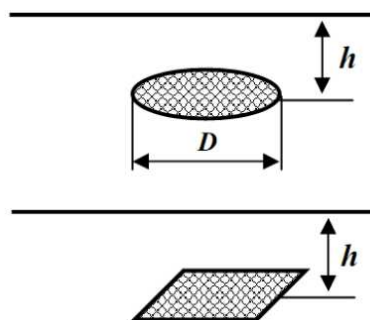


Figure.2.29: réseau maillé ou grille

$$h \ll D, R = \rho / 4D (4h/D)$$

$$h \gg D, R = \rho / 8D + \rho / 8\pi h$$

Pour évaluer la résistance d'une grille de terre combinée avec des piquets de terre ; schawartz a utiliser l'équation suivante introduite par sunde et rudenberg,

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (2.19)$$

$R_1$  : résistance de conducteur de la grille

$R_2$  : résistance des piquets de terre

$R_m$  : résistance mutuelle entre la grille et les piquets de terre

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \frac{2L_c}{a'} + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (2.20)$$

$\rho$  : la résistivité du sol

$L_c$  : la longueur totale de tous les conducteurs de la grille

$a' = \sqrt{a \cdot 2h}$  si la grille est enterrée à une profondeur  $h$

$a$  est le rayon des conducteurs de la grille

$A$  est l'aire occupée par les conducteurs

$K_1 K_2$  sont des coefficients données

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n L_c} \left[ \ln \left( \frac{4l}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 l}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (2.21)$$

$L$  est la longueur des piquets

$B$  est le rayon des piquets

$n$  est le nombre de piquets

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{l} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad (2.22)$$

### 2.11.1.8 Resistance d'une plaque carrée de côté r :

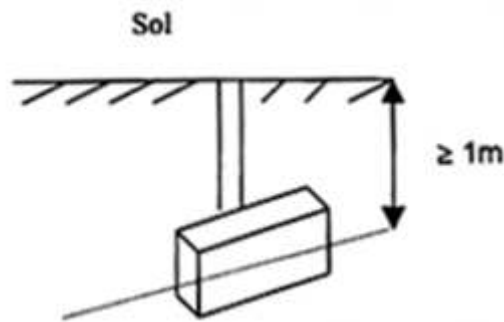


Figure.2.30 : Plaque carrée de côté r [7]

a)- En surface :

$$R = R_{0\infty} = \frac{\rho}{4\pi} \quad (2.23)$$

b)- A la profondeur e :

$$R_t = R_{e\infty} = \frac{\rho}{4(e+R)} \quad (2.24)$$

### 2.11.1.9 Electrode sur la circonférence d'un cercle :

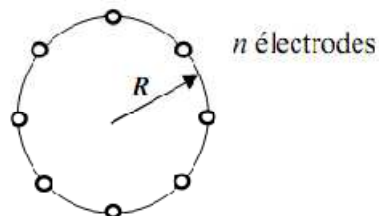


Figure.2.31 : cercle de rayon R

La résistance équivalente est donnée par la relation

$$R_{N=R} = R \left[ \frac{1 + 0.5\alpha + \alpha \sum_{s=1}^{s=(\frac{n}{2}-1)} \cos\left(\frac{s\pi}{n}\right)}{n} \right] \quad (2.25)$$

Avec  $\alpha = r/R$

Dans ce cas la relation entre deux électrodes est donnée par la relation :



$$d = 2R\sin(2\pi/R)$$

### 2.11.2 Les terres multi couches :

#### 2.11.2.1 La méthode des images :

La résistance du conducteur enfoui dans le sol  $R_d$  sera déterminée en tenant compte de la présence d'un sol à deux couches. La résistance propre du conducteur sera au début déterminée et ensuite celle de son image au dessus du sol et finalement l'effet de la deuxième couche du sol sera tenue en compte. Le modèle est illustré à la figure ci dessous.

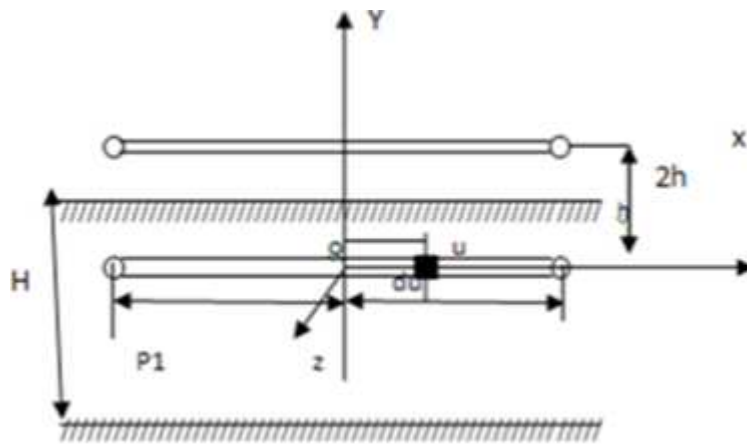


Figure.2.32 : conducteur enfouie dans le sol

Le courant est injecté au milieu du conducteur. L'élévation de potentiel engendrée par le courant injecté est représentée par  $V$ . Considérons le segment qui se trouve sur l'axe des  $x$  à :  $x = u$ , le courant  $I(u)$  est injecté au milieu du conducteur ; le potentiel en un point  $P(x,y)$  engendré par le segment «  $du$  » est :

$$v(x,y) = \frac{I_p}{2\pi} ((x-u)^2 + y^2)^{-1/2} \quad (2.26)$$

Le potentiel total engendré par le conducteur au point  $P$  est déterminé comme suit :

$$v(x,y) = \frac{I_p}{2\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{dx}{\sqrt{(x-u)^2 + y^2}} \quad (2.27)$$

