

Mesures de mise à la terre

document
remis par



Mise à la terre - principe, mesures, techniques, applications

SOMMAIRE

Pourquoi effectuer une mise à la terre ?	11
Prises de mise à la terre	2
Systèmes de mise à la terre	4
Résistances de terre, méthode de mesure à 4 pôles	5
Résistivité	6
Mesures sélectives par pince ampèremétrique	8
Mesures sur pylônes haute tension	9
Mesures sans piquet de terre	10
Méthode 2 pôles	10
Impédance de terre	11
Mesure des résistances de terre au niveau du raccordement principal	12
Mesure de la résistance de terre des installations industrielles	14
Mesure de terre des systèmes de protection contre la foudre	15
Détermination du coefficient de couplage	16
Appareils de mesure de mise à la terre	17

LEM Instruments

Palmersstrasse 2

A-2351 Wr. Neudorf

Tél. : +43/22 36/691-0

Fax : +43/22 36/691 415

email: ln@lem.com

<http://www.lem.com>

Document n° A 99415 F

Imprimé en Autriche



ourquoi effectuer une mise à la terre?

Il y a de nombreuses raisons d'effectuer une mise à la terre, la principale étant de protéger les personnes. En France, les directives de mise à la terre destinées à assurer la protection des personnes émanent de l'Union Technique de l'Electricité (UTE).

Une bonne mise à la terre assure non seulement la sécurité des personnes mais aussi la protection des équipements et des installations. Un système de mise à la terre efficace permet d'accroître la fiabilité des équipements et de réduire le risque de détérioration en cas de foudre ou de courant de défaut.

Principe de mise à la terre

L'UTE, par exemple, définit la mise à la terre comme "une connexion conductrice intentionnelle ou non intentionnelle entre un circuit électrique ou un équipement doté d'une terre et un corps conducteur servant de terre." En principe, il faut faire une distinction entre mise à la terre du système et protection par mise à la terre. Mis à part une liaison qui empêche les différences de potentiel en cas de foudre, ces deux systèmes de mise à la terre sont séparées. Les prises de terre servent essentiellement à assurer la protection des personnes, des installations et des équipements. Elles constituent en outre un moyen de dérivation efficace des courants de défaut, des coups de foudre, des décharges électrostatiques, des perturbations électromagnétiques (EMI) et des interférences haute fréquence (RFI). La mise à la terre d'un système se fait en établissant de manière volontaire une connexion entre la ligne d'alimentation secteur (en général la ligne neutre) et une électrode placée dans le sol. Cette protection a pour objectif d'assurer à l'utilisateur une mise à la terre garantissant toute sécurité à l'intérieur de l'installation.

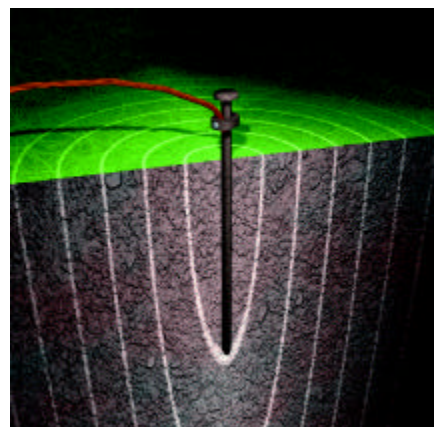
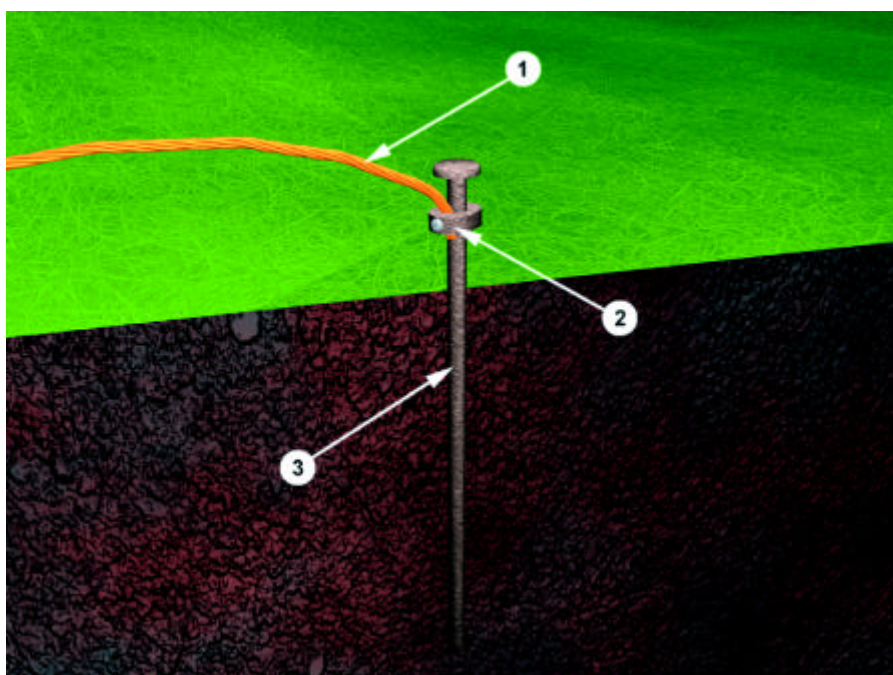
Résistances de terre

On ne sait toujours pas exactement ce qui fait qu'une prise de terre est bonne ni quelle est la résistance qu'elle devrait avoir. L'idéal serait qu'elle ait zéro ohm. Selon l'UTE, par exemple, il faut ajouter une prise de terre supplémentaire lorsque l'on a une prise de terre individuelle (piquet, tube ou plaque) qui ne descend pas en dessous de 25 ohms. En procédant de la sorte, on répond aux exigences de l'UTE, mais cela ne signifie pas pour autant que la résistance va descendre en dessous de 25 ohms. Les exigences sont souvent très différentes : DIN VDE, par exemple, impose moins de 10 ohms, les sociétés de télécommunication recommandent 5 ohms voire moins. Il faut s'efforcer d'obtenir une résistance de terre qui soit à la fois la plus basse possible et en même temps la plus raisonnable au niveau du coût.

Prises de mise à la terre

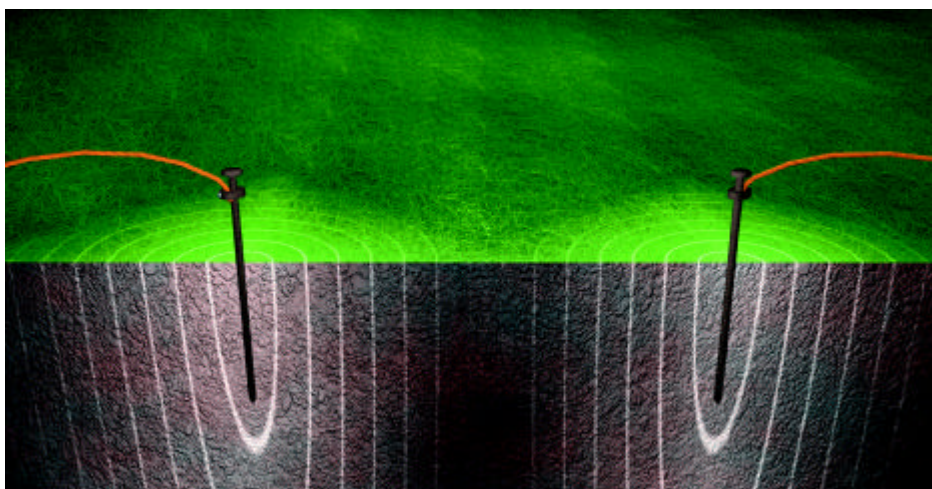
Les prises de mise à la terre se composent des trois éléments suivants :

- ① Conducteur de terre
- ② Contact entre le conducteur de terre et l'électrode.
- ③ Electrode (piquet de terre, prise de terre profondément enterrée).



La résistance de diffusion d'une prise de mise à la terre se compose de trois éléments :

- A) Résistance de la prise de terre et des bornes.
- B) Résistance de contact entre l'électrode et le terrain environnant.
- C) Résistance du milieu géologique.



Utilisation de plusieurs prises de terre - influence réciproque

A) La résistance de la prise de terre et de la ligne de raccordement est en général très faible. Les piquets de terre sont fabriqués avec un matériau ayant une conductivité élevée et une faible impédance.

B) La plupart du temps, la résistance de contact entre l'électrode et la terre est négligeable, à condition que l'électrode ne soit pas peinte, recouverte de graisse ou autres et qu'elle assure un bon contact avec le sol.

