



01/2021

Mesure et documentation de la résistance de terre

La Communauté d'intérêts des entreprises de contrôle d'installations électriques IGK a demandé à l'ESTI si la mesure de la résistance de terre est prescrite et quelles valeurs de mesure doivent être atteintes. Cet article cite les normes applicables et donne des explications concernant les prescriptions de l'ESTI.

IGK constate qu'en pratique, il arrive souvent qu'aucune mesure de la résistance de terre ne soit effectuée sur les nouveaux dispositifs de mise à la terre ou en cas de modification d'un dispositif de mise à la terre, bien que la résistance de terre soit essentielle pour la sécurité et doit être documentée dans le rapport de sécurité.

Partie 1 : Introduction à la thématique

Les mises à la terre sont des composants essentiels de nos systèmes d'alimentation en énergie électrique. Elles ont différents usages, mais servent en particulier à mettre au même potentiel les circuits et les parties d'installation (liaison équipotentielle). Les mises à la terre sont en outre indispensables pour pouvoir établir des mesures de protection efficaces contre les chocs électriques dans les systèmes TN et TT. Elles sont aussi utilisées pour prévenir les surtensions, notamment les surtensions dues à la commutation ou les surtensions atmosphériques, dans les installations électriques. Les conduites et les dépôts de carburants doivent eux aussi être correctement mis à la terre, en ce qui concerne la protection contre la corrosion. De nos jours, les conducteurs de terre sont de plus en plus importants, y compris en lien avec la compatibilité électromagnétique (CEM). Les mesures de protection avec des conducteurs de protection tout comme la protection contre les surtensions nécessitent des mises à la terre à basse impédance. Les contrôleurs électriciens et les personnes compétentes qui contrôlent les installations doivent toujours se demander si, parmi les procédés de mesure disponibles, la méthode donnée est appropriée et utile pour la mesure de protection qu'il s'agit de contrôler. C'est la principale difficulté.

Résistance de terre

Qu'est-ce que la résistance de terre ? À proprement parler, il faudrait parler de résistance de passage à la terre. Il s'agit de la résistance électrique produite entre le matériau de l'électrode de terre et la terre elle-même (image 1). L'électrode de terre en tant que telle n'a pratiquement aucune résistance. Grâce aux grands diamètres employés (30 mm x 3 mm pour les conducteurs acier/ 25 mm x 2 mm cuivre, 50 mm² pour la corde de cuivre ou 10 mm pour les tringles d'acier rond), la résistance de l'électrode de terre est inférieure à un milli ohm par mètre. La terre (à savoir le sol) en tant que telle est également une relativement bonne conductrice. Sa résistance dépend principalement des caractéristiques du sol, de l'humidité et de la température. Ce qui est déterminant pour la fonction de l'électrode de terre, c'est la résistance de contact à sa surface (image 1). Une mise à la terre se compose de la ligne de terre, de l'électrode de terre et de la résistivité du sol. (Image 2)



Image 1 : Un expert doit contrôler la bonne exécution des installations de mise à la terre avant le remblayage et la terre de fondation **avant le bétonnage** ; alternativement, d'entente avec l'autorité de prévention des incendies ou l'organe de contrôle, il convient de documenter la bonne exécution par des photographies.
Voir : SNG 483755 + SNR 464113