La solution de l'équation ramène à l'expression suivante :

$$v(x, y) = \frac{I_p}{2\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{dx}{y^2 + \sqrt{x-u^2}} \quad (2.28)$$

Le courant de fuite est assumé constant le long du conducteur et le potentiel au milieu du conducteur est égal au double du potentiel à l'extrémité. Pour déterminer la résistance du conducteur il faut utiliser la valeur moyenne du potentiel qui peut être obtenu en évaluant l'intégral de  $V(x, y)$  entre  $-1/2$  et  $+1/2$  ensuite le divisant par  $l$ .

$$v = \frac{I_p}{2\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \ln \frac{\sqrt{\left(x+\frac{1}{2}\right)^2 + y^2 + \left(x+\frac{1}{2}\right)}}{\sqrt{\left(x-\frac{1}{2}\right)^2 + y^2 + \left(x-\frac{1}{2}\right)}} dx \quad (2.29)$$

Le potentiel à la surface du conducteur est déterminée en remplaçant  $y$  par  $a$  qui représente physiquement le rayon du conducteur dans l'équation (2.29) et en la solutionnant :

$$x - l/2 = u ; dx = du ;$$

$$\text{Pour } x = 0 \text{ alors } u = -l/2 ;$$

$$\text{Pour } x = l/2 \text{ alors } u = 0 ;$$

Après application, la tension moyenne est déterminée comme suit :

$$v = \frac{\rho l}{2\pi l} \left[ \ln \sqrt{l^2 + a^2} + l - \sqrt{l^2 + a^2} - 1/2 \ln \left[ \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + a^2} + \frac{l}{2} + a - \frac{1}{2} \ln \left[ \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + a^2} - \frac{l}{2} \right] \right] \right] \quad (2.30)$$

$$v = \frac{\rho l}{2\pi l} \left[ \ln \ln \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} + 1 \right] - \ln a - \sqrt{l^2 + a^2} + a \right] \quad (2.31)$$

La résistance du conducteur est obtenue comme suit :

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \ln \left( \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} + 1 \right) - \ln a - \sqrt{l^2 + a^2} + a \right] \quad (2.32)$$

Dans le cas où le rayon du conducteur est très petit par rapport à sa longueur l'équation (30) peut être encore plus simplifiée :

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \ln \left( \sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} + 1 \right) - \ln a - \sqrt{l^2 + a^2} + a \right] \quad (2.33)$$

La résistance de l'image du contrepois qui se trouve à une distance  $2h$  de ce dernier peut être déterminée en utilisant le même développement que la résistance du contrepois enfouie dans le sol sauf il faut remplacer  $a$  par  $2h$  :

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \left( \frac{1}{2h} \right) \left( 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{2h}{l} \right)^2} + \frac{2h}{l} - \sqrt{1 + \left( \frac{2h}{l} \right)^2} \right) \right] \quad (2.34)$$

Dans le cas où la distance  $h$  est considérée très petite par rapport à la longueur du conducteur (le conducteur est enfouie très proche de la surface du sol), la résistance de l'image sera exprimée comme suit :

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left( \frac{1}{2h} \right) \quad (2.35)$$

La résistance totale du contrepois et de son image sera déterminée par la somme des équations:

$$R_h = R_1 + R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} \left( 2 \ln 2l - \frac{1}{2} \ln 2ha - 2 \right) \quad (2.36)$$

Après les simplifications, la résistance sera exprimée comme suit :

$$R_h = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \frac{2l}{\sqrt{2ha}} - 1 \right) \quad (2.37)$$

Cette équation est applicable dans le cas où le sol est homogène, dans le cas d'un sol à deux couches cette valeur doit être modifiée pour refléter la contribution d'un nombre infini d'image de part et d'autre part interface entre les deux milieux de résistivité différente. Cette contribution est exprimée par un terme additionnel représenté comme suit :

$$R_3 = \frac{\rho_1}{2\pi l} \sum_{n=1}^{\infty} \Gamma^n \left[ 4 \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{2nH-h^2}{l}}}{\frac{2nH}{l}} + \frac{8nH}{l} - 4 \sqrt{\frac{2nH}{l}} + 1 \right] \quad (2.38)$$

$\Gamma$  : le coefficient de réflexion  $\Gamma = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$

**2.12 Conclusion :**

La mise à la terre dans les réseaux électriques paraît être simple, cependant elle n'a cessé de présenter des difficultés, la conception et l'installation du système de mise à la terre doivent être réalisées par un spécialiste en électricité ou en protection, la mise à la terre d'une installation électrique consiste à relier les masses ou le neutre de celle-ci à une prise de terre par l'intermédiaire d'un ou plusieurs conducteurs de terre. La conception de réseau de terre doit permettre d'assurer le maintien de la sécurité des personnes, et un potentiel de référence. On a présenté dans ce chapitre les différentes mises à la terre réalisées à la SDC (société de distribution du centre). L'analyse analytique nous a permis de connaître et de découvrir autres modèles de prise de terre qui sont rarement utilisés ailleurs et nullement utilisés à la ville de Bouira.