C) La résistance du terrain environnant : l'électrode de mise à la terre est entourée de couches de terre concentriques de même épaisseur et formant des cônes. Les cônes qui sont les plus proches de l'électrode ont la surface la plus réduite et donc la résistance la plus grande. Plus l'on s'éloigne, plus la surface du cône est importante et plus sa résistance est faible. Ce phénomène persiste jusqu'à ce que les derniers cônes ne présentent plus qu'une résistance très faible par rapport à la terre qui entoure l'électrode. NEC exige, par ex., que l'électrode ait au moins 2,5 m de long et soit en contact avec la terre. Il y a 3 paramètres qui interviennent au niveau de la résistance de terre :

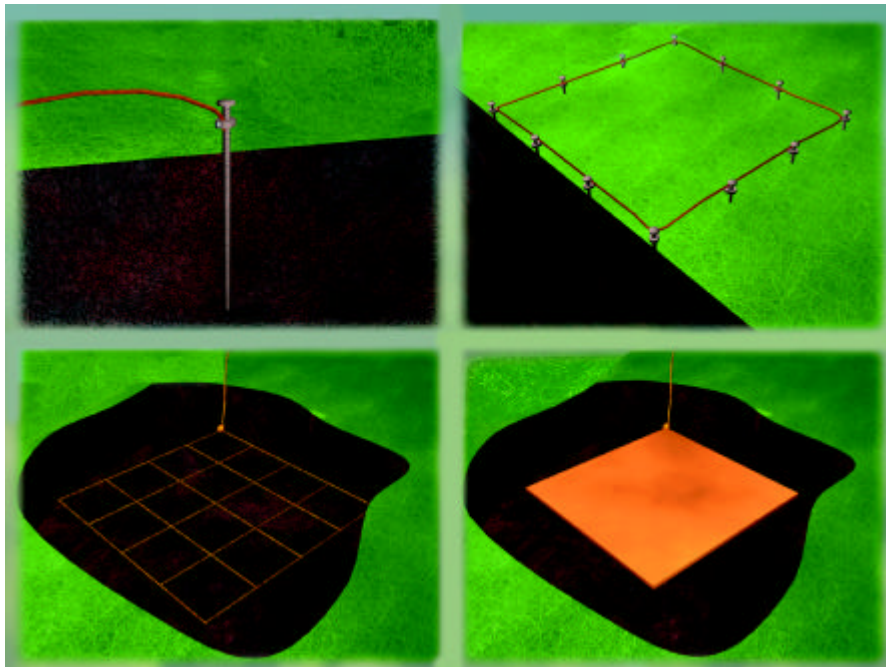
- 1) Le type de sol.
- 2) La longueur de l'électrode et sa pénétration dans le sol.
- 3) Le diamètre de l'électrode.

L'augmentation du diamètre de l'électrode de mise à la terre n'entraîne qu'une réduction minime de la résistance et doubler le diamètre de la prise de terre ne permet pas de réduire la résistance de plus de 10%. Pour réduire la résistance de terre, il existe une méthode très efficace qui consiste à enfoncer davantage l'électrode dans le sol. Le sol se présentant sous forme de strates (couches géologiques), la résistance varie sensiblement d'une strate à l'autre en fonction de la profondeur. Le manque d'homogénéité du sol rend la résistance difficile à prévoir. Par ailleurs, lorsque l'on place les électrodes de mise à la terre, il est extrêmement important de les faire descendre en dessous de la limite de gel pour éviter que la résistance de terre n'augmente sensiblement lorsque le sol environnant gèle. En doublant la longueur de l'électrode, on obtient en général une diminution de la résistance de 40%. Il est parfois impossible de faire pénétrer les électrodes plus profondément, lorsque le sol est constitué de roches ou de granit, par exemple. Il faut alors trouver une autre solution, comme l'utilisation du béton conducteur(?), par exemple.

Lors de la mise en place de prises de terre, le tableau de la page 5 peut être utile pour déterminer le type de mise à la terre approprié. N'oubliez pas qu'il ne s'agit que d'approximations. Le sol est constitué de strates et donc rarement homogène. C'est la raison pour laquelle on peut rencontrer des variations considérables.

La meilleure méthode pour réduire la résistance consiste à utiliser plusieurs prises de terre que l'on place dans le sol et que l'on branche en parallèle. Chaque prise de terre est entourée d'un champ de potentiel. Pour que les autres prises de terre puissent être efficaces, il faut que la distance qui les sépare soit au moins égale à la profondeur de pénétration. Si cette distance est insuffisante, les champs s'influencent mutuellement et il n'y a pratiquement pas d'amélioration de la résistance de terre.

Systèmes de mise à la terre



Il y a deux types de systèmes de mise à la terre : les systèmes simples et les systèmes complexes. Les systèmes simples sont constitués de prises de terre individuelles enfoncées dans le sol. Les terres individuelles représentent le type de mise à la terre le plus utilisé. C'est celui que vous pouvez voir à l'extérieur de votre maison ou de votre lieu de travail.

Les systèmes complexes se composent de prises de terre multiples reliées entre elles, de systèmes maillés ou de réseaux de grilles, de plaques de métal et de boucles enterrées. En général, ces systèmes sont utilisés pour les installations de production et pour les établissements importants.

Mesures - Résistivité du sol

Pourquoi faut-il mesurer la résistivité du sol ?

Lorsque l'on projette d'installer un poste de distribution, on a recours à cette mesure pour trouver le site qui devrait permettre d'avoir la résistance de terre la plus faible. Une fois l'emplacement choisi, cette mesure apporte les données qui permettent de réaliser un dispositif de mise à la terre et d'obtenir la résistance de terre requise. Les facteurs qui jouent un rôle au niveau de la résistivité sont nombreux : la composition du sol est l'un d'entre eux. Le terrain est rarement homogène et la résistance dépend des données géologiques et de la profondeur.

L'humidité ainsi que la teneur en eau du terrain constituent aussi des facteurs importants. L'humidité du sol varie en fonction des saisons et dépend de la nature des couches présentes dans le sous-sol ainsi que de la nappe phréatique. Le tableau montre les différents types de sol et le rôle que joue l'humidité au niveau de la conductivité. La résistance de terre étant fortement affectée par l'humidité et l'humidité étant omniprésente, nous pouvons admettre que la résistance de terre diminue lorsque la température s'élève et vice-versa.

Résistance de terre

La résistance de terre dépend essentiellement du type de sol, de l'humidité et de la température. Elle varie donc en fonction des saisons qui influent sur la température et la teneur en eau du sol. Pour être efficace, un système de mise à la terre doit assurer une résistance de terre qui reste faible même lorsque les conditions sont les plus défavorables.

Le terrain et l'eau étant plus stables dans les couches profondes, il est conseillé d'enfoncer la prise de terre le plus profondément possible (c'est-à-dire en dessous du niveau de la nappe phréatique). ans la mesure du possible, il faut placer les prises de terre dans une zone où la température est constante, par exemple dans une zone hors gel.

Attention : la présence d'eau et de sels dans les sols ayant une impédance très faible est souvent à l'origine d'une importante corrosion au niveau des prises de terre et de leurs bornes. Dans ce cas, il est vivement recommandé de faire vérifier l'installation de mise à la terre au moins une fois par an. La résistance pouvant varier en cours d'année de 20%, en fonction des saisons et du vieillissement, il faut contrôler périodiquement les résistances de terre et prendre les mesures correctives qui s'imposent.

Résistance des sols

Type de sol	Résistivité du sol ρ $\Omega \text{ m}$	Résistance de terre (Ω)					
		piquet de terre, m de profondeur			bande de mise à la terre, m de long		
		3	6	10	5	10	20
humus, tourbe, marécage	30	10	5	3	12	6	3
sol arable, marne, argile	100	33	17	10	40	20	10
terre argileuse	150	50	25	15	60	30	15
terrain sabl. humide	300	66	33	20	80	40	20
terrain sabl. sec	1000	330	165	100	400	200	100
béton 1 : 5	400	-	-	-	160	80	40
gravier humide	500	160	80	48	200	100	50
gravier sec	1000	330	165	100	400	200	100
sol pierreux	30,000	1000	500	300	1200	600	300
roche, granit	10^7	-	-	-	-	-	-