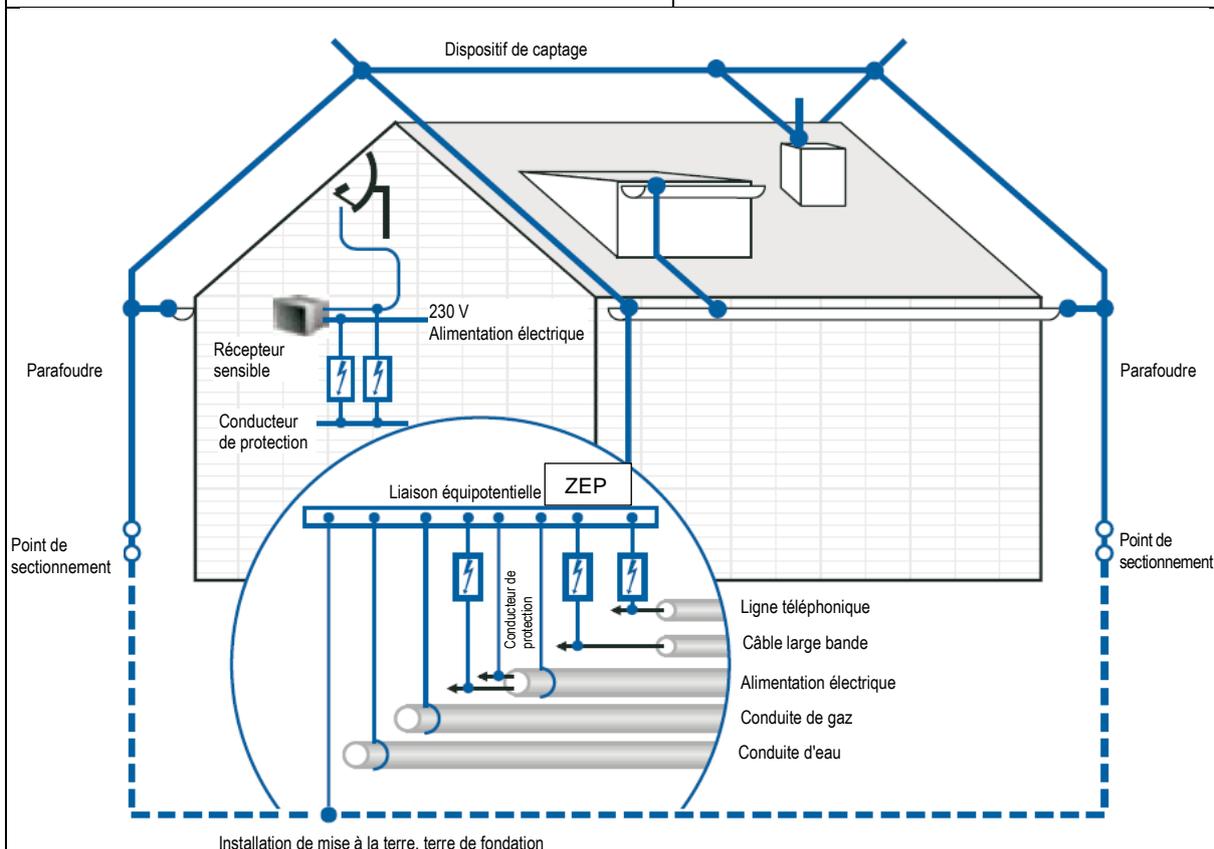


Image 2 : Les systèmes interne et externe de protection contre la foudre doivent être régulièrement contrôlés par des personnes formées à cet effet.

Mise à la terre avec un point de mise à la terre central (ZEP) Liaison équipotentielle de protection, barre de mise à la terre principale.

Source : Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB; comité pour la protection contre la foudre et la recherche) du VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik, association allemande consacrée à l'électrotechnique, à l'électronique et aux technologies de l'information)



Choix du courant de défaut assigné du dispositif de protection à courant différentiel-résiduel (DDR)

Dans les réseaux TT primaires, ainsi qu'en théorie dans les réseaux TN, la résistance de terre maximale autorisée est limitée par le dispositif de protection à courant différentiel-résiduel (DDR) utilisé. Dans un réseau TT, l'électrode de terre de l'installation a la majeure partie de la résistance du système global. Or, en cas de défaut, l'électrode de terre de l'installation doit laisser passer suffisamment de courant pour que le DDR puisse se déclencher avant que la tension de contact maximale autorisée soit atteinte dans l'installation. La résistance de terre maximale dépend donc du DDR avec le plus grand courant différentiel assigné :

$R_A = \frac{U_B}{I_{\Delta N}}$	<p>R_A = résistance de terre lors du déclenchement du DDR U_B = tension de contact max. 50V $I_{\Delta N}$ = courant de déclenchement nominal réglé sur le DDR 10 mA / 30 mA / 300 mA</p>
----------------------------------	---

En pratique, cela donne les valeurs indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : résistances de terre maximales en fonction du courant différentiel assigné d'un DDR et de la tension de contact autorisée