# Chapitre03

### 3.1 Introduction :

La mesure de la résistance d'une mise à la terre une fois réalisée est une opération nécessaire en vue de s'assurer de la bonne exécution et de l'absence du risque d'un éventuel danger du à un choc électrique ou la détérioration du matériel sur des défauts électriques. Dans ce présent chapitre on présente en premier lieu quelques définitions ensuite la méthode de mesure de terre pour différents postes (aérien et maçonné), rappelant que la les technicien de la réalisation n'accèdent pas à la mesure de résistivité avant la réalisation de pris de terre comme ils faisait auparavant , à la fin on conclut des mesures et des résultats sachant que notre travail de prise de mesures a été fait sur les différentes localité de la ville de Bouira connu de son terrain agricole classé (terrain normale). A partir de ces résultats nous allons proposer des solutions pour une mise à la terre adéquate pour les cas concrets.

### 3.2 Terminologie :

#### 3.2.1 Les postes HT/BT (postes de distribution) :

Les postes de distribution sont situés dans le voisinage de groupe d'abonnés, ils abaissent la tension à une valeur appropriée aux appareils domestiques et industriels.

#### 3.2.2 Les réseaux BT :

Les réseaux basse tension ont pour rôle de mettre l'énergie électrique à la disposition des abonnées, ils sont constitués de lignes triphasées à quatre fils, c'est le réseau qui nous est en principe familier.

Les réseaux BT permettent de distribuer au consommateur une tension simple de 220V (branchement 2 fils « 1phase + neutre ») ou une tension composée de 380V (branchement 4 fils « 3phases + neutre »), en utilisant deux réseaux :

##### 3.2.2.1 Réseau BT aérien :

Ce type de réseau est destiné à la desserte des habitations individuelles ou des lotissements émergents, il est utilisé couramment dans les zones rurales.

##### 3.2.2.2 Réseau BT souterrain :

Le réseau souterrain consiste à alimenter en énergie électrique les immeubles collectifs généralement les zones urbaines, la desserte au départ commence à partir du poste MT / BT

jusqu'au coffret du bloc de l'immeuble et se poursuit pour constituer une boucle avec les autres coffrets.

### 3.2.2.3 Les postes ruraux (sur poteau):

C'est le plus simple, utilisé en réseau aérien, apparu dans les années 50, son principe de conception est de considérer qu'il fait partie intégrante de la ligne, sur le même poteau sont supportés l'arrivée MT (du type à simple dérivation sans organe de coupure), un transformateur apparent et une sortie BT avec un disjoncteur BT en milieu de poteau, ce disjoncteur a un rôle de protection universel contre les surintensités, ce type de poste, simple et peu coûteux, il a permis dans le passé l'électrification rapide des écarts ruraux grâce à la grande souplesse de distribution des charges.

Si  $S \leq 160$  kVA, ces postes sont réalisés sur poteaux ACC avec un disjoncteur BT, au delà de 160 kVA, ils sont réalisés en « Cabine haute » avec un sectionneur MT et disjoncteur ou interrupteur BT.

### 3.2.2.4 Les postes urbains (Cabines basses) :

Soit en élévation, en immeuble ou souterrain jusqu'à 1000 kVA, ces postes sont équipés d'interrupteur MT et BT et de fusibles sur les départs BT et ne comportent pas de disjoncteur BT.

## 3.3 Mesure des mises à la terre des postes MT/BT du réseau de distribution des différentes localités de la wilaya de Bouira :

Le réseau de distribution de la ville de Bouira compte le niveau de tension suivant :  $50 < U < \text{ou}$  égale à 1000 v.

Les valeurs maximales des résistances de mise à la terre selon les niveaux de tension sont récapitulées dans le tableau suivant :

Désignation	Terrain normal	Terrain difficile	Périodicité
*Poste THT	1Ω		1ans
*Postes MT/BT			

-terre éclateurs	30 Ω	--	5ans
-terre parafoudre	60 Ω	--	5ans
-terre des masses	30 Ω	60 Ω	5ans
-terre du neutre "aérien"	05 Ω	20 Ω	(Terre unique 5ans .....
-terre du neutre "souterrain"	02 Ω	05 Ω	Terre multiple 10 ans)
*postes MT1/MT2			
-terre des masses	30 Ω	30 Ω	
*réseau aérien MT			
-I.A.C.M/I.A.C.T	60 Ω	120 Ω	05ans
-armements/support métallique	150 Ω	150 Ω	
*réseau souterrain MT			
-terres interconnectées	03 Ω	05 Ω	05 ans
*terre des usagers	50 Ω	--	
*poste sur poteau			
_terre éclateurs	30 Ω	60 Ω	05 ans
-terre des masses	30 Ω	60 Ω	05ans
-terre du neutre	05 Ω	20 Ω	05ans

Tableau.3.1 : valeurs et périodicité des contrôles des prises de terre [7]



La résistance d'un réseau de terre varie avec les saisons, nous avons effectué une campagne de mesure (en plein saison sèche 2017 de juin à septembre).