Mesure de la résistivité du sol - méthode de mesure à 4 pôles

On travaille selon la méthode dite "de Wenner". Cette méthode, qui est universellement reconnue, a été développée en 1915 par Frank Wenner, du US Bureau of Standards. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity ; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, 478-496 ; 1915/16). La formule est la suivante:

$$\rho = 2 \pi A R$$

où: ρ = résistivité en $\Omega \text{ m}$

π = constante 3.1416

A = distance entre les sondes en m

R = résistance affichée sur l'appareil de mesure de terre

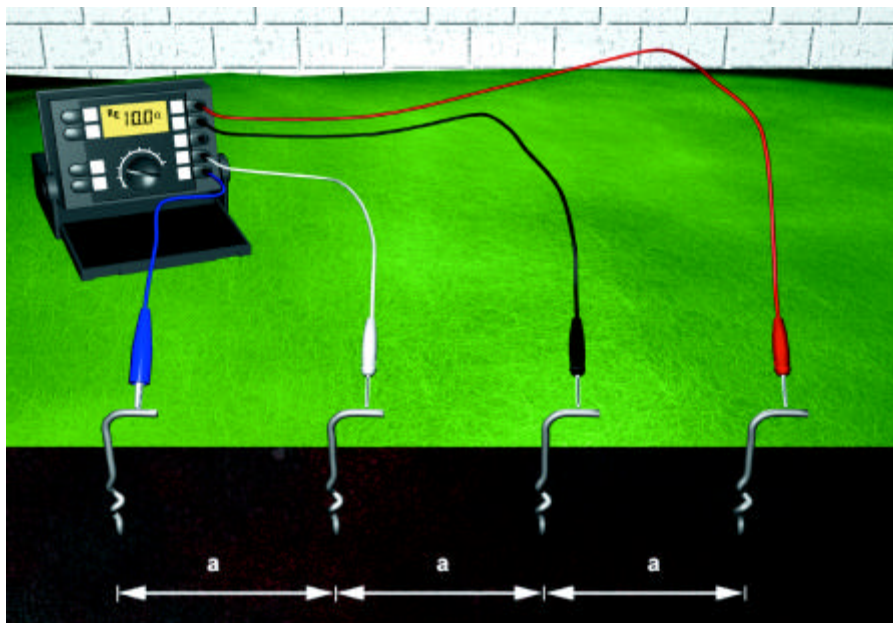
Exemple : pour le système de mise à la terre, on utilise des prises de terre pénétrant à 3 m de profondeur. Pour déterminer la résistivité du sol à une profondeur de 3 m, il faut placer les 4 sondes à une distance de 4 m les unes des autres. Ainsi la profondeur correspondante à la valeur de résistivité mesurée est égale 3/4 de A soit 3 mètres ($= 3/4 \times 4$) de profondeur pour cet exemple. Il faut que les 4 sondes pénètrent dans le sol à une profondeur égale à A/20 (0,15 m).

Effectuez une mesure de terre à l'aide du **SATURN GEO**, de l'**UNILAP GEO** ou de l'**UNILAP GEOX** et relevez la valeur en Ω . Lorsque l'affichage atteint 100 Ω , la résistivité d'un mètre cube de terre est la suivante : $\rho = 2 \times \pi \times 3 \times 100$, $\rho = 1885 \Omega \text{ m}$

Comme on peut le constater sur le tableau, la résistivité peut varier d'un facteur allant jusqu'à 50.

Résistivité

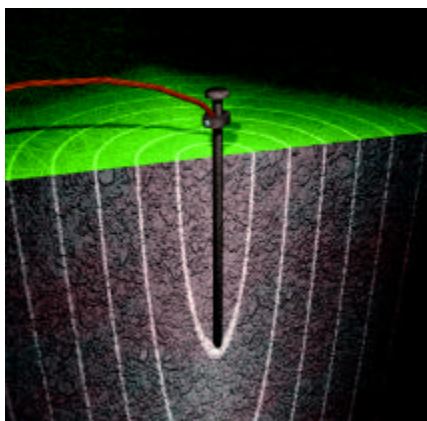
Pour mesurer la résistivité, il faut raccorder l'appareil de mesure de terre comme il est indiqué sur le schéma ci-dessous:



On dispose les 4 sondes en ligne, en les espaçant de manière équidistante, selon un intervalle qui dépend de la profondeur à tester. Les sondes ne doivent pas être enfoncées de plus de 1/3 de la distance qui les sépare. Le **SATURN GEO**, l'**UNILAP GEO** ou l'**UNILAP GEOX** injectent un courant constant entre les deux piquets extrêmes et mesurent, entre les deux piquets intérieurs, la chute de potentiel due à la résistance de terre. Ces appareils affichent ensuite la résistance en ohms. Les mesures sont souvent faussées par la présence d'éléments métalliques dans le sol. C'est pourquoi il est recommandé de renouveler les mesures en faisant pivoter l'axe des 4 sondes de 90°. On peut alors faire varier la profondeur et la distance entre les sondes afin d'obtenir des profils permettant de choisir le type de prise de terre le mieux adapté. Les mesures de résistance de terre sont souvent perturbées voire empêchées par des courants de défaut circulant dans la terre et leurs harmoniques. Pour éviter ce problème, le **SATURN GEO**, l'**UNILAP GEO** ou l'**UNILAP GEOX** possèdent une fonction AFC (Automatic Frequency Control) qui permet de sélectionner automatiquement la fréquence de mesure pour s'affranchir des fréquences parasites. Cette fonction permet d'obtenir des résultats précis et reproductibles.

Mise en place des piquets de terre

Pour obtenir le maximum de précision avec la méthode de mesure à 3 pôles, il faut impérativement placer la sonde de tension (S) à l'écart de la zone d'influence des prises de terre et des prises auxiliaires sur lesquelles porte la mesure.



Si l'on ne parvient pas à rester à l'écart du cône de tension, les champs entourant les prises de terre s'influencent mutuellement, ce qui fausse les mesures.

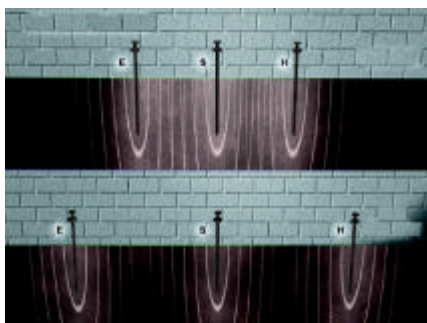


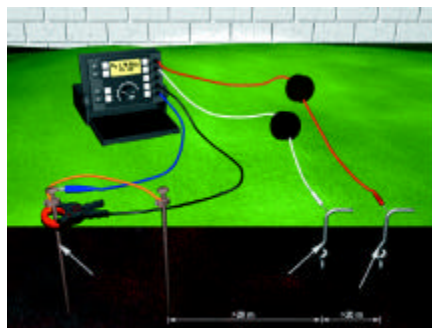
Tableau permettant la mise en place de la sonde et de la prise de terre auxiliaire.

Distance approximatives des sondes (méthode des 62%)		
Profondeur de la prise de terre C1/E à mesurer	Distance de la sonde de tension P2/S	Distance de la terre auxiliaire C2/H
2	15	25
3	20	30
6	25	40
10	30	50

Pour contrôler la fiabilité des résultats de mesure et pour s'assurer que l'on est en dehors de la zone d'influence de la prise de terre, on déplace la sonde de tension S de 1 m environ dans toutes les directions et on renouvelle la mesure. Lorsque toutes les mesures donnent approximativement le même résultat, cela signifie que la distance entre les sondes est suffisante. Tant que les variations sont trop importantes (> 30%), il faut augmenter la distance entre la prise de terre que l'on mesure et les sondes S et H jusqu'à ce que les valeurs mesurées soient pratiquement identiques.

Méthode de mesure à 3 pôles

On fait appel à la méthode de mesure courant / tension à 3 pôles pour déterminer la conductivité des terres individuelles, des systèmes maillés, des terres de fondation et autres systèmes de mise à la terre.



On se sert d'un voltmètre pour mesurer la différence de potentiel entre E(X) et S(Y) et d'un ampèremètre pour mesurer le courant entre les piquets de terre E(X) et H(Z). Ces deux fonctions sont intégrées aux mesureurs de terre LEM NORMA. Conformément à la loi d'Ohm, on calcule R à l'aide de la formule suivante :

$$R = U / I$$

Connectez l'appareil de mesure de résistance de terre conformément au schéma. Appuyez sur la touche START, vous pouvez alors effectuer une lecture directe de la résistance de la prise de terre mesurée. Si cette terre est branchée en parallèle ou en série par rapport à d'autres terres, vous obtiendrez la résistance de terre (résistance de terre globale) équivalente de toutes les mises à la terre.

Il est fréquent que la mise en place d'une terre individuelle ne permette pas d'obtenir une résistance de terre suffisamment faible. C'est souvent le cas au niveau des postes de distribution qui nécessitent une résistance de la prise de terre des masses de 1 ohms. Dans ce cas, les recommandations fournies précédemment ne seront plus suffisantes pour que la terre auxiliaire soit à l'extérieur du champ entourant la prise de terre. Il faut alors veiller à disposer, soit en ligne droite soit en diagonale, d'une distance maximale par rapport au champ de la prise de terre. La distance par rapport à la première sonde (S) doit être deux fois plus importante. Le schéma ci-dessous montre que, souvent, les courants parasites ou leurs ondes harmoniques présents dans le sol perturbent ou empêchent la mise en place des sondes de mesure. Le SATURN GEO, l'UNILAP GEO ou l'UNILAP GEOX disposent d'une fonction AFC (Automatic Frequency Control) qui permet de sélectionner automatiquement la fréquence de mesure pour s'affranchir des fréquences parasites. Cette fonction permet d'obtenir des résultats de mesure précis et reproductibles.



Mesures d'une résistance de terre sur des installations existantes

Mesures sélectives par pince ampèremétrique

IL N'EST PLUS NECESSAIRE DE DECONNECTER LA RESISTANCE DE TERRE A MESURER!