Courant différentiel assigné du DDR $I_{\Delta N}$	Résistance de terre maximale pour $U_B = \text{max. } 50 \text{ V}$
10 mA	5000 Ω
30 mA	1650 Ω
300 mA	165 Ω

Valeurs limites et valeurs guides pour des cas d'application particuliers

Concernant le respect des mesures de protection, il n'y a pas de valeur limite globale qui indique quelle doit être la résistance de terre d'une installation. Il y a plutôt, pour certains cas d'application spécifiques, différentes valeurs limites permettant de respecter la tension de contact et/ou le temps de coupure (tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs limites, valeurs indicatives de la résistance de terre pour des exemples de cas d'application spécifiques

Résistance de terre maximale autorisée R_E	Description	Prescription/norme
10 Ω	Protection contre la foudre : résistance de terre de la protection antifoudre externe avec terre de fondation	SNR 464022:2015 – 6.3.5 Conditions particulières pour un parafoudre



20 Ω Valeurs de référence	Aucune valeur particulière prescrite, mais les années d'expérience ont montré que l'impédance de prise de terre ne doit pas dépasser 20 Ω . La prise de terre séparée doit être dimensionnée et disposée de telle manière que les conditions de l'article 55 et de l'article 57, alinéa 2, soient remplies.	SNG 483755:2019 – 10.1.3 Dimensionnement de la prise de terre séparée Tous les bâtiments pourvus de systèmes TN sans stations transformatrices Toutefois temps de coupure respectés = 0,4 s ou 5 s NIBT 4.1.1.3.2.
1.6 Ω	Si le courant d'effacement d'une station transformatrice est de 30 A, la résistance de terre à 50 V/30 A \triangleq peut être de 1,6 Ω au maximum. Le point central du transformateur est mis à la terre et connecté au conducteur PEN de la basse tension.(mise à la terre du système)	Ordonnance sur le courant fort, art. 54, 55, 61 dans les bâtiments équipés de stations transformatrices dans les réseaux compensés ou temps de coupure respectés : $50V \triangleq 5 \text{ s}$ $U1-t1 \text{ 500V } \triangleq 0.1 \text{ s}$ $U2-t2 \text{ 80V } \triangleq 0.8 \text{ s}$
0.44 Ω	Dans les bâtiments pourvus d'un système TN;TT et les sous-stations avec courant d'effacement 30 A, la résistance de terre doit être inférieure à 0,44 Ω (voir l'exemple ci-dessous).	Conformément aux art. 54, 55, 61 de l'ordonnance sur le courant fort, $1,6 / 3,6 \triangleq 0,44 \Omega$
1 Ω Valeurs de référence Les connexions avec le système de mise à la terre telles que l'efficacité de la liaison équipotentielle de protection	La liaison entre tous les points de raccordement et le système de mise à la terre doit être vérifiée au moyen d'un test de continuité (mesure à basse impédance ; valeur de référence $\leq 1 \Omega$).	SNR 464022:2015 – 11.3. Systèmes de protection contre la foudre Conditions particulières



Système TN / TT et exemple de l'ordonnance sur le courant fort

La NIBT 2020 (SN 411000:2020) prescrit la relation suivante pour le système TN et TT (NIBT 4.1.1.4.1) :

$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50}$	<p>$R_B \triangleq$ la résistance de terre de toutes les électrodes de terre parallèles</p> <p>$R_E \triangleq$ la plus petite résistance de parties conductrices étrangères qui se trouvent en contact avec la terre et ne sont pas reliées à un conducteur de protection et par lesquelles un défaut entre conducteur de phase et la terre peut apparaître</p> <p>$U_0 \triangleq$ La tension alternative assignée du conducteur de phase contre la terre</p> <p>50 V : tension de contact maximale pour le contact permanent</p>
--	--

Exemple : selon l'ordonnance sur le courant fort et SNG 483755:2019

Calcul de la résistance de terre pour le système TT au moyen de la formule de la NIBT, car il y a une réaction du réseau (moyenne tension).

$$230 \text{ V } (U_0) - 50 \text{ V} = 180 \text{ V}$$

$$180 \text{ V} / 50 \text{ V} \triangleq 3,6 \text{ fois moins élevée}$$

Si le courant d'effacement d'une station transformatrice est de 30 A, la résistance de terre à 50 V/30 A \triangleq peut être de 1,6 Ω au maximum. Si l'on divise la résistance de terre par le facteur calculé de 3,6, l'on obtient au maximum \triangleq 0,44 Ω au coupe-surintensité général.