### **3.4 Mesure pratique de mise à la terre :**

Le calcul pratique de prise à la terre exige des sorties des agents technicien de district de distribution d'électricité de la wilaya de Bouira aux différents postes de distribution de basse tension soit des postes sur poteau ou en cabine pour faire des mesures, l'utilité de présence de l'appareil de mesure "telluromètre", cet appareil qui a beaucoup faciliter la tache des mesures grâce à sa capacité de donner des résultats le plus simple possible .

#### **3.4.1 Mesure de terre par telluromètre :**

Un telluromètre ou tellurohmètre, est un instrument de mesure électrique permettant de mesurer la résistivité du sol ainsi que la résistance des prises de terre. Instrument numérique contrôlé par microprocesseur, développé pour réaliser des mesurages de résistance de terre et de résistivité des sols (en utilisant la méthode Wenner). C'est un équipement complètement automatique et très facile à utiliser. Avant de commencer une mesure, l'équipement contrôle si les conditions de l'installation se trouvent dans les limites appropriées.

#### **3.4.2 Historique :**

En France, les décrets du 4 août 1935 instaurent l'obligation de réunir les carcasses métalliques des machines électriques à la terre pour les tensions supérieures à 150 volts. Ceci conduit à la nécessité de mesurer convenablement la valeur de la résistance des terres. Le telluromètre (ou ohmmètre de terre ou contrôleur de terre) est l'appareil de mesure dédié à cette utilisation.[5]

#### **3.4.3 Applications et mesures :**

La mesure de la résistance des prises de terre permet essentiellement de déterminer si une installation électrique est correcte du point de vue des normes relatives à la sécurité des personnes : écoulement des charges dues à un défaut ou à un choc de foudre. Elle permet également de valider la bonne équipotentialité du réseau et de concevoir cette prise de terre, le type et la dimension de l'électrode de terre dépendent de la résistivité du sol et de la valeur de la résistance de terre à obtenir.

La « boucle d'impédance » ou boucle de terre d'une installation électrique, dépend du schéma de liaison à la terre. La mesure de la résistance de cette boucle d'impédance est un autre moyen de mesurer la résistance de la prise de terre. Cette méthode peut être utilisée dans les locaux d'habitation où il est exclu de pouvoir planter des piquets de terre. Lors de la mesure on utilise le conducteur de phase et la terre (conducteur PE) de l'installation. Le circuit électrique ne doit pas être interrompu lors de la mesure. Cette mesure est en général réalisée grâce à un telluromètre équipé de pince de terre ou par une pince de terre-telluromètre indépendante.

Cet instrument est idéal pour mesurer les systèmes de mise à la terre dans les sous-stations, industries, réseaux de distribution d'énergie, etc. conformément à la norme **IEC 61557-5**. Il est également utile pour le mesurage de la résistivité spécifique du sol, dans l'objet d'optimiser les projets de systèmes de mise à la terre

#### **3.4.4 Accessoires :**

- 4 javelots auxiliaires en acier cuivré (50 cm)
- Source d'alimentation 95 ... 240 V Chargeur de batterie
- Câble de communication USB
- Bobine avec câble de 40 m (couleur rouge)
- Bobine avec câble de 20 m (couleur bleue)
- Bobine avec câble de 20 m (couleur verte)
- Câble court 5 m (couleur noire)
- Câble court 5 m (couleur verte) pour la connexion à électrode inconnue
- Poche d'accessoires 5 kg

#### **3.4.5 Caractéristiques techniques :**

Ces appareils sont soit à magnéto, soit à pile pour les plus récents. L'appareil fournit un courant de mesure, alternatif, de fréquence comprise entre 85 et 250 hertz. Cette fréquence est souvent égale à 128 Hz pour éviter d'être perturbé par des parasites issus du réseau.

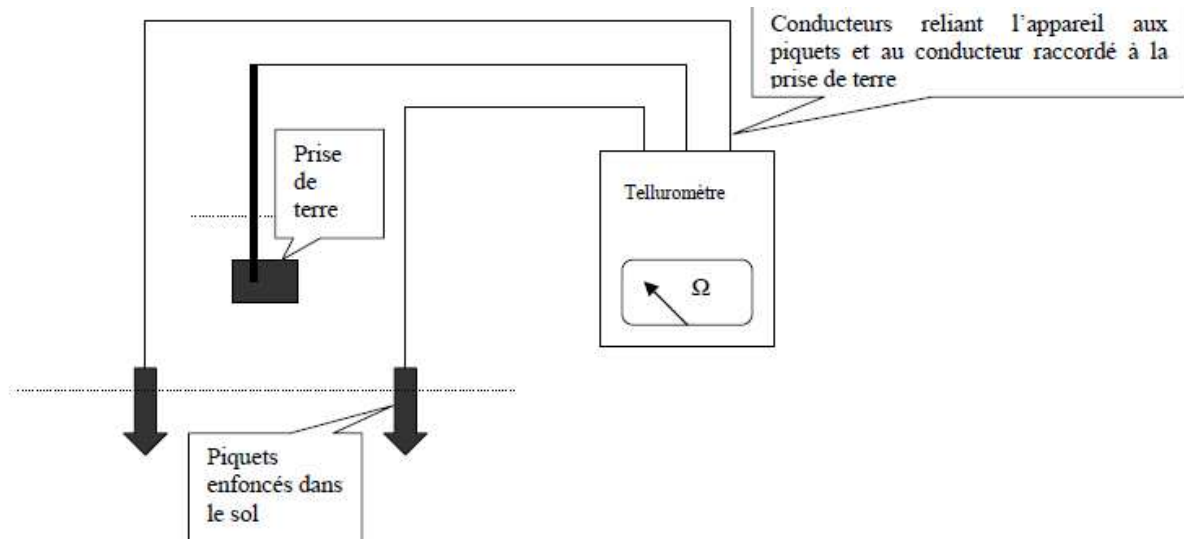


Figure.3.1 : schéma de raccordement de telluromètre [11]

