

FLUKE®

Principes de la résistance de mise à la terre

Créé en collaboration
avec Fluke Corporation



Glen A. Mazur

FLUKE®

Créé en collaboration
avec Fluke Corporation

Résistance de mise à la terre



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS
ORLAND PARK, ILLINOIS 60467-5756

Glen A. Mazur

Le manuel *Résistance de mise à la terre* contient des procédures communément déployées dans l'industrie et dans la pratique. Notez toutefois que la procédure exacte variera en fonction de chaque tâche. Dans tous les cas, elle devra être réalisée par un technicien qualifié. Pour une sécurité optimale, tenez toujours compte des recommandations particulières du fabricant, des réglementations spécifiées par l'assurance, des procédures en vigueur sur le site de travail et au niveau de l'installation, comme au niveau local, national et fédéral, ainsi que de toute loi et autorité applicable dans un tel cadre juridique. Les informations fournies ont pour seul but d'informer l'utilisateur. American Technical Publishers, Inc. et Fluke Corporation ne pourront être tenus responsables en cas de réclamation, de perte ou de dommage, personnel ou matériel, causé par la seule observation de ces informations.

American Technical Publishers, Inc., équipe de rédaction

Rédacteur en chef :

Jonathan F. Gosse

Vice-président — Production :

Peter A. Zurлис

Responsable artistique :

Jennifer M. Hines

Directeur des médias numériques :

Carl R. Hansen

Réviseur technique :

James T. Gresens

Réviseur :

Talia J. Lambarki

Conception de la couverture :

Jennifer M. Hines

Illustration/mise en page :

Thomas E. Zabinski

National Electrical Code et NEC sont des marques déposées de la National Fire Protection Association, Inc.

© 2014 par American Technical Publishers, Inc. et Fluke Corporation.
Tous droits réservés.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 14 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Imprimé aux États-Unis d'Amérique

ISBN 978-0-8269-1436-1



Manuel imprimé sur du papier recyclé.



Table des matières

Chapitre 1

Méthodes de mise à la terre et exigences correspondantes **1**

Mise à la terre • Systèmes de mise à la terre • Catégories de mise à la terre • Valeurs de résistance de terre • Méthodes de mise à la terre

Chapitre 2

Test d'équipement et de systèmes mis à la terre **9**

Moment auquel démarrer un test • Tests de terre • Résistivité du sol • Mesures de résistance de terre à quatre bornes • Méthodes de test de système de mise à la terre • Principes de mesures de résistance de terre • Test de résistance de terre à trois pôles • Procédure de mesure de résistance de terre à trois pôles • Test de résistance de terre par la méthode de la chute de potentiel à trois/quatre pôles • Test sélectif de résistance de terre • Tests de résistance de terre sans piquet • Procédure de test de résistance de terre sans piquet • Testeurs de démarrage à distance

Chapitre 3

Problèmes liés à la mise à la terre et solutions **29**

Dépannage • Problèmes de résistance du sol • Problèmes d'installation d'électrode de mise à la terre • Installation du système d'électrode de mise à la terre • Utilisation de plusieurs électrodes de mise à la terre • Problèmes de fonctionnement • Problèmes de boucle de terre • Courant de défaut à la terre du circuit

Chapitre 4

Dépannage et maintenance préventive du système **41**

Connexions desserrées • Connexions à la terre incorrectes • Multiples connexions du neutre à la terre • Courant de terre élevé —Claquage d'isolement • Mesure des courants du système de mise à la terre

Annexe **51**

Glossaire **53**

Index **55**

Méthodes de mise à la terre et exigences correspondantes

Les systèmes de mise à la terre sont installés pour protéger le personnel, les équipements et les bâtiments de défauts à la terre indésirables et dangereux. Les catégories de mise à la terre comprennent la mise à la terre et la liaison pour la protection des personnes (protection contre les défauts), les électrodes de mise à la terre, la protection contre la foudre et les systèmes de référence du signal. Les systèmes de mise à la terre sont testés pour s'assurer que les valeurs de résistance de terre adéquates sont présentes dans le système. Plusieurs méthodes sont utilisées pour fournir la mise à la terre et sont basées sur les exigences du National Electric Code® (NEC®).