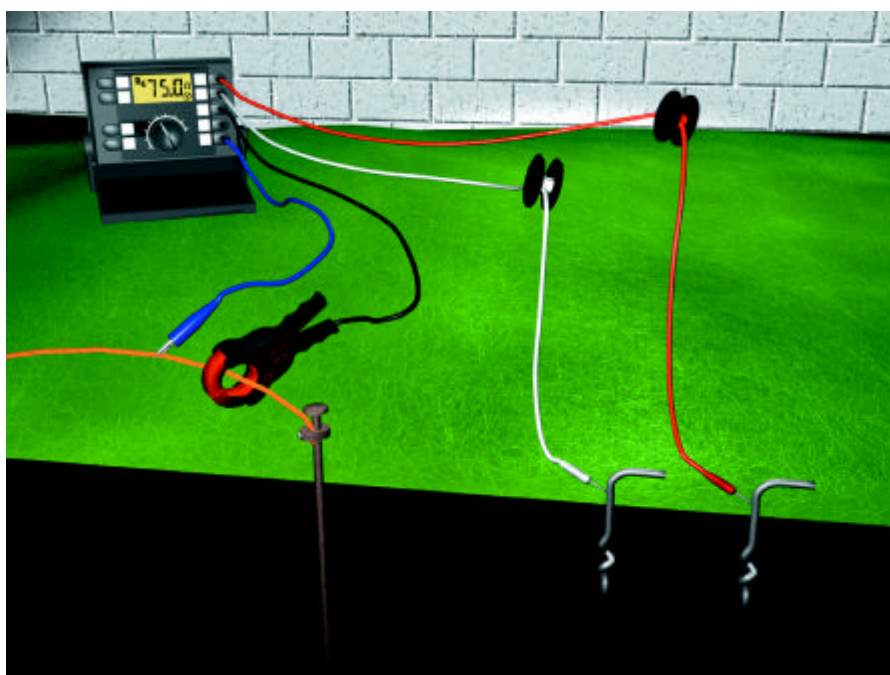
Cette méthode unique a été développée par LEM NORMA. Elle permet de mesurer la résistance des prises de terre individuelles sur des systèmes complexes comportant des systèmes maillés ou de réseaux de grilles tels que ceux qui sont utilisés pour les postes de distribution publique, pour les pylônes des lignes à haute tension comportant des câbles de garde et pour les installations industrielles à terres multiples.

Diagonale du réseau maillé de mise à la terre [m]	Distance de la sonde de tension P2/S [m]	Distance de la terre auxiliaire C2/H [m]
20	30	50
25	50	80
30	70	100
50	100	170
70	130	200

En utilisant une pince ampèremétrique spécialement conçue pour mesurer le courant qui traverse une prise de terre individuelle, on parvient à éliminer l'influence des prises de terre parallèles. Un procédé spécial d'analyse qui utilise un filtrage numérique des perturbations permet d'obtenir une précision extrême. Que les installations de mise à la terre soient simples ou complexes, on applique, pour placer les sondes, les mêmes règles que dans la méthode standard de courant / tension à 3 pôles.

Il n'est pas nécessaire de déconnecter la prise de terre que l'on veut mesurer.

Connectez l'**UNILAP GEOX** conformément au schéma. Appuyez sur la touche **START**, vous pouvez alors effectuer une lecture directe de la résistance de terre sélective sur l'appareil de mesure.

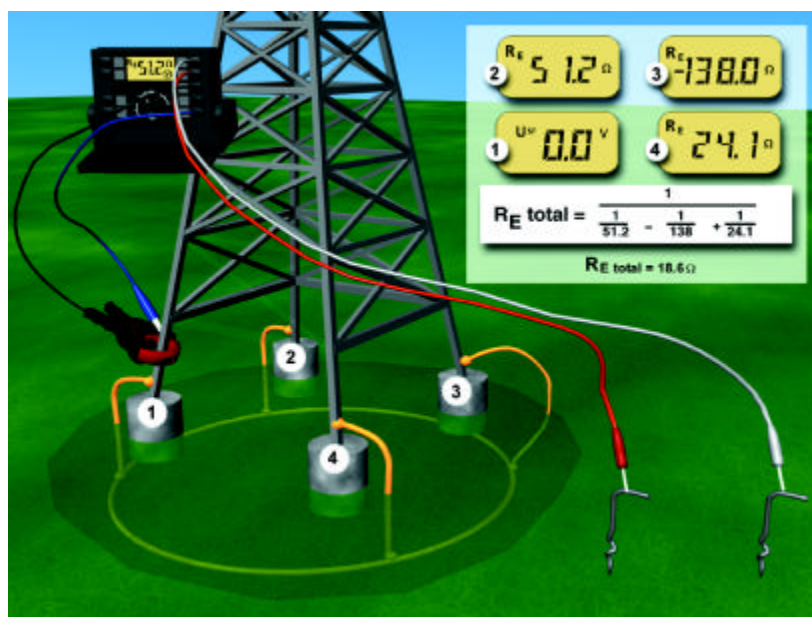


Pour contrôler la fiabilité des résultats de mesure et pour s'assurer que l'on est en dehors de la zone d'influence de la prise de terre, on déplace la sonde P2/S de 1 m environ dans toutes les directions et on renouvelle la mesure. Lorsque toutes les mesures donnent approximativement le même résultat, cela signifie que la distance entre les sondes est suffisante. Tant que les variations sont trop importantes (> 30%), il faut augmenter la distance entre la prise de terre que l'on mesure et les sondes P2/S et C2/H jusqu'à ce que les valeurs mesurées soient pratiquement identiques pour toutes les positions de P2/S.

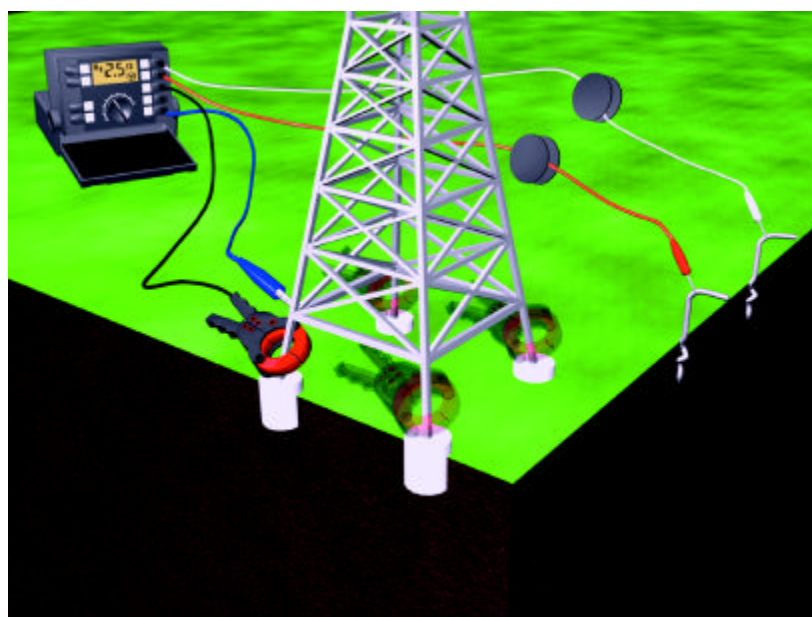
Lors de ces mesures, le système AFC a également montré son efficacité pour la sélection de la fréquence de mesure : l'**UNILAP GEOX** est parfait pour filtrer les courants parasites et leurs harmoniques.

Mesures sélectives sur pylônes haute tension

Pour pouvoir mesurer avec précision la résistance de terre individuelle au niveau de chaque pied de pylône haute tension comportant un câble de garde, il faut retirer ce dernier. Si la base du pylône comporte plusieurs prises de terre, il faut également les isoler pour les mesurer. L'**UNILAP GEOX** équipé d'un transformateur torique (angle d'ouverture max. 310 mm) permet de mesurer la résistance de terre de chaque pied du pylône sans avoir à déconnecter le câble de garde ni les connexions à la terre.



Comme le montre le schéma, la résistance de terre effective globale du pylône résulte du montage en parallèle de toutes les prises de terre. Il faut mesurer chacune des quatre résistances de terre partielles pour pouvoir calculer - en appliquant la formule qui se trouve sur le schéma ci-dessus - la résistance qui en résulte.