Pour réaliser la mesure, il faut former un triangle équilatéral entre la prise de terre et deux petits piquets que l'on enfonce dans le sol. Suivant les appareils les cotés du triangle peuvent avoir une distance comprise entre 10 et 20 mètres.

### 3.4.6 Précautions :

Avant toute mesure, il faut ouvrir la barrette de mesure (ou borne principale de terre) se trouvant sur le conducteur principal de terre. Refermer cette barrette immédiatement après la mesure. Prendre en compte que durant la durée de la mesure, le circuit de mise à la terre est interrompu par l'ouverture de la barrette de terre, et de ce fait la protection des personnes n'est plus assurée.

### 3.4.7 La méthode de mesure :

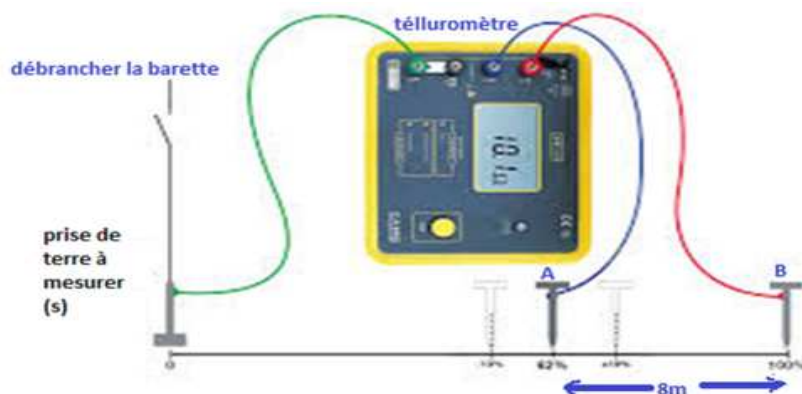


Figure.3.2 : schéma fréquemment utilisé pour la mesure de terre[12]



Figure.3.3 : une vue sur l'appareil de mesure de prise de terre

Cette méthode nécessite l'emploi de deux 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 (s), est déterminante. Pour effectuer une bonne mesure.

Des statistiques de terrain ont montré que la méthode idéale pour garantir la plus grande précision de mesure consiste à placer le piquet (A) à 62 % de (S) sur la droite AB. 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. Pour que la mesure soit correcte, il convient d'espacer le piquet B de la terre à mesurer d'au moins 25 mètres.

- L'alimentation de la mesure se fait 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.

Méthode explicatif de mesure de terre dans un poste électrique de distribution BT :

Lors de la mesure de prise de terre dans un poste cabine un branchement de telluromètre à la prise de terre réunit la prise de terre des masses à la grille de terre suivant le schéma si dessous :