Résultat : la résistance de terre dans la maison avec poste de transformation et TT ne doit pas dépasser 0,44 Ω .

Constatations de l'ESTI relatives à la tension de contact en lien avec la résistance de terre

Afin de réduire la tension de contact, le PEN est relié à la terre au conduit d'entrée. Le retour du conducteur PEN en parallèle au conducteur de la terre présente de ce fait une impédance plus basse et l'impédance de boucle/ la tension de contact diminue. Système de sécurité à deux boucles, une fois conducteur PEN et une fois conducteur de terre.

- Plus un système contient de mises à la terre, plus la tension de contact possible est faible (image 3).
 - le courant de fuite en cas de défaut est par conséquent moins élevé



- en cas de dommage, le courant de court-circuit augmente, ce qui diminue le temps de coupure ; les coupe-surintensité se déclenchent plus rapidement.
- Si le diamètre du conducteur PEN est réduit, la tension de contact dépasse 115 V (par ex. 3 x 50 + 2 x 25 mm²). Ceci est désormais déconseillé. Interdit pour les installations raccordées au réseau selon l'ordonnance sur le courant fort.
- La tension de contact est toujours un élément de la tension de défaut/tension de prise de terre. Image 4
- La tension de défaut est la tension de contact maximale.

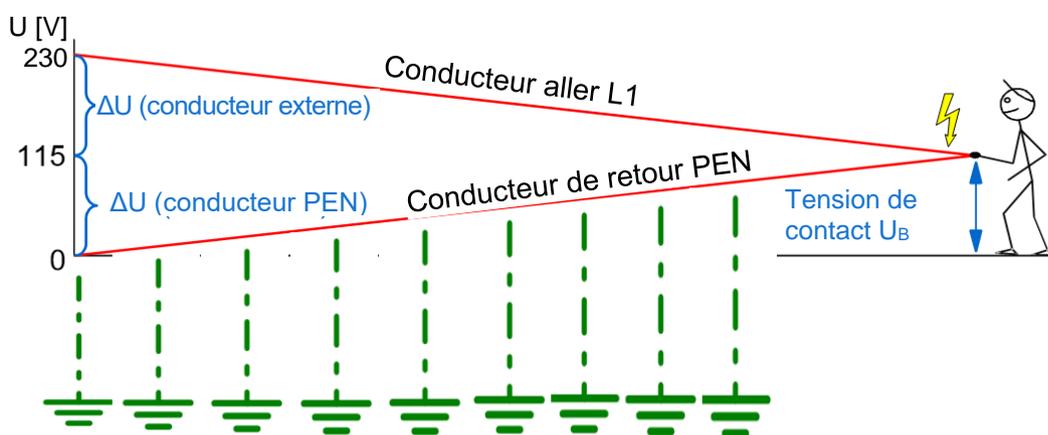


Image 3 : tension de contact

Facteurs influençant la mesure

La résistance de terre n'est pas toujours très facile à déterminer. Elle dépend en grande partie de divers facteurs environnementaux :

- humidité du sol
- température
- profondeur d'installation

Ces facteurs peuvent entraîner jusqu'à une modification avoisinant les 50 % de la valeur de mesure ! Les caractéristiques du sol, combinées aux intempéries et aux variations saisonnières, font que l'efficacité de l'électrode de terre de l'installation dépend fortement des connaissances techniques et des estimations des installateurs électriciens et des personnes compétentes chargées de la planification et de la mise en œuvre.

Les valeurs de mesures peuvent aussi être considérablement influencées par les tensions parasites et les courants vagabonds dans le sol. Afin d'exclure cela, les appareils de mesure modernes utilisent des fréquences « non harmoniques ». Celles-ci n'apparaissent normalement pas dans les systèmes électriques utilisés sur



place. Selon l'appareil utilisé, ces fréquences peuvent être sélectionnées librement pour la mesure (par ex. 91 Hz, 97 Hz, 111 Hz, 128 Hz, jusqu'à 2083 Hz).