Mesures de mise à la terre sur des installations existantes

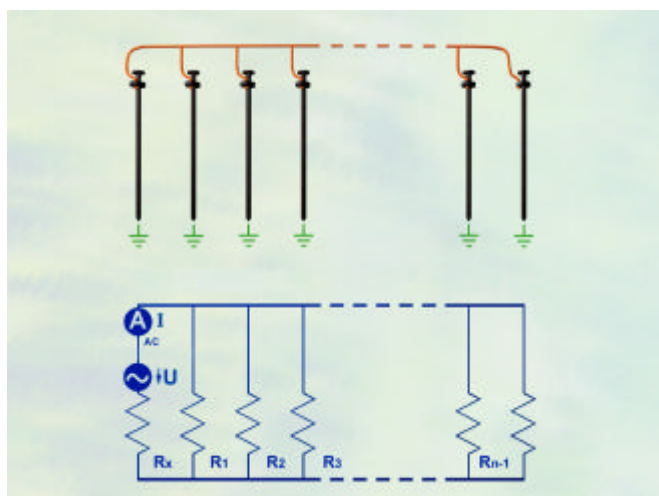
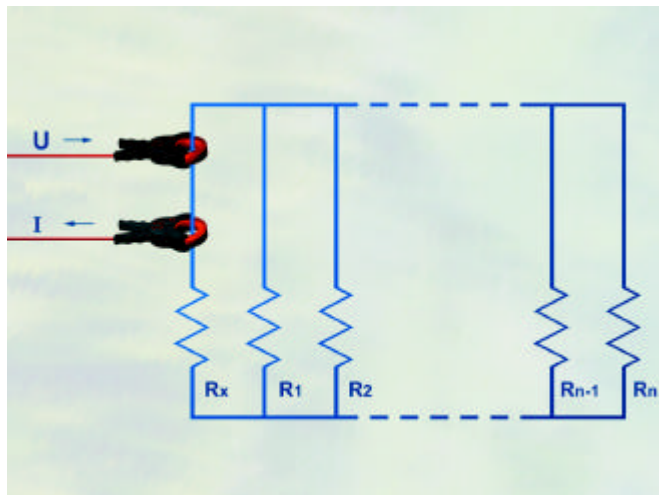
"Mesures sans piquet de terre"

L'**UNILAP GEOX** mesure les différentes résistances de terre sur des installations de mise à la terre complexes à l'aide de 2 pinces ampèremétriques. Avec ce système, il n'y a plus besoin de déconnecter les prises de terre parallèles, ce qui est dangereux et fastidieux, ni de rechercher la meilleure position pour les sondes.

Comment ça marche ?

La méthode est basée sur le fait que dans les installations disposant de prises de terre multiples, la résistance de terre effective globale est nettement inférieure à la résistance de terre individuelle qu'il faut mesurer.

La résistance qui résulte du montage parallèle des résistances $R_1...R_n$ est très faible. Dans la pratique, l'erreur de mesure de R_x est donc négligeable.

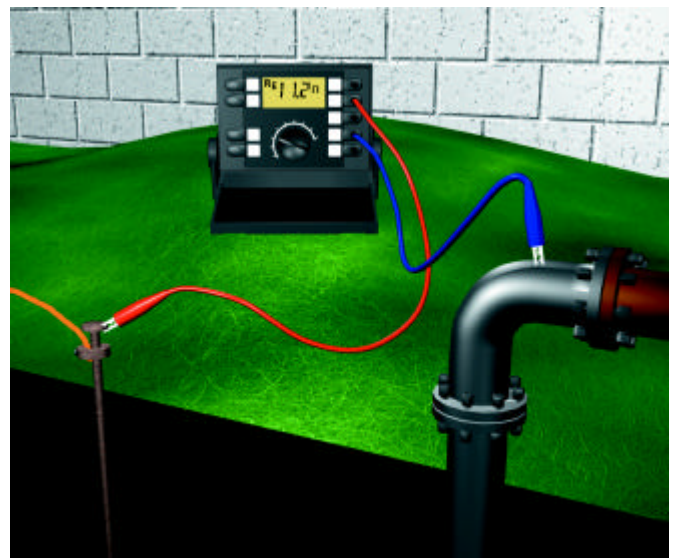


La première pince ampèremétrique injecte une tension, tandis que la deuxième pince mesure le courant qui passe effectivement. Cela permet à l'**UNILAP GEOX** de mesurer la tension et le courant avec redressement synchrone et de calculer la résistance R_x .

Les mesures par pinces ampèremétriques ne s'appliquent qu'aux prises de terres qui sont montées en parallèle sur des installations complexes. Lorsque le reste du système de mise à la terre n'est pas directement en parallèle de prise de terre mesurée, la mesure est impossible (pas de bouclage du courant) ou bien on obtient la résistance de l'ensemble du circuit de retour par la terre.

Mesures de mise à la terre à 2 pôles

Il y a des situations où il est difficile - voire impossible - de placer les piquets de terre. L'**HANDY GEO**, le **SATURN GEO**, l'**UNILAP GEO** ou l'**UNILAP GEOX** permettent alors d'effectuer une mesure bipolaire de la résistance ou de la boucle.



Pour cela, il faut utiliser une prise de terre de basse impédance, comme une conduite d'eau, par ex. Les tubes de métal doivent être espacés et ne doivent pas comporter de raccords isolants. Contrairement à d'autres appareils de mesure de mise à la terre, les appareils LEM NORMA utilisent un signal de mesure très puissant 20V / 48V et 250 mA de courant de court-circuit.

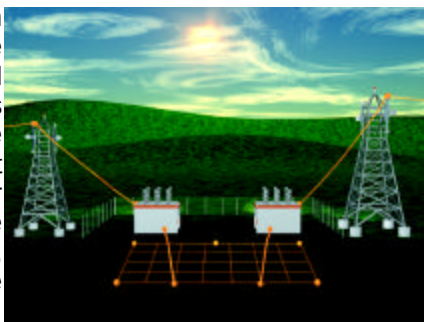
Mesures de l'impédance de terre

Pour calculer le courant de court-circuit dans les systèmes de distribution haute tension et de courant fort, il faut disposer de l'impédance : le courant de court-circuit réel est en effet déterminé par les résistances ainsi que par l'inductance. La résistance et l'inductance permettent également de calculer l'impédance de manière complexe. Mais comme l'impédance dépend de la fréquence, le **SATURN GEO**, l'**UNILAP GEO** ou l'**UNILAP GEOX** peuvent travailler à la fréquence de 55 Hz pour pouvoir être le plus près possible de la fréquence du réseau et pour effectuer des mesures sans perturbations.

Quand il s'agit d'entreprises d'électricité, il faut, lorsque l'on teste les lignes haute tension, tenir compte des paramètres suivants : la résistance de terre en cas de foudre et l'impédance de terre à un point précis de la ligne en cas de court-circuit. Dans ce cas, le court-circuit signifie qu'une ligne s'est détachée et touche la structure métallique du pylône.

Mesure de la résistance de terre sur postes distribution ou de transformation

Lorsque l'on teste un poste de transformation, il faut effectuer trois mesures de terre différentes. Il faut commencer par déterminer le type de mise à la terre, par ex. système maillé, terre

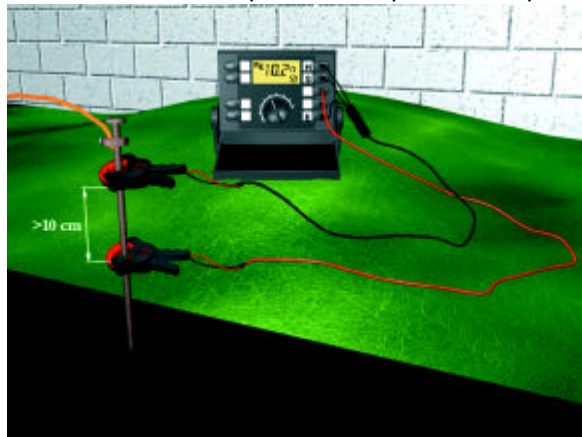


souterraine, circuit d'alimentation d'eau ou combinaison de ces systèmes. La plupart du temps, ces installations sont constituées de transformateurs et de pylônes haute tension qui sont reliés entre eux ainsi qu'au système de mise à la terre. Respectez les règles d'implantation des piquets de terre. Pour être sûr que la présence de la prise de terre maillée n'affecte pas la mesure, on déplace la sonde P2/S plusieurs fois et on renouvelle les mesures. Si les valeurs obtenues s'écartent de plus de 30%, il faut éloigner les piquets P2/S et C2/H de la prise de terre que l'on veut mesurer jusqu'à ce que toutes les mesures donnent approximativement le même résultat. Il faut éditer un procès-verbal de la valeur obtenue.

Pour être sûr que l'installation de mise à la terre présente le maximum d'efficacité et pour pouvoir détecter les modifications, il faut renouveler les mesures au moins une fois par an.

En ce qui concerne les raccordements permettant d'effectuer une mesure sélective avec pinces ampèremétriques, voir le schéma ci-contre. Dans ce cas, il faut veiller à respecter les mêmes règles d'espacement des piquets que dans la méthode à 3 pôles. La présence de boucles au niveau des câbles de mesure simplifie le passage d'une connexion à l'autre. Il faut enregistrer les valeurs mesurées et renouveler les tests chaque année.

On commence par effectuer sur toutes les mises à la terre la mesure "sans piquet" en utilisant la méthode à deux pinces ampèremétriques.



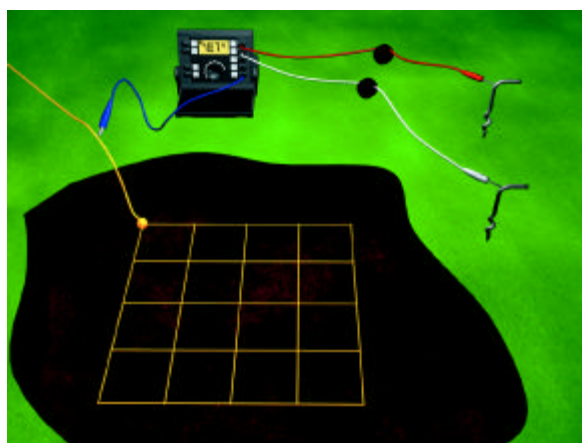
Ceci permet de tester la connexion électrique à la prise de terre maillée. Les mesures peuvent être enregistrées à l'aide du DOCU-PACK.