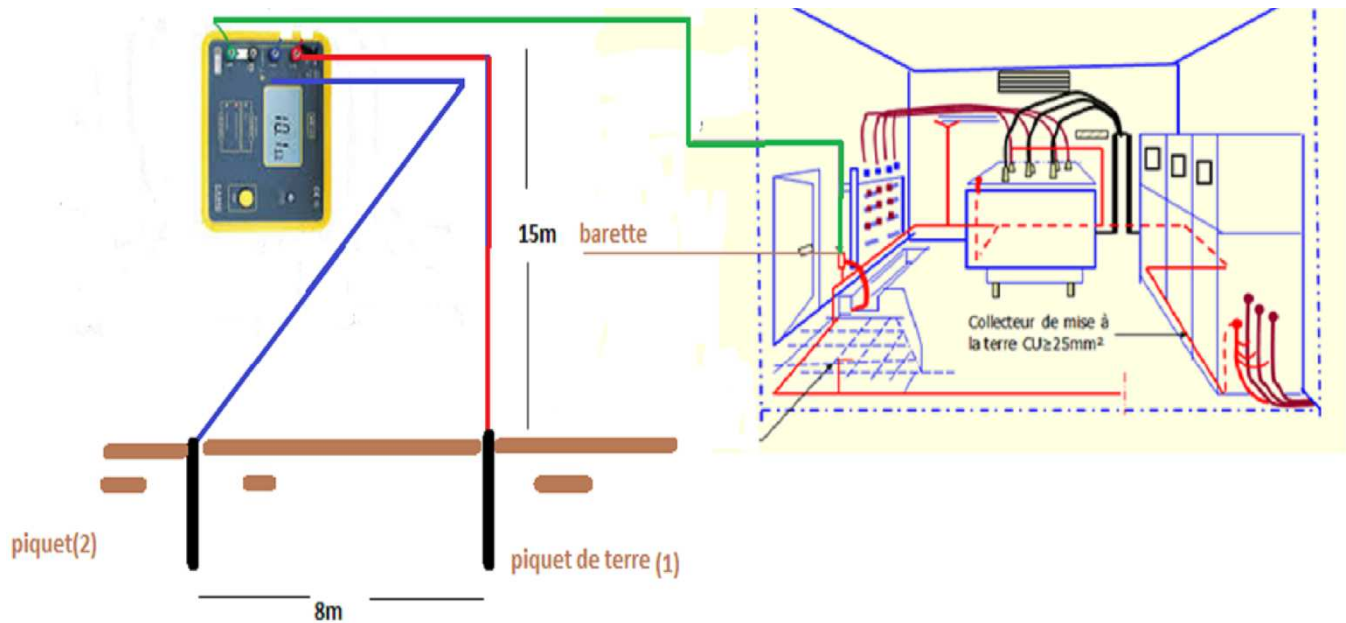


Figure.3.4: schéma explicatif de mesure de terre d'un poste de transformation

### 3.5 Résultats des mesures :

Les mesures des résistances ont été effectuées avec le mesureur de terre qui fait usage de la méthode de chute de potentiel présentée au deuxième chapitre.

Les résultats détaillés sont présentés dans le tableau si dessous :

Date de prise de mesure de terre	Différentes mesure de terre							observations
	N °poste	Type de poste	Localité	Puissance	Neutre	Masse	Eclateurs	
15/08/2017	179	maçonné	101lots Ouled bellil	100	10.91	14.16	00	Mauvaises valeurs Conducteur terre éclateur usé
	550	Sur poteau	17 habit hadjout	160	∞	7.96	19.29	Mauvaises valeurs de prise de terre
16/08/2017	136	Sur poteau	Cité zaroukiII	250	45	9.29	28	Mauvaises valeurs
	283	Sur poteau	Ouled bouchia	250	∞	4.08	36	Mauvaises valeurs de prise de terre
21/08/2017	264	Sur poteau	DNEsi lakhdar1	160	∞	60	174	Mauvaises valeurs de prise de terre
	248	Sur poteau	212lots Ouled bouchia	160	∞	3.24	∞	Mauvaises valeurs
22/08/2017	414	Maçonné	212lots ouled bouchia	160	9.79	0.73	00	Mauvaise valeurs
	639	Sur ppoteau	Ouled bellil3	160	13.20	8.22	101.2	Mauvaises valeurs
23/08/2017	211	Sur poteau	Chaabt brahim1	160	6.48	20	45.3	Mauvaises valeurs
	214	Maçonné	Taghzout	400	10.16	46.03	00	Mauvaises valeurs
24/08/2017	215	Sur poteau	Inesmane Taghzout	160	4.60	43.8	17.40	Mauvaises valeurs de prise de terre
	305	Sur poteau	Maadhi	160	28.46	13.36	89.7	Mauvaises valeurs de prise de terre
27/08/2017	413	Sur poteau	Ouled balham	160	166	31.5	48.4	Mauvaises valeurs de prise de terre
	779	Maçonné	60 lots lsp taghzout	250	70.6	22.6	00	Mauvaises valeurs de prise de terre

28/08/2017	643	Sur poteau	Tighoufaline Tafarka	100	19.3	7.9	30.1	Mauvaises valeurs de prise de terre
29/08/2017	874	Sur poteau	Inesmane taghzout	160	13	13.32	36.6	Mauvaises valeurs de prise de terre
01/09/2017	207		DEB zone 1	400	20.5	8.65		Bonnes valeurs
	100		C.E.G Bouira	250	03	8.64		Bonnes valeurs
	182		Cité 280 LOGTS	400	1.80	5.93		Bonnes valeurs

Tableau.3.2 : différentes valeurs des différentes prises de terre mesurées sur différents postes

**N.B : les résultats de mesure peuvent être influencée par :**

L'appareil de mesure peut être pas fiable car il fait usage de la méthode des trois points.

Le schéma de mise à la terre ne respecte pas la distance recommandée (1m au lieu d'une distance supérieure à la longueur de l'électrode.

**3.6 Discussion des résultats de mesure :**

Les premières mesures des différents postes de mois d'aout révèlent de très mauvais résultats

On compare les valeurs obtenues aux valeurs décrites sur le tableau précédent 3.1:

Les prises de terre observées de mauvaises valeurs devront à la réfection pour ne pas provoquer de danger sur les personnes et les équipements, en suivant plusieurs méthodes.

**3.7 Amélioration d'une résistance de mise à la terre :**

De nombreuses solutions existent mais il nous faudra choisir celles qui minimisent le cout des installations, nous allons citer les différents moyens d'évaluation.

**3.7.1 Augmentation de nombres de piquet de terre :**

On peut améliorer la résistance d'une mise à la terre on augmentant le nombre de piquet de terre de façon de mettre en série avec l'ancien piquet, avec l'ajout d'un câble en cuivre de distance de 1m et un piquet de section de 25mm<sup>2</sup>. Il est nécessaire de prévoir leurs améliorations. Dans ce cas une nouvelle terre sera réalisée dans une tranchée indépendante ou par piquet, de préférence dans les endroits les plus humides, cette dernière sera reliée à la terre existante.