MISE À LA TERRE

La *mise à la terre* est une connexion conductrice de faible résistance entre les circuits électriques, les équipements et la terre. La mise à la terre et un câblage corrects sont requis dans toute installation électrique pour le bon fonctionnement des équipements en toute sécurité. Le câblage correct exige qu'un système, toutes les charges et les composants du circuit, soit correctement mis à la terre conformément aux normes de l'industrie, IEEE et autres organismes, normes, guides et recommandations homologués. Cela s'ajoute à toute exigence du fabricant d'équipement d'origine pour un bon fonctionnement en toute sécurité. Les codes électriques et les organismes d'élaboration de normes courants sont les suivants :

- National Electric Code (NEC®)
- Occupational Safety Health Administration (OSHA)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- International Electrotechnical Commission (IEC)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

Un système de mise à la terre doit non seulement être installé correctement, mais également être conçu pour fonctionner pendant la durée de vie prévue du système électrique et continuer à fonctionner correctement même après avoir subi d'importants défauts de courant. Afin de s'assurer qu'un système de mise à la terre est correctement installé, en bon état de fonctionnement et qu'il fonctionne de nombreuses années, plusieurs tests doivent être effectués avant, pendant et après l'installation du système. Les tests du système de mise à la terre peuvent impliquer la prise des mesures suivantes de tension, d'intensité et de résistance :

- la tension du système
- la tension due à l'électricité statique
- l'intensité du système
- l'intensité du courant de fuite
- la résistance du système de mise à la terre
- la résistivité du sol
- le pH du sol

ASTUCE TECHNIQUE

Les systèmes électriques doivent être raccordés à une électrode de mise à la terre.

Les mesures de résistivité du sol permettent de déterminer la résistivité du sol, et ainsi le meilleur emplacement pour le positionnement de l'électrode de mise à la terre, de la grille ou du système de mise à la terre. La valeur de résistivité du sol doit être déterminée avant l'installation d'un système de mise à la terre. La résistance à la terre du système de mise à la terre est mesurée après l'installation du système de mise à la terre pour s'assurer que celui-ci n'excède pas la résistance maximale requise définie par la norme NEC® et d'autres recommandations et règlements de mise à la terre. Des mesures de pH du sol sont parfois prises pour déterminer quel métal (cuivre, acier inoxydable ou acier galvanisé) est le meilleur matériel à utiliser dans un emplacement précis.

Les tests du système de mise à la terre sont importants lors de l'installation initiale, mais ils sont tout aussi importants dans le cadre d'un programme de maintenance préventive régulière. Cela est dû au fait qu'un système de mise à la terre peut s'endommager au fil du temps en raison de conditions telles qu'un sol corrosif, des connexions électriques desserrées et des composants endommagés. Des tests doivent être effectués à intervalles réguliers, car les conditions environnementales peuvent changer. Par exemple, l'assèchement du sol modifie la teneur en humidité et peut entraîner des modifications dans le système de mise à la terre. Les tests d'un système de mise à la terre sont effectués pendant et après l'installation du système à l'aide de testeurs de terre (masse) et de pinces multimètres de terre. **Voir Figure 1-1.**



Figure 1-1. Les tests d'un système de mise à la terre sont effectués pendant et après l'installation du système à l'aide de testeurs de terre (masse) et de pinces multimètres de terre.

SYSTÈMES DE MISE À LA TERRE

La fonction d'un système de mise à la terre est de fournir un chemin sécuritaire pour l'écoulement du courant de défaut. *Un courant de défaut* est un courant qui parcourt un chemin autre que le chemin de fonctionnement normal pour lequel un système a été conçu. La mise à la terre correcte des outils électriques, machines, équipements et systèmes de distribution est un facteur important dans la prévention des situations