Afin d'éviter que des phénomènes de polarisation à la transition entre l'électrode de terre métallique et le sol ou dans le sol lui-même ne puissent falsifier les mesures, on mesure en principe au courant alternatif. La tension de mesure aux bornes ouvertes de l'appareil peut dépasser 50 V, mais dans ce cas, le courant à vide doit être limité à 10 mA.

Il existe toutefois aussi des mesures standardisées avec une fréquence allant jusqu'à 25 kHz, destinées à prouver la capacité à écouler des courants de fuite ou d'installations émettrices à haute fréquence. Certains appareils de mesure de la mise à terre très spécialisés peuvent effectuer une mesure par impulsion afin de simuler le comportement électrique en cas de foudre (impédances, réactances).

Conclusions :

Les valeurs de résistance de terre prescrites dans les normes doivent être respectées dans toutes les situations.

L'évaluation de la **sécurité** d'une installation électrique et de son système de mise à la terre **pour les personnes** se fait en se basant sur les tensions maximales susceptibles de survenir (tensions de contact et de pas) conformément aux art. 54, 55, 61 de l'ordonnance sur le courant fort.

Outre celles prévues à l'art. 37, al. 1, OIBT, le rapport de sécurité (RS) doit contenir toutes les données nécessaires à l'évaluation de la sécurité d'une installation électrique (art. 13 O-DETEC). En particulier, la description des **mesures et des organes de protection** et leur appréciation doit nécessairement et impérativement figurer dans le RS.

L'électrode de terre avec le conducteur de terre étant un élément des **mesures de protection** TN / TT, il faut mesurer la résistance de terre et la documenter dans le protocole de mesure et/ou le rapport de sécurité.

- La protection contre la foudre est documentée dans le protocole de mesure conformément à SNR 464022:2015.
- Un protocole de mesure est nécessaire selon l'ordonnance sur le courant fort.

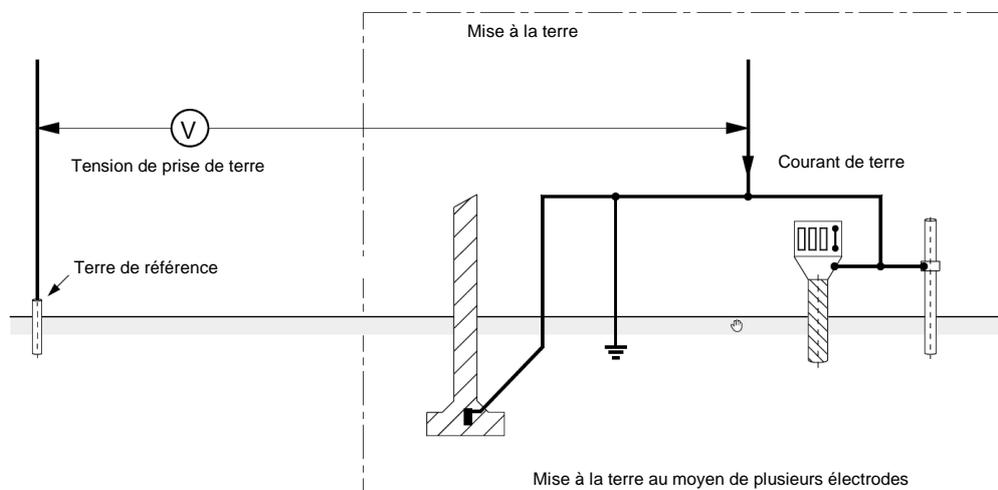


Image 4 : Dimensions de la mise à la terre selon l'ordonnance sur le courant fort : la tension mesurée entre une électrode de terre et la terre de référence « vers l'extérieur » (sol neutre) est appelée tension de défaut (tension de prise de terre). La tension entre des parties conductrices quand elles sont touchées simultanément par une personne ou un animal fait partie de la tension de prise de terre (tension de contact). Source : SNG 483755:2019

Conclusion

Bien que souvent négligée en pratique, la mesure de la résistance de terre des systèmes et installations électriques est prescrite et doit être effectuée au moyen d'une méthode appropriée. Ce faisant, il s'impose de respecter les résistances de terre maximales prescrites dans les normes en fonction de la situation. En outre, il faut consigner la conception technique du système de mise à la terre et établir les protocoles de mesure correspondants, soit dans le rapport de sécurité, soit dans un protocole de mesure approprié, soit dans les deux.