Les mesures "sans piquet" sont utilisées sur des réseaux bouclés. On ne mesure pas la résistance réelle de la prise de terre. Pour cela, il faudrait disposer d'une résistance de terre parallèle nulle.

Ensuite, on mesure l'ensemble de l'installation de mise à la terre (résistance équivalente globale) en utilisant la méthode à 3 pôles. Voir le schéma pour les connexions.

Enfin on mesure chacune des mises à la terre pour vérifier la connexion au système maillé en utilisant la méthode sélective avec pinces ampèremétriques. On peut ainsi mesurer toutes les connexions, une par une, sans avoir à effectuer de coupure. On peut aussi tester l'uniformité des résistances au niveau de la grille. Les mesures qui présentent des écarts trop importants par rapport aux autres révèlent l'existence de problèmes qui devront être minutieusement analysés.

Distances conseillées pour les sondes en [m]		
Prise de terre - Profondeur C1/E	Distance de la sonde de tension S C1/E	Distance de la terre auxiliaire H C2/H
2	15	25
3	20	30
6	25	40
10	30	50





mesure des résistances de terre au niveau du raccordement principal ...

1

On examine la liaison équipotentielle principale pour savoir quel est exactement le système de mise à la terre.

Cette liaison équipotentielle permet de relier toutes les lignes de protection contre la foudre, l'installation de mise à la terre, les conduites d'eau et les éléments métalliques de la construction.

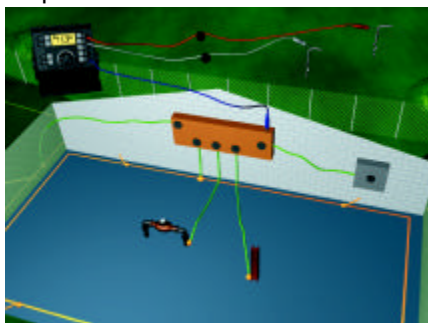
La première mesure est une mesure "sans piquet" que l'on effectue sur tous les fils de terre de départ.



Cette opération permet de vérifier que toutes les prises de terre, et en particulier le conducteur de terre du neutre, ont une liaison de faible impédance. Attention: cette méthode permet d'obtenir la valeur de la résistance de terre sélectionnée à la résistance de terre équivalente en parallèle près!

2

Mesure de la résistance de terre globale de l'installation par la méthode à 3 pôles. Etablir les connexions conformément au schéma en respectant les règles de positionnement des sondes. Pour établir la connexion avec les prises de terre éloignées, les entreprises de télécommunication utilisent des câbles libres, ce qui permet de réaliser très facilement des lignes de mesure de plusieurs km.



Il faut enregistrer les valeurs de mesure et renouveler les mesures au moins une fois par an.

3

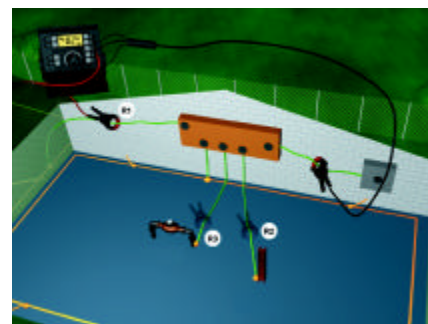
On mesure les différentes résistances de terre en utilisant la méthode sélective par pinces ampèremétriques. Commencer par la mesure du conducteur neutre. La résistance mesurée correspond à celle de cette branche (neutre) de la liaison équipotentielle.

Ensuite, on effectue une mesure au niveau de la descente de mise à la terre de l'installation. Puis on mesure de la même manière les lignes reliées aux conduites d'eau et les connexions reliées aux structures métalliques (résistance des masses). On peut immédiatement contrôler les mesures en appliquant la loi d'Ohm. Le montage en parallèle de toutes les résistances doit correspondre à la résistance globale. On obtient les résistances individuelles ainsi qu'un diagnostic sur le comportement de l'ensemble du système de mise à la terre. En utilisant la méthode classique à 3 pôles, les résultats obtenus sont identiques ou du même ordre de grandeur mais il est impératif de déconnecter chaque raccordement de la liaison équipotentielle, et un diagnostic de l'ensemble du système connecté n'est pas possible.

En fonctionnement normal, toutes les lignes sont raccordées. Pour s'en assurer, il suffit de déconnecter chaque branche et d'effectuer une mesure selon la méthode à 3 pôles. Conformément à la loi d'Ohm, les valeurs obtenues doivent donner la résistance de terre globale. En général, on constate un écart de 20-30%. Il y a une autre méthode pour mesurer la terre individuelle : "la méthode de mesure sans piquet". La différence réside dans l'utilisation de deux pinces ampèremétriques.

On place la pince inductrice et la pince de mesure du courant sur la descente de terre. Lorsqu'il s'agit d'une entreprise d'électricité, la liaison équipotentielle est directement mise à la terre. On obtient ainsi la valeur de la résistance de terre ajoutée à la résistance équivalente des terres en parallèle. On effectue cette opération sur toutes les branches de la liaison équipotentielle comme les conduites d'eau et les structures métalliques, par exemple. Il y a une autre méthode pour mesurer la terre individuelle : "la méthode de mesure sans piquet". La différence réside dans l'utilisation de deux pinces ampèremétriques. On place la pince inductrice et la pince de mesure du courant sur la descente de terre. Lorsqu'il s'agit d'une entreprise d'électricité, la liaison équipotentielle est directement mise à la terre. On obtient ainsi la valeur de la résistance de terre ajoutée à la résistance équivalente des terres en parallèle. On effectue cette opération sur toutes les branches de la liaison équipotentielle comme les conduites d'eau et les structures métalliques, par exemple.

Pour mesurer la liaison équipotentielle selon cette méthode, on place la pince au niveau de la ligne à très faible impédance raccordée à la conduite d'eau. L'affichage correspond à la résistance de terre du neutre.



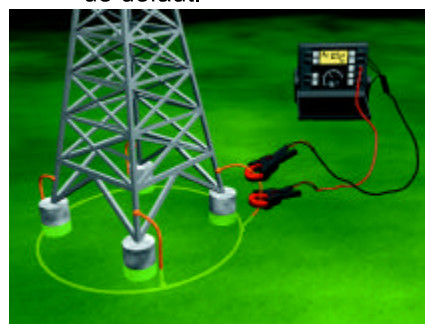
... au niveau des émetteurs radiotéléphoniques et radio

Le test de mise à la terre des émetteurs radio fait appel à trois mesures de terre différentes. Il s'agit le plus souvent de mâts d'antenne à trois supports dont chaque pied est relié à la terre. Ces prises de terre sont reliées entre elles par un câble de cuivre. A proximité des mâts, il y a un bâtiment qui abrite les installations de l'émetteur.

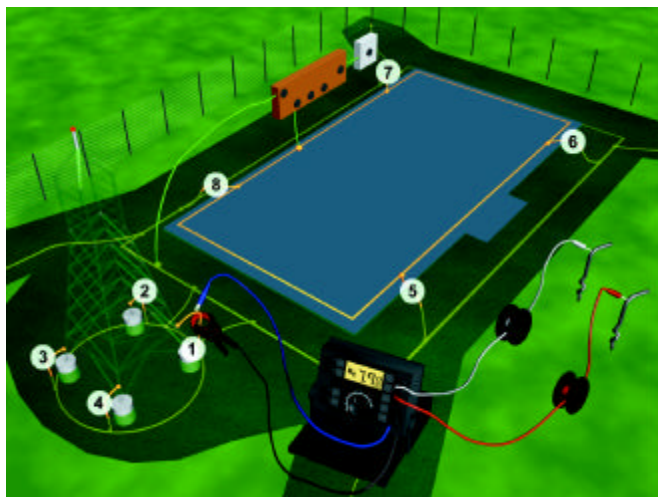
Dans les bâtiments, les prises de terre ont des liaisons équipotentielle. Ces bâtiments sont reliés à la terre au niveau des quatre angles du bâtiment et les prises de terre sont connectées à la liaison équipotentielle par une ligne en cuivre. Les quatre terres sont elles-mêmes reliées entre elles par des lignes en cuivre. Il y a en outre une liaison entre le réseau de mise à la terre entourant le bâtiment et celui des pylônes.



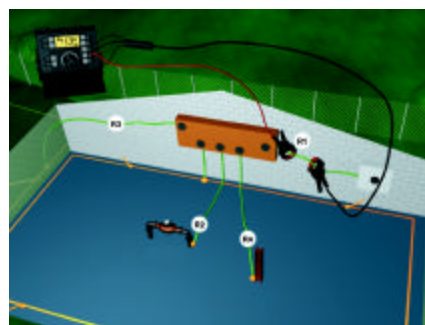
1 On utilise tout d'abord la méthode 'sans piquet' pour effectuer une mesure au niveau de chacun des pieds du mât d'antenne ainsi qu'au niveau des prises de terre placées dans les angles du bâtiment. Il ne s'agit pas là d'une véritable mesure de terre mais plutôt d'un contrôle des résistance de terre destiné à déterminer la continuité de la mise à la terre et si elle est en mesure de dériver les courants de défaut.