L'ancienne et la nouvelle terre seront en parallèle (la valeur de la terre résultante sera alors inférieurs à la plus petite des deux valeurs de terre).

### **3.7.2 Augmentation de diamètre de piquet de terre :**

La résistance de prise de terre diminue avec l'utilisation d'un piquet de diamètre important parfois on renforce avec une plaque en cuivre (base carré) dont on enfouie le piquet.

### **3.7.3 Géométrie de piquet :**

Nous savons que c'est la surface extérieure de piquet joue le rôle de la valeur de la résistance de mise à la terre. Et pour des raisons de cout on vise toujours la forme de piquet la plus simple pour la mise en œuvre.

### **3.7.4 Traitement du sol :**

Comme évoqué précédemment que la résistivité du sol dépend de plusieurs facteurs (l'humidité, la température...etc), on peut la réduire avec le traitement du charbon en bois ou le sel (tend à perdre ses caractéristique dans le temps), prenant en considération la nature de piquet à utiliser pour éviter les risques de corrosion, c'est pour cela qu'il faut éviter des solution tendant à la réduction des performances de prise de terre.

## **3.8 Valeurs et périodicité des contrôles :**

### **3.8.1 Vérification des circuits de terre :**

#### **3.8.1.1 La construction :**

Les vérifications à réaliser portent sur :

- La mesure de la résistance de toutes les prises de terre (postes, supports de lignes aériennes...etc) des réseaux de distribution.
- La vérification de la continuité des circuits de terre et les liaisons équipotentielles par une mesure électrique dans tous les cas.

### **Tous les 5ans :**

- vérification de la résistance des prises de terre ponctuelles :
  - ❖ prise de terre des masses des postes de distribution publique alimentés en aérien.



- ❖ prise de terre du neutre d'un réseau aérien de 1ère catégorie lorsqu'elle est unique.
- Vérification de la continuité des circuits de terre et des liaisons équipotentielles dans les postes de distribution publique alimentés en aérien. Cette vérification peut être faite par un examen visuel lorsque les circuits sont réalisés en fils nus situés hors du sol, sinon elle doit l'être par une mesure électrique.

**Tous les 10 ans :**

Vérification de la résistance :

- des prises de terre des masses des appareils (conducteurs - IACM...etc).
- des prises de terre multiples du neutre des réseaux aériens de 1ère catégorie.
- des supports métalliques des lignes MT et éventuellement des lignes BT.
- vérification de la continuité des circuits de terre et des liaisons équipotentielles, dans tous les postes non visés par la périodicité de 5 ans.
- postes abaisseurs 3ème/2ème catégorie.
- postes distribution publique alimentés par un réseau souterrain ;

Cette vérification peut être faite par un examen visuel lorsque les circuits sont réalisés en fils nus situés hors du sol, sinon elle doit l'être par une mesure électrique.

L'opération de vérification de terres ne doit pas être un enregistrement des valeurs mesurées sans aucune suite, mais il doit y avoir un examen critique des valeurs successives enregistrées par une même terre.

Cet examen comporte un suivi qui peut déboucher sur l'amélioration de certaines prises de terre. Rappelons que l'obligation est faite aux exploitants de tenir à jour le registre des terres conformément à la réglementation en vigueur.

**3.9 Conclusion :**

La mesure de la résistance d'une prise de terre est une opération simple, comportant pour les opérateurs des risques d'autant moins évidents que les circuits de terre sont généralement considérés comme des conducteurs électriquement inertes alors qu'ils peuvent, ainsi que les terrains environnants, être le siège d'élévation de potentiel dangereuses en cas de

fonctionnement d'éclateurs (par surtension atmosphérique ou présence d'un corps étranger entre les cornes) ou défauts d'isolement par exemple.

En conséquence il y a lieu de prendre lors des mesures un certain nombre de dispositions générales de prévention précisées. L'opérateur devra toujours être muni de gants isolants MT utiliser un tapis isolant et porter des lunettes anti U.V, pour toute intervention sur les circuits de terre d'un ouvrage en service et aucune mesure ne sera effectuée par temps d'orage ainsi ne jamais toucher simultanément deux circuits de terre connectés a des prises de terre différentes ainsi que l'extrémité libre d'un conducteur déjà connectée à une prise de terre, sans avoir mis les gants isolants et être monté sur un tapis isolants. Si à l'occasion d'une mesure de terre, une tension supérieure à 20volts est constatée, cela traduit une anomalie sur le réseau, la mesure devra être différée jusqu'à réparation de l'anomalie.

---

## Conclusion générale et perspectives

---

### Conclusion générale

Le concept de mise à la terre implique plusieurs domaines de recherches, on conclut que le fonctionnement des équipements électriques dépend surtout de la manière dont certains dispositifs sont mis à la terre et des valeurs des paramètres de mise à la terre dont la résistance est le paramètre le plus important dans l'analyse de mise à la terre pour assurer la sécurité des personnes et des installations électriques, la valeur de la résistance dépend de la nature du sol.

Plusieurs études sont faites dans ce domaine depuis des années pour réduire la complexité de calcul étant donné que la résistance de mise à la terre doit être faible, et compte tenu des valeurs des résistances obtenues à la ville de Bouira avec l'utilisation de l'appareil de mesure (telluromètre) qui facilite beaucoup la tâche, les moyens pour réduire cette résistance à moindre coût sont proposés, les méthodes les plus utilisées par la SDC (société de distribution de centre Bouira) est l'ajout de piquet, utilisation d'une couche de faible résistivité autour de piquet de terre (avec cette technique le taux de réduction est honorable).