Daniel Otti, directeur ESTI

André Moser, expert technique / préposé à la sécurité

Inspection fédérale des installations à courant fort ESTI

Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf

Tél. +41 58 595 18 18

info@esti.admin.ch

www.esti.admin.ch

Bibliographie :

Ordonnance sur le courant fort et système TT art. 54, 55, 61



Ordonnance sur les installations à basse tension, chapitre 4, section 3 OIBT :

Rapport de sécurité

Art. 13 ordonnance du DETEC (O-DETEC; RS 734.272.3)

NIBT 4.1 et NIBT 6.1.3.6.2.1 – Mesure de la résistance de terre

SNG 483755:2019 – 12.1 Nécessité et but des mesures de mise à terre

SNR 464113:2015 – 8. Documentation et réception

SNR 464022:2015 – 6.3.5 +11.3 Conditions particulières



Annexe: Mesures de mise à terre, mesures de résistance :

Les diverses méthodes de mesure de la mise à la terre reposent toutes plus ou moins sur le principe de la simple mesure de résistance, qui consiste à mesurer, dans un circuit, la chute de tension sur une résistance afin de déterminer la résistance :

$R_E = \frac{U_E}{I_E}$	<p>RE = Résistance de terre globale</p> <p>UE = Tension en-dessus de l'électrode de terre (tension de l'électrode de terre)</p> <p>IE = Courant traversant l'électrode de terre</p>
-------------------------	---

Principe de la mesure :

Le principe de la mesure de mise à terre repose sur la mesure de la chute de tension sur la résistance de terre à mesurer. Connaissant le courant qui traverse l'électrode de terre, en mesurant la tension, on peut calculer la résistance de terre au moyen de la loi d'Ohm. Toutefois, le problème de la mesure de mise à terre est qu'il faut contacter la mesure de tension quelque part :

- une fois sur l'électrode de terre et
- une fois dans le sol idéal, éloigné et neutre.

Il existe plusieurs procédés qui conviennent pour la mesure : images 5-8

- mesure courant/tension
- mesure par comparaison de tension
- méthode de pontage
- mesure de la résistance de boucle



Les mesures de mise à terre sont effectuées au courant alternatif.

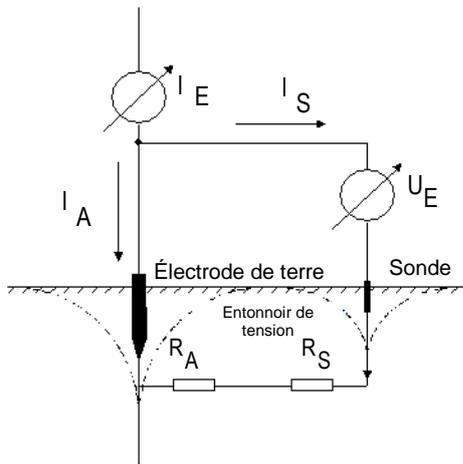


Image 5 : procédé pour la mesure de courant/tension

Avantage : une seule sonde et courant de mesure jusqu'à 5 A depuis le réseau

Inconvénient : nécessite un sol neutre et dépend de la tension du réseau 230 V 50 Hz

Pas possible derrière un DDR !

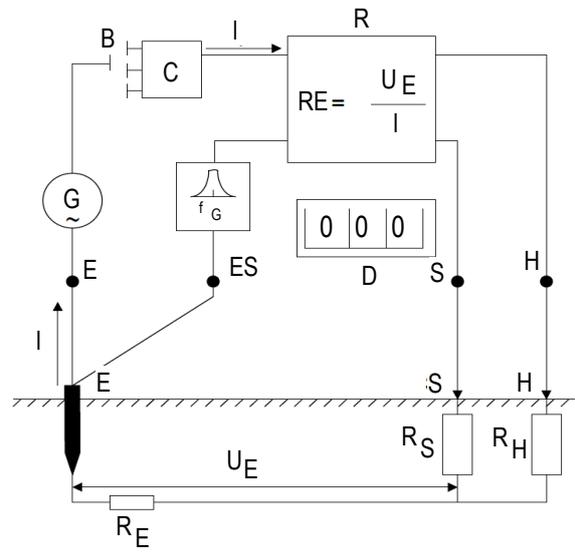


Image 6 : mesure de la mise à terre selon Wenner ou Schlumberger, méthode à 3 points