3 Après avoir effectué les mesures selon la méthode à 3 pôles, on mesure les différentes prises de terre en utilisant la méthode sélective par pinces ampèremétriques. On peut ainsi déterminer la fiabilité des différentes prises de terre et de leurs raccordements ainsi que l'homogénéité du potentiel de mise à la terre. On mesure la résistance de terre de chaque mât et celle des 4 prises de terre placées aux angles du bâtiment. Si l'une des mesures fait apparaître des écarts plus importants que les autres, il faut rechercher l'origine de ces écarts.

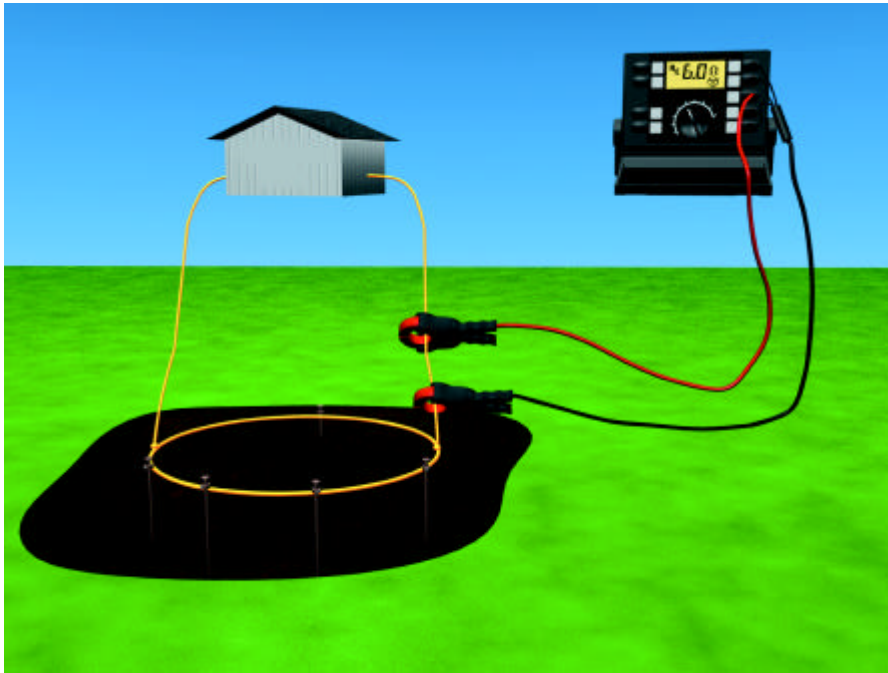


2 Après avoir effectué les mesures 'sans piquet' au niveau du mât et du bâtiment, on mesure la résistance de terre de l'ensemble de l'installation de mise à la terre en utilisant la méthode classique à 3 pôles. Il faut alors respecter les règles de mise en place des piquets de terre et enregistrer les mesures. En règle générale il faut renouveler les mesures tous les six mois.



Mesure de la résistance de terre des installations industrielles ...

Lors du contrôle d'une installation électrique, telle que les concentrateurs de lignes numériques par exemple, il faut effectuer trois mesures essentielles. L'installation est généralement mise à la terre au niveau du bâtiment et parfois reliée à d'autres prises de terre.

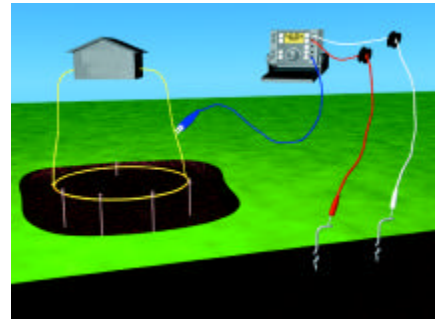


1

Tout d'abord, il faut contrôler par une mesure 'sans piquet' que les prises de terre de l'installation soient bien raccordées. Dans cette application, on ne mesure pas la résistance de terre individuelle mais la résistance de boucle qui permet de vérifier la continuité des prises de terre et qu'elles soient en mesure de dériver les courants de défaut.

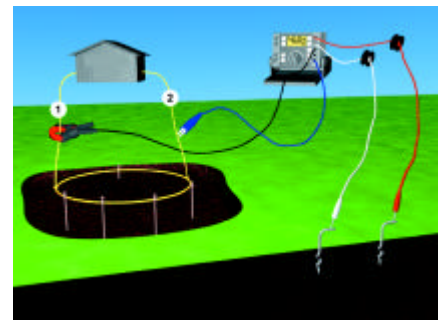
2

La deuxième mesure est une mesure à 3 pôles portant sur l'ensemble du système de mise à la terre (résistance de terre globale). Raccordez l'appareil de contrôle à une prise de terre quelconque, conformément au schéma. Veillez à respecter les règles concernant le placement de la sonde et de la terre auxiliaire. Il faut réaliser un procès-verbal de ces mesures et renouveler celles-ci au moins deux fois par an.



3

Ensuite il faut mesurer les différentes résistances de terre en utilisant la méthode 'sélective' par pinces ampèremétriques, ce qui permet de vérifier la fiabilité de la prise de terre et l'homogénéité de la répartition équipotentielle. Il faut effectuer les mesures aux deux extrémités de l'installation.

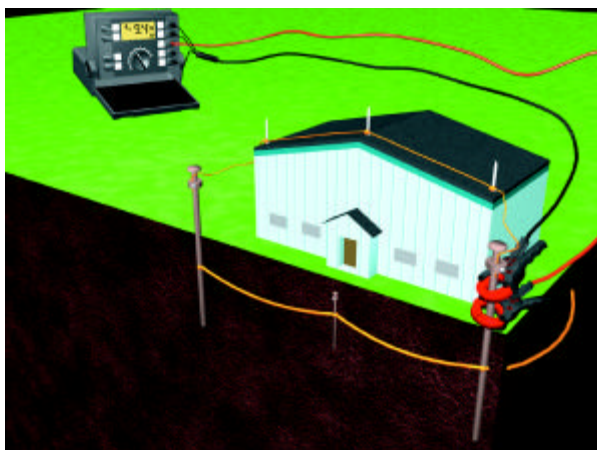


... des systèmes de protection contre la foudre

Pour contrôler une installation de protection contre la foudre ou de protection contre les courants de défaut, il faut effectuer trois mesures de terre. La plupart des systèmes de protection contre la foudre comportent des prises de terre placées dans tous les angles du bâtiment et reliées entre elles par des lignes en cuivre. Le nombre des électrodes de terre dépend de la taille du bâtiment et de la résistance de terre que l'on souhaite obtenir.

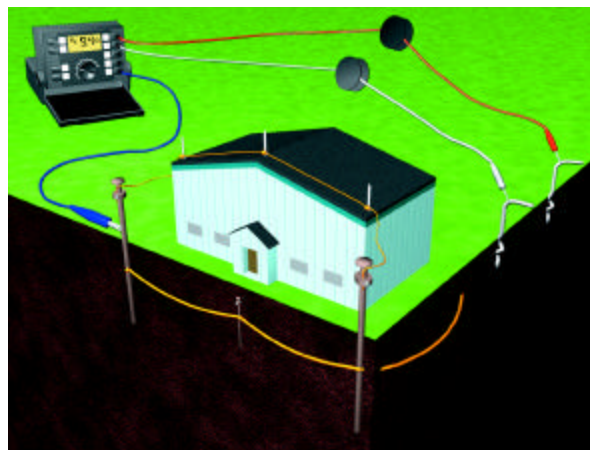
1

Les premières mesures sur les installations de protection contre la foudre sont des mesures "sans piquet" effectuées au niveau du bâtiment (voir ci-dessous). Il ne s'agit pas de mesurer la résistance de terre proprement dite mais d'effectuer un contrôle de continuité et de s'assurer la capacité à évacuer les courants de défaut.