Les difficultés d'atteindre des valeurs assez faibles des résistances de mise à la terre nous amènent aux recommandations suivantes pour les mises à la terre de la ville de Bouira :

- ✓ Aux planificateurs des réseaux électriques d'améliorer les mises à la terre pour toutes les installations électriques en basse tension.
- ✓ Interdire l'usage de sel pour améliorer la résistivité car celui-ci perd son efficacité avec le temps et cause la corrosion aux piquets.
- ✓ Le suivi et les contrôles périodiques de mise à la terre et l'amélioration des valeurs hors normes.
- ✓ Créer un organe qui a pour tâche de vérifier les mises à la terre et attribuer aux personnes compétentes la conception, l'installation, la mesure et la réparation des prises de terre.

Enfin l'Algérie doit aller plus loin en ce qui concerne les systèmes de mises à la terre et leur donner une importance particulière en vue de leur importance surtout en premier lieu la protection des personnes. Les systèmes de mise à la terre à la wilaya de la ville de Bouira présentaient de simple circuit de terre mais considérés efficaces (moins d'accidents marqués durant l'année).

---

## Conclusion générale et perspectives

---

Ce travail ouvre des perspectives intéressantes à la continuité de ce sujet de recherche parmi ses perspectives, aboutir à développer les réseaux de mise à la terre avec création des cellules de suivies, créativité d'avoir la conscience de danger électrique, nous mène à réaliser des prises de terre dans tout les domiciles et ce qui est presque absent.



## Références bibliographiques

---

- [1] *Jean pierre Nzuru Nsekere, contribution à l'analyse et à la réalisation des mises à la terre des installations électriques dans les régions tropicales*2009
- [2] *Zidane Zin Abidine/modélisation et simulation des prises de terre dans les systèmes électriques, université Ferhat Abbas* 2012
- [3] *George Semaan/évaluation de l'effet de la mer et du contre poids sur le profil de la tension d'un système de mise à la terre d'une ligne de transport d'énergie à haute tension ,école de technologie supérieure ,université de quebec,septembre2011*
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre>.
- [5] [www.electricite-comme-un-pro.com/les-liaisons-equipotentiellees-la-securite-en-inter](http://www.electricite-comme-un-pro.com/les-liaisons-equipotentiellees-la-securite-en-inter).
- [6] *Direction de la distribution du centre, ouvrage de la conception et la réalisation des mises à la terre*
- [7] *Flazi Samir, faculté des sciences et de la technologie, université d'Oran, quatrième conférence international sur le génie électrique 'CIGE' 10,03-04novembre2010, université de Béchar Algérie*
- [8] *B.lacroix,R.calvas,Les schémas de liaisons à la terre dans le monde et évolutions ,cahier technique n°173*
- [9] *Ressources formatives, électricien de maintenance des systèmes automatisés n°02182*
- [10] *Tahar Rouibah, contribution à la modélisation et à la simulation des prises de terre des installations électriques*
- [11] [www.Chauvin\\_arnoux.com](http://www.Chauvin_arnoux.com)

## ملخص

تهتم هذه المذكرة بدراسة أنظمة الربط بالأرض التي يتم استخدامها لحماية المنشآت و المعدات الكهربائية ضد التوترات العالية وحماية الإنسان من الدرجة الأولى وتعرفنا على مختلف المعدات التي يتم حمايتها في شبكة التوزيع (الأعمدة الكهربائية و المحطات الفرعية الكهربائية) وطريقة توصيلها بالأرض و شروط التوصيل اللازمة للحصول على حماية فعالة و لمعرفة مدى فعاليتها يقوم اختصاصي الشركة الكهربائية بالتحقق من صلاحيتها باستعمال جهاز قياس مقاومة الربط الأرضي (تيلورومتر) وبعد الحصول على القياسات نقوم بوضع الحلول اللازمة (في حالة قياسات غير مقبولة)

### Abstractt :

This thesis is for the study and the modeling of grounding systems. These systems are used to protect the electrical installations and equipments against the overvoltage, and to protect the human being life from the first class, and we have seen different systems that have been protected in the delivery system (electrical columns, the single electrical stations)and the way they connect it by the ground, the main connecting conditions to get an effective safety, For knowing its effectiveness, some specialists of electricity company try to check its validity by using a tool of measuring resistance connecting ground, called (tellurometer) and after getting the hole measuring we try to put the main solutions in the case of an unacceptable measuring.

### Résumé:

Ce mémoire s'intéresse à l'étude des Systems de mise à la terre qui sont utilisées pour protéger des équipements et des installions électriques contre les surintensités et protéger les personnes en premier lieu on fait connaissance des différents systèmes qui sont protégés dan les réseaux de distribution (pylône, poste Electricque), et les différentes méthode de les mettre à la terre, les conditions nécessaire pour avoir une protection efficace, et pour être sure de cette dernière, des techniciens des sociétés électrique effectuent des mesure de résistance avec l'appareil de mesure appelée (telluromètre), après avoir des résultats, on accède à l'amélioration de la prise de terre s'il y a de mauvaises mesures.