Avantage : indépendant de la tension

Inconvénient : il faut 2 sondes et un sol neutre, difficile dans une ville (méthode ville : mesure de continuité < 1 Ω)

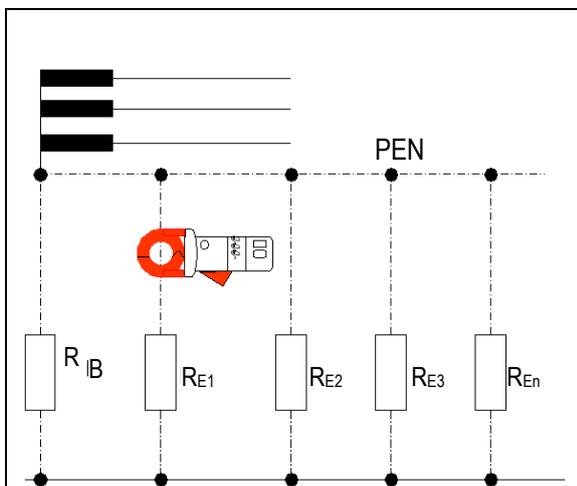


Image 7 : La méthode très répandue de la mesure par boucles de mise à terre au moyen d'une pince de mesure de résistance de terre ne suffit pas à elle seule pour mesurer la résistance de terre.

Avantage : Source de tension propre et fréquence jusqu'à 2083 Hz

Pas besoin de déconnecter la ligne de terre.

La boucle de mise à la terre est toujours supérieure à la résistance de terre effective.

Inconvénient : il s'agit d'une mesure de boucle de mise à la terre et non d'une mesure de la mise à la terre, on doit savoir ce qu'on mesure (interprétation).

Ne dépend pas du système, mais du spécialiste.

Conseil pratique :

Si la boucle de mise à la terre est ouverte, on ne peut pas mesurer, ou alors il faut relier artificiellement la boucle avec un câble de test.

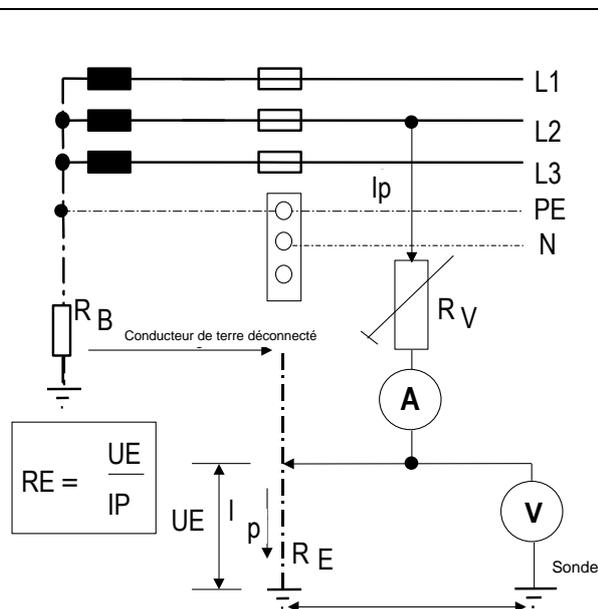


Image 8 : mesure de la mise à la terre à l'aide de la tension du réseau

Avantage : la tension 230 V se trouve partout

Inconvénient : Le conducteur de phase est inclus dans la boucle, ce qui signifie qu'il faut toujours soustraire la résistance de l'électrode de terre moins la 1/2 de la boucle de réseau.

Pas possible derrière un DDR !

$$R_E \triangleq a - R_i / 2$$

R_E = Résistance de terre

R_i = Résistance interne du réseau

a = Valeur lue lors de la première mesure