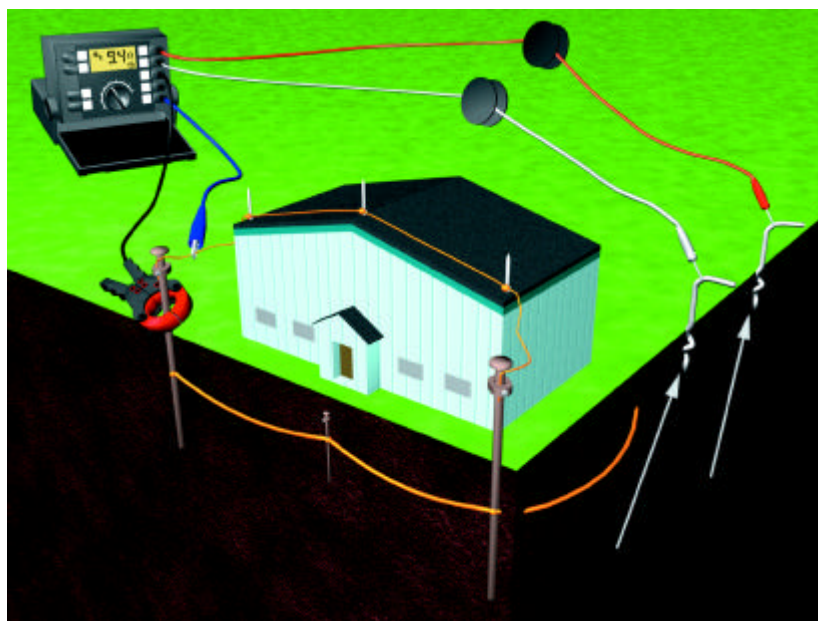
2

Lorsque les mesures 'sans piquet' ont été effectuées au niveau du bâtiment, on doit déterminer la résistance de terre globale en utilisant la méthode classique 3 pôles. Il faut alors respecter les règles de mise en place de la sonde de tension et de la terre auxiliaire et enregistrer les mesures. Il faut renouveler ces mesures tous les six mois.



3

Une fois les mesures à 3 pôles achevées, il faut contrôler les résistances de terre individuelles à l'aide d'une pince ampèremétrique en appliquant la méthode "sélective". On contrôle alors les valeurs des prises de terre individuelles et de leur raccordement ainsi que l'homogénéité du potentiel des résistances de terre. Il faut effectuer les mesures dans tous les angles du bâtiment. Lorsque l'une des mesures présente des variations plus importantes que les autres, il faut examiner minutieusement la prise de terre concernée.





détermination du coefficient de couplage

La détermination du coefficient de couplage sert à estimer l'influence réciproque de deux résistances de terre n'ayant normalement aucune relation.

Il s'agit ici de s'assurer qu'aucune remontée de potentiel, induite par un courant de défaut circulant dans une des prises de terre, puisse apparaître aux bornes de la prise de terre voisine. Il faut, par exemple, s'assurer qu'il n'y ait pas d'influence réciproque entre une résistance de terre des masses EDF et une résistance de terre d'un ouvrage France Telecom.

Les paramètres déterminants qui influencent la valeur du coefficient de couplage, donc de la résistance de couplage sont les suivants:

- La distance qui sépare les deux prises de terre
- La résistivité du sol
- La valeur de chacune des résistances

Bien entendu la distance séparant les deux résistances de terre est déterminée en fonction de la résistivité du sol. Par exemple, selon EDF, il faut respecter une distance minimale de 8 mètres entre la première résistance de terre du neutre la plus proche et la résistance des masses, ceci dans le cas d'une résistivité du sol inférieure ou égale à 300 Ω m. si cette dernière, toujours selon EDF, est comprise entre 500 et 1000 Ω .m la distance minimale doit être de 24 mètres entre les deux résistances de terre.

Quelles sont les mesures nécessaires à la détermination du coefficient de couplage ?

En guise d'exemple, reprenons le cas du couplage entre la résistance du neutre RN et la résistance des masses RM dans un ouvrage EDF. Selon EDF il est impératif de déconnecter la première terre du neutre la plus proche de la résistance des masses. Dans le cas où la résistance du neutre est unique, il faudra impérativement, ceci dans un souci de sécurité, créer une résistance provisoire de terre du neutre!

Mesures	Méthode utilisée
RM	Classique avec sonde et terre auxiliaire (méthode 3 pôles)
RN	Classique avec sonde et terre auxiliaire (méthode 3 pôles)
RMN	Mesure en Ohmmètre R 2 pôles, l'appareil de mesure étant placé dans la boucle constituée par RM et RN

Calcul de la résistance de couplage Rc:

$$R_c = \frac{R_M + R_N - R_{MN}}{2}$$

Le coefficient de couplage c est égal à: $c = R_c / R_M$

Dans le cadre des prescriptions EDF pour ses propres ouvrages, ce coefficient de couplage c doit être < 0,15 pour considérer que l'influence réciproque des deux résistances de terre RM et RN est négligeable.

Appareils de mesure de mise à la terre (jusqu'à 3 ans de garantie!)

Les appareils universels de mesure de mise à la terre permettent de contrôler les installations ainsi que les systèmes de protection contre la foudre. Tous les appareils fonctionnent sur piles (accumulateurs en option), disposent d'un système automatique d'arrêt, de seuils réglables et affichent la résistance des sondes et des prises de terre auxiliaires. Le contrôle automatique de gamme et la sélection automatique ou manuelle de la fréquence de mesure permettent de garantir la fiabilité des mesures. En dehors de la méthode standard à 3 pôles, ces appareils disposent de nombreuses fonctions spéciales.

HANDY GEO : Petit appareil léger de mesure de mise à la terre

Mesure de mise à la terre 3 pôles, de résistance 2 pôles, affichage digital, barres analogiques, mesure et affichage de résistance de la sonde de tension et de la terre auxiliaire, procès-verbal via interface RS 232 et logiciel PC Win VIEW en option ou directement sur imprimante. Accu et adaptateur de charge en option.

SATURN GEO : Appareil universel de mesure de mise à la terre.

Fonctions supplémentaires par rapport à l'HANDY GEO :

Mesure de la résistance de terre 4 pôles ou pour la résistivité du sol, de résistance 3 pôles, de résistance en courant alternatif pour la détermination du coefficient de couplage, mesure de la tension parasite et de sa fréquence. Boîtier extrêmement résistant avec coque protectrice, courroie de transport.

UNILAP GEO : Appareil universel de mesure de mise à la terre.

Fonctions identiques au SATURN GEO mais dans un boîtier articulé ABS.

UNILAP GEO X : Appareil de mesure de mise à la terre permettant de mesurer les prises de terre individuelles ou les systèmes maillés sans avoir à effectuer de déconnexion.

Fonctions supplémentaires par rapport à l'UNILAP GEO : Mesures sélectives de la terre sans qu'il y ait d'influence des prises de terre parallèles, de terre sans piquet, impédance de terre au niveau des pylônes haute tension, mesures 2 et 4 pôles en courant continue (>200 mA), sortie des résultats de mesure via l'interface vers imprimante ou PC.



Caractéristiques techniques	Handy GEO	SATURN GEO	UNILAP GEO	UNILAP GEO X
Gammes de mesures	2000 Ω , 6%	300 k Ω , 2%	300 k Ω , 2%	300 k Ω , 2%
Résolution	10 m Ω	1 m Ω	1 m Ω	1 m Ω
Tension de mesure	<25 V	20/48 V	20/48 V	20/48 V
Courant de mesure maximum	>50 mA	250 mA	250 mA	250 mA
Fréquence de mesure	128Hz	55...128Hz, auto	55...128Hz, auto	55...128Hz, auto
4 pôles	-	ü	ü	ü
2 pôles	ü	ü	ü	ü
3 pôles	ü	ü	ü	ü
Sélective	-	-	-	ü
Sans piquet	-	-	-	ü
Accessories				
RS232 interface	ü	-	-	ü
Software	WinVIEW	-	-	WinGEO
DOCU-PACK	-	-	-	ü

Références de commande des appareils de mesure de mise à la terre :

Désignation	N° de commande	Désignation	N° de commande
Handy GEO appareil de base	A 1885 03110	UNILAP GEO X avec accessoires de mesure de mise à la terre	A 1885 06211
Handy GEO avec kit de mesure de mise à la terre incl. 2 piquets de terre, 2 bobines de câble (25m, 50m), mallette	A 1885 03111	UNILAP GEO X avec accessoires et RS232	A 1885 06212
Handy GEO + RS 232 et PC-Software WinVIEW	A 1885 03112	UNILAP GEO X avec accessoires de mesure de mise à la terre, sans piquet.	A 1885 06213
Kit de mesure de mise à la terre incl. 2 piquets de terre, 2 bobines de câble (25m, 50m), mallette	A 6030 03100	UNILAP GEO X avec accessoires de mesure et DOCU-PACK	A 1885 06215
SATURN GEO appareil de base	A 1885 06411	Logiciel PC WinGEO pour UNILAP GEO X avec RS232 / DOCU-PACK	A 1885 00172
UNILAP GEO appareil de base	A 1885 06110	WinGEO PC Software appareil de base	A 1885 06111
UNILAP GEO avec accessoires de mesure de mise à la terre: 4 piquets de terre, 2 bobine (25m), 1 bobine (50m), mallette	A 1885 06111	Transformateur torique pour mesure sur pylônes haute tension	A 6805 06211
		Accessoires de mise à la terre incl. 2 piquets de terre, 2 bobines de câble (25m, 50m), mallette	A 6045 10301



LEM Instruments
Palmersstrasse 2
A-2351 Wiener Neudorf

TEL.: 0043 (0) 2236 691-0
FAX: 0043 (0) 2236 691 415

Imprimé en Autriche
Sous réserve de modifications techniques
A 99415 F (12.99)