

La mesure de terre

L'extraordinaire explosion de l'utilisation de l'électricité dans la vie quotidienne, tant privée que professionnelle et le formidable développement des réseaux de distribution qui a suivi ont nécessité l'écriture de règles de l'art sur la construction des installations. La norme NF C 15-100 précise les conditions générales d'installation à respecter pour assurer la sécurité des personnes, des animaux domestiques ou d'élevage et des biens contre les dangers et dommages pouvant résulter de l'utilisation des installations électriques.



Toutefois, l'efficacité des mesures de sécurité mises en œuvre n'est garantie que si des contrôles réguliers attestent de leur bon fonctionnement.

Les risques liés à une non mise en sécurité des installations électriques peuvent présenter :

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

Au niveau de l'utilisateur, une personne soumise à une tension électrique subit, selon l'importance de celle-ci, des effets plus ou moins graves pouvant aller jusqu'à la mort.

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

Réalisation d'une prise de terre

■ Pourquoi faut-il une prise de terre ?

C'est donc par souci de sécurité que la législation a rendu obligatoire l'installation d'une prise de terre. Elle évite des élévations dangereuses de potentiel des masses et une mise sous tension accidentelle de masses métalliques ou conductrices pouvant être touchées par un individu. Quand une tension anormale (ou « tension de défaut ») est créée, l'écoulement via la prise de terre du « courant de défaut » associé, permettra le déclenchement si nécessaire des dispositifs de protection. Une prise de terre doit toujours donc être associée à un dispositif de coupure, sinon elle n'a pratiquement aucun intérêt.

■ Quelle valeur de résistance de terre faut-il trouver ?

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

U limite = 25V AC

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

Par la loi d'Ohm, $U=RI$

On obtient : $R = 25 \text{ V} / 0,5 \text{ A} = 50 \Omega$

Pour garantir la sécurité des individus et des biens, il faut que la résistance de la prise de terre soit inférieure à 50Ω : $R_{\text{terre}} < 50 \Omega$

La réalisation d'une prise de terre

La réalisation d'une bonne prise de terre (i.e. dont la résistance est $< 50 \Omega$) dépend de trois éléments essentiels :

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

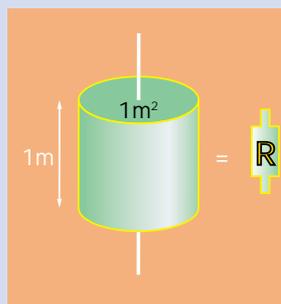
Nature des prises de terre

Conformément à la norme NF C 15-100, les prises de terre peuvent être de l'un des types suivants :

- piquets ou tubes métalliques verticaux
- rubans ou câbles enfouis horizontalement
- plaques métalliques
- ceinturages métalliques à fond de fouilles
- armatures en bétons noyées dans le sol
- canalisations métalliques de distribution d'eau (avec l'accord du distributeur d'eau)
- etc...

La résistance de la prise de terre ainsi constituée dépendra de sa forme, de son implantation dans le terrain donc de la résistivité de celui-ci.

Notion de résistivité de terrain



La résistivité (ρ) d'un terrain s'exprime en Ohm.mètre ($\Omega.m$).

Ceci correspond à la résistance théorique en Ohm d'un cylindre de terre de 1 m^2 de section et de 1 m de longueur.

La résistivité est très variable selon les régions et la nature des sols car elle dépend du taux d'humidité et de la température (le gel ou la sécheresse l'augmentent).

Pour exemples :

Nature du terrain	Résistivité (en $\Omega.m$)
Terrains marécageux	de qqes unités à 30
Limon	20 à 100
Humus	10 à 150
Marnes du jurassique	30 à 40
Sable argileux	50 à 500
Sable silicieux	200 à 3000
Sol pierreux nu	1500 à 3000
Sol pierreux recouvert de gazon	300 à 500
Calcaires tendres	100 à 300
Calcaires fissurés	500 à 1000
Micaschistes	800
Granits et grès en altération	1500 à 10000
Granits et grès très altérés	100 à 600

Pourquoi mesurer la résistivité des sols ?

- pour choisir quand c'est possible l'emplacement et la forme des prises de terre et des réseaux de terre avant leur construction
- 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).

Dans quels cas mesurer la résistivité ?

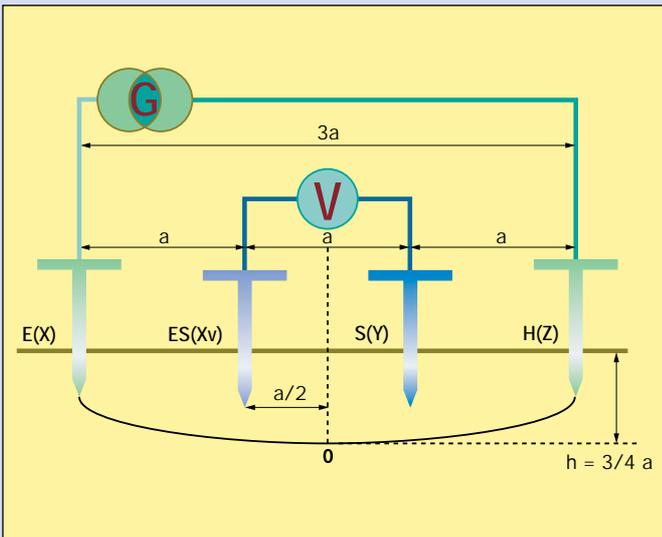
- sur un terrain en construction
- pour les bâtiments tertiaires de grande envergure (ou des postes de distribution d'énergie) où il est important de choisir avec exactitude le meilleur emplacement pour les prises de terre.

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

Principe de mesure :

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

Nota : les termes X, Xv, Y, Z correspondent à l'ancienne appellation utilisée respectivement pour les électrodes E, Es, S et H.



L'appareil de mesure utilisé est un ohmmètre de terre classique qui permettra l'injection d'un courant et la mesure de ΔV. La valeur de la résistance R lue sur l'ohmmètre permettra de calculer la résistivité par la formule de calcul simplifiée suivante : $\rho = 2 \pi a R$
 Avec ρ : résistivité en Ω.m au point situé sous le point O, à une profondeur de $h = 3a/4$
 a : base de mesure en m
 R : valeur (en Ω) de la résistance lue sur l'ohmmètre de terre
 EDF préconise une mesure avec a = 4m minimum.

La mesure de résistance d'une prise de terre existante

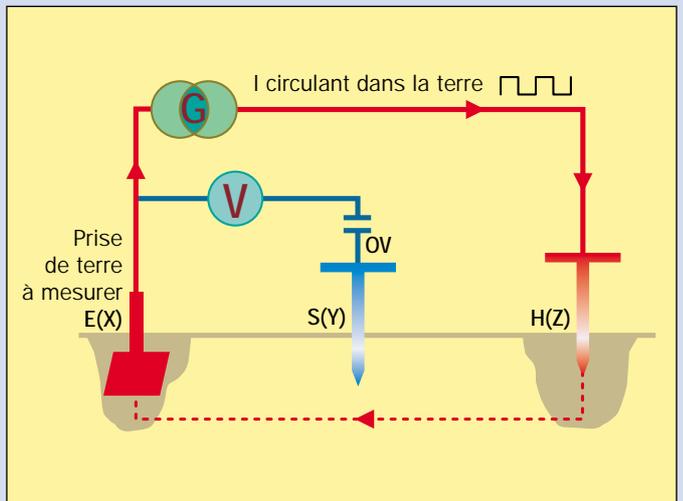
Nous nous positionnons actuellement dans la configuration où la prise de terre existe déjà et où nous voulons vérifier qu'elle répond correctement aux normes de sécurité. Nous voulons donc vérifier que $R_{\text{terre}} < 50 \Omega$
 Plusieurs méthodes existent et peuvent être appliquées selon la configuration de l'installation.

Quelle méthode utiliser ?

Méthodes selon configurations	Bâtiment à la campagne avec possibilités de planter des piquets	Bâtiment en milieu urbain sans possibilité de planter des piquets	Réseaux de terres multiples en parallèle
Méthode des 62 %	■		
Méthode en triangle	■		
Méthode variante des 62 %	■	■	■
Mesure de boucle phase-PE	■	■	
Pince de terre			■

Principe de la mesure de terre

E est la prise de terre à mesurer.

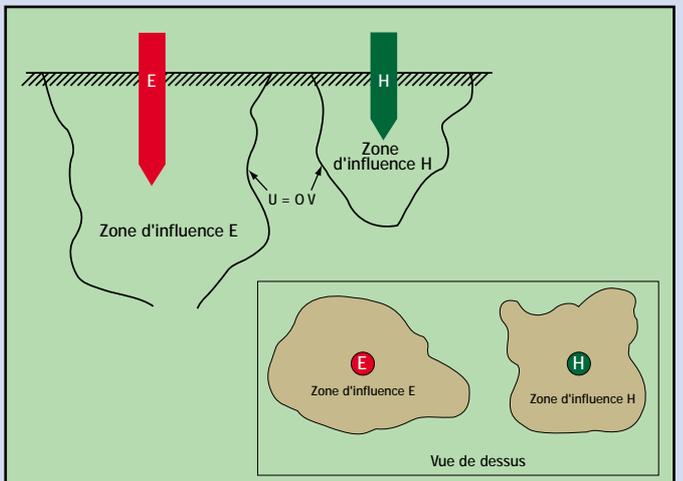


On fait circuler à l'aide d'un générateur approprié G, un courant alternatif (i) constant à travers la prise auxiliaire H dite « prise d'injection courant », le retour se réalisant par la prise de terre E. On mesure la tension V entre les prises E et le point du sol où le potentiel est nul au moyen d'une autre prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0V ». Le quotient de la tension V, ainsi mesurée par le courant constant injecté (i), donne la résistance recherchée.

$$R_E = U_{ES} / I_{EH}$$

Remarque importante :

L'écoulement d'un courant de défaut se fera d'abord à travers les résistances de contact de la prise de terre. Plus on s'éloigne de la prise de terre, plus le nombre des résistances de



contact en parallèle tend vers l'infini et constitue une résistance équivalente quasiment nulle. À partir de cette limite, quel que soit le courant de défaut, le potentiel est nul.

Il existe donc autour de chaque prise de terre, traversée par un courant, une zone d'influence dont on ignore la forme et l'étendue.

Lors des mesures, il faudra s'appliquer à planter la prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0V » à l'extérieur des zones d'influences des prises auxiliaires traversées par le courant (i).

■ Les différentes méthodes de mesure

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

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

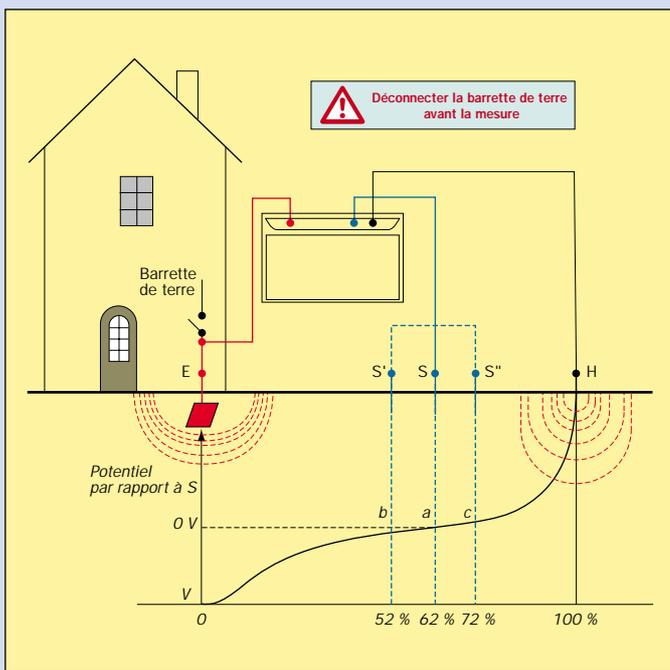
Pour effectuer une bonne mesure, il faut que la « prise auxiliaire » de référence de potentiel (S) ne soit pas plantée dans les zones d'influences des terres E & H, zones d'influence créées par la circulation du courant (i).

Des statistiques de terrain ont montré que la méthode idéale pour garantir la plus grande précision de mesure consiste à placer le piquet S à 62 % de E sur la droite EH.

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

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

Pour que la mesure soit correcte, il convient d'espacer le piquet H de la terre à mesurer d'au moins 25 mètres.

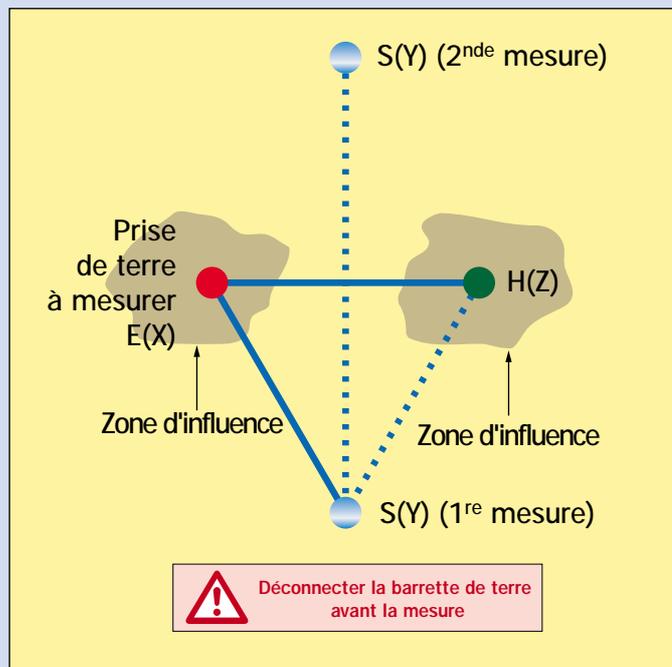


La méthode de mesure en triangle (deux piquets)

Cette méthode nécessite également l'emploi de deux électrodes auxiliaires (ou « piquets ») et est utilisée lorsque la méthode décrite précédemment n'est pas réalisable (impossibilité d'alignement ou obstacle interdisant un éloignement suffisant de H).

Elle ne doit cependant pas être considérée comme une méthode de référence, car sa précision est moindre que celle obtenue par la méthode « dite des 62 % ».

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



- effectuer une première mesure en plaçant S d'un côté, puis une seconde mesure en plaçant S de l'autre côté.

Si les valeurs trouvées sont très différentes, le piquet S est dans une zone d'influence. Il faut alors, augmenter les distances et recommencer les mesures.

Si les valeurs trouvées sont voisines, à quelques % près, la mesure peut être considérée comme correcte.

Toutefois, cette méthode fournit des résultats incertains. En effet, même lorsque les valeurs trouvées en sont voisines, les zones d'influence peuvent se chevaucher.

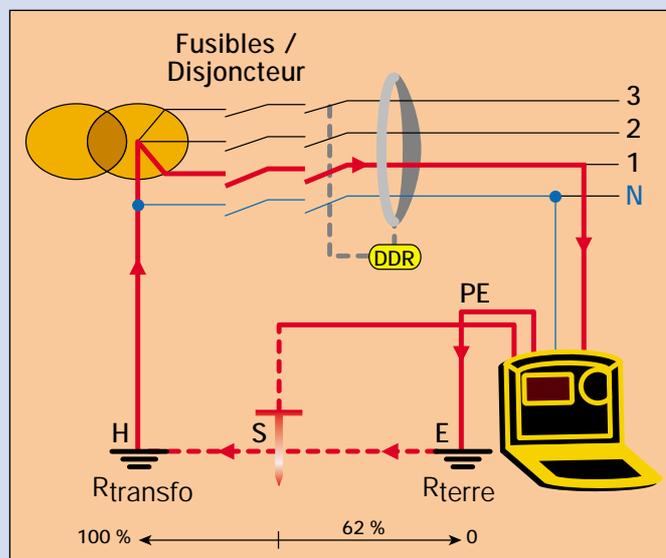
Pour s'en assurer, recommencer les mesures en augmentant les distances.

La méthode variante des 62 % (un piquet)

(uniquement en Schéma TT ou IT impédant)

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

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



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

La tension mesurée divisée par le courant injecté donne la résistance de terre.
Les différences avec la méthode des 62 % sont :

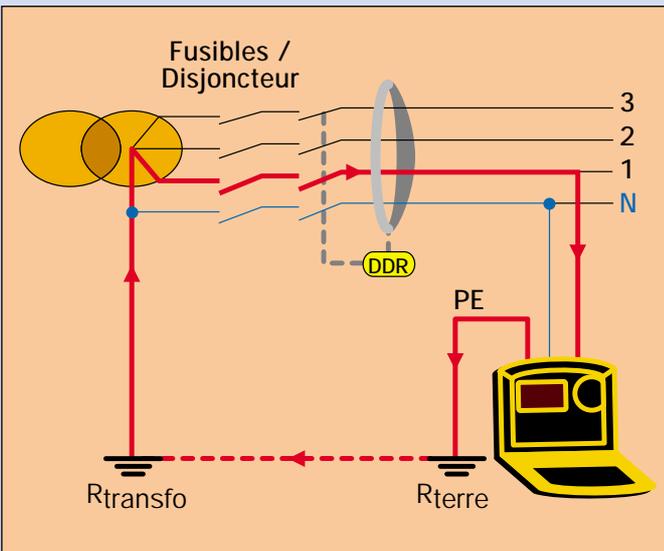
- L'alimentation de la mesure se fait à partir du réseau et non plus à partir de piles ou batteries.
- Un seul piquet auxiliaire est nécessaire (piquet S) ce qui rend plus rapide la préparation de la mesure.
- Il n'est pas nécessaire de déconnecter la barrette de terre du bâtiment. C'est un gain de temps et cela garantit le maintien de la sécurité de l'installation pendant la mesure.

Mesure de boucle Phase-PE (uniquement en Schéma TT)

La mesure de résistance de terre en ville s'avère souvent difficile par la méthode de piquets auxiliaires : impossibilité de planter des piquets faute de place, sols bétonnés...

La mesure de boucle permet alors une mesure de terre en milieu urbain sans planter de piquet et en se raccordant tout simplement au réseau d'alimentation (prise secteur).

La résistance de boucle ainsi mesurée inclut en plus de la terre à mesurer, la terre et la résistance interne du transformateur ainsi que la résistance des câbles. Toutes ces résistances, étant très faibles, la valeur mesurée est une valeur de résistance de terre par excès.



La valeur réelle de la terre est donc inférieure : $R_{\text{mesuré}} > R_{\text{terre}}$
L'erreur de mesure (par excès) introduite par cette méthode va dans le sens d'une sécurité accrue.

La norme NF C 15-100 considère que la valeur de la résistance de boucle (résistance de terre par excès) peut être prise en compte à la place de la résistance de terre, pour satisfaire aux règles concernant la protection contre le risque de contacts indirects.

Remarque : En schéma TN ou IT (impédant), la mesure de l'impédance de boucle permettra de calculer le courant de court-circuit et donc de dimensionner correctement les dispositifs de protection.

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.

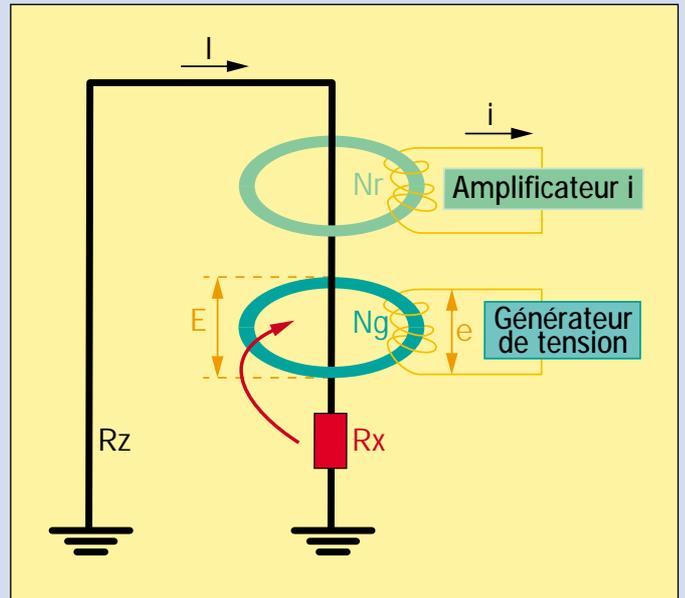
Dans les établissements équipés de matériels électroniques sensibles, un maillage des conducteurs de terre reliés à des terres multiples permet d'obtenir un plan de masse sans défaut d'équipotentialité.

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 enserrage du câble relié à la terre permet de connaître la valeur de la terre ainsi que la valeur des courants qui y circulent.

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



- L'enroulement « générateur » de la pince développe une tension alternative au niveau constant E autour du conducteur enserré ; un courant $i = E / R_{\text{boucle}}$ circule alors à travers la boucle résistive.
- L'enroulement « récepteur » mesure ce courant.
- Connaissant E et I, on en déduit la résistance de boucle.

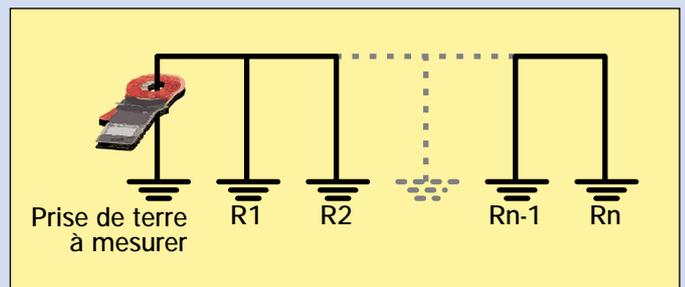
Nous sommes dans le cas d'un réseau de terres en parallèles. Sachant que « n » résistances en parallèle équivalent à une résistance R_{aux} de valeur négligeable, on peut mesurer la valeur de la terre locale R_x :

$R_{\text{boucle}} = R_x + R_{\text{aux}}$ (avec R_{aux} = résistance équivalente à $R_1 \dots R_n$ en parallèle)

Comme $R_x \gg R_{\text{aux}}$ On obtient $R_{\text{boucle}} \approx R_x$

La pince de terre est utilisée pour les mesures de résistance de terre :

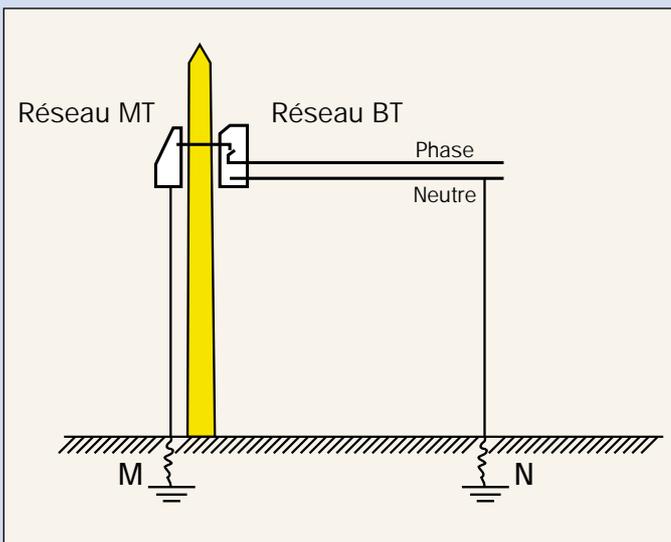
- au niveau des transformateurs MT/BT,
- des bâtiments faradisés,
- des lignes de télécommunication
- et pour la continuité des boucles « fond de fouille »...



La mesure de couplage

Un fort couplage entre deux terres peut engendrer des conséquences fâcheuses pour la sécurité des personnes et/ou du matériel.

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



Lors d'un coup de foudre sur le transformateur MT/BT, l'élévation de potentiel instantané peut être de plusieurs kV.

La méthode à employer est celle de la mesure en ligne dite « des 62 % ».

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

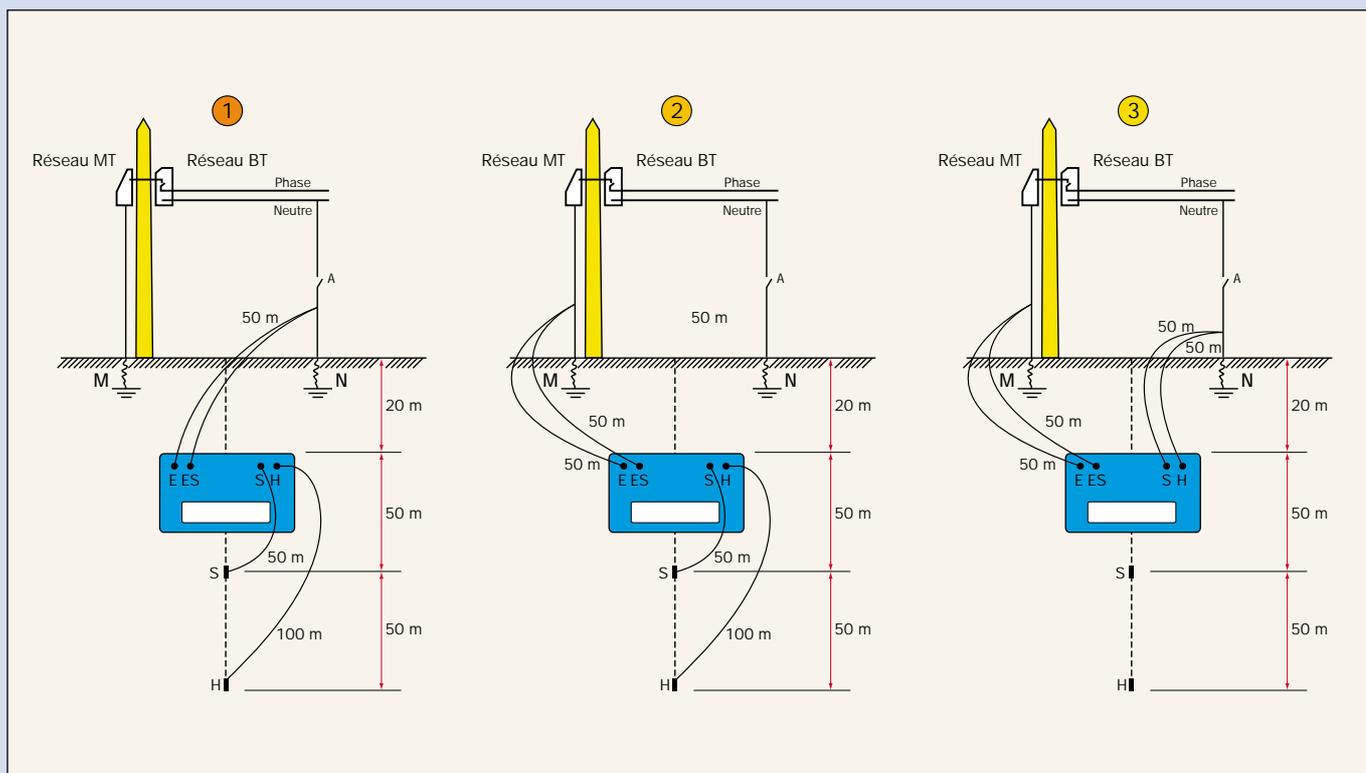
La mesure de couplage s'effectue de la manière suivante :

- 1) - Déconnecter le Neutre du réseau BT (ouvrir A)* ①
 - Relier E et ES à N (Terre du Neutre BT) à l'aide de deux câbles de 50 m
 - Relier S au 1^{er} piquet à l'aide d'un câble de 50 m
 - Relier H au 2^e piquet à l'aide d'un câble de 100 m
 - Placer le mesureur entre M et N à 20 m de leur axe
 - Effectuer la mesure de résistance de la prise de terre du neutre : R_{Neutre} (*L'ouverture du point A est nécessaire pour permettre la mesure de couplage de la 1^{re} prise de terre du neutre)
- 2) - Idem mais avec E et ES reliés à M (terre des masses du réseau MT). (le neutre du BT est toujours déconnecté) ②
 - Effectuer la mesure de résistance de la prise de terre des masses : R_{Masses}
- 3) - Relier E et ES à M (Terre des masses MT) à l'aide de deux câbles de 50 m
 - Relier S et H à N (Terre du Neutre BT) à l'aide des deux câbles de 50 m
 - Effectuer la mesure de $R_{Masses/Neutre}$ ③
- 4) - Calculer le couplage : $R_{Couplage} = [R_{Masses} + R_{Neutre} - R_{Masses / Neutre}] / 2$
- 5) - Calculer le coefficient de couplage : $k = R_{Couplage} / R_{Masses}$
 - Ce coefficient doit être $< 0,15$ (directive EDF)

Important : Ne pas oublier de reconnecter A

Service-lecteur n° 7

CHAUVIN ARNOUX
 Pôle Test & Mesure
 Tél. : 01 44 85 44 85 - Fax : 01 46 27 73 89
 e-mail : info@chauvin-arnoux.fr



Méthode de mesure de couplage

Nos solutions pour vos mesures de terre

Selon la configuration de l'installation à contrôler (zone urbaine, possibilité de planter des piquets, réseau de terre...), vous allez opter pour une méthode de mesure plutôt qu'une autre.

Chauvin Arnoux vous propose une gamme complète de produits adaptés à vos besoins et à vos contraintes.

	Mesure de résistivité	MESURE DE TERRE			Mesure de couplage
		Méthode des 62 % Méthode en triangle	Variante des 62 %	Mesure de boucle L-PE	
C.A 6421 C.A 6423		■			
C.A 6425 TERCA 2	■	■			■
C.A 6115 N			■	■	

■ C.A 6421/6423/6425

Autonomes et fiables (validation de la mesure par auto-diagnostic), les contrôleurs de terre (C.A 6421/6423) et de résistivité / couplage (C.A 6425) ont été conçus pour un usage sur le terrain : boîtier chantier étanche et lisibilité d'affichage. Analogique (C.A 6421) ou numériques, ils permettent des mesures par les traditionnelles méthodes à piquets.

Gamme de mesure : C.A 6421 : de 0,5 à 1000 Ω (échelle log)

C.A 6423 /6425 : de 0,00 à 2000 Ω (3 cal. automatiques)

Service-lecteur n° 8



■ TERCA 2

Agréé par EDF, le TERCA 2 est une référence en mesure de terre, de résistivité et de couplage dans des conditions difficiles (tensions parasites, courants telluriques élevés...). L'appareil possède de nombreux atouts, comme la sélection du courant de test, la lecture directe de la mesure sur grand afficheur et les contrôles automatiques des conditions de mesure.

Gamme de mesure :

de 2 Ω à 20 k Ω (5 calibres)

Batterie incorporée rechargeable par chargeur interne.



Service-lecteur n° 9

■ C.A 6115N

Avec 14 mesures différentes possibles (isolement, continuité, rotation de phase, RCD...), ce contrôleur d'installation est le plus complet de sa génération. Il permet notamment d'effectuer une mesure de terre selon la méthode variante des 62 % (un piquet) ou une mesure de boucle sans faire disjoncter les différentiels.

Gamme « mesure un piquet » : de 0,15 Ω à 10 k Ω

Gamme « boucle » : de 0,08 Ω à 200 Ω (résistance et impédance)

Batterie incorporée rechargeable par chargeur interne.

Capacité mémoire de 800 mesures



Service-lecteur n° 10

■ C.A 6410 / 6412 / 6415 :

Pincettes de terre

Dans le cas d'un réseau de terres multiples en parallèle formant ainsi plusieurs boucles successives, les pincettes offrent l'avantage d'un contrôle rapide des terres en toute sécurité par simple enserrage.

Les C.A 6412 et 6415 permettent également la mesure de courants de fuite s'écoulant dans la terre.

La C.A 6415 dispose en plus d'une fonction alarme (si franchissement du seuil) et d'enregistrement (capacité mémoire de 99 mesures).

Gamme « résistances » : de 0,10 Ω à 1200 Ω

Gamme « courant RMS » : de 1 mA à 30,00 A

Piles ou accumulateurs rechargeables.

Service-lecteur n° 11



CHAUVIN ARNOUX
Pôle Test & Mesure
Tél. : 01 44 85 44 85 - Fax : 01 46 27 73 89
e-mail : info@chauvin-arnoux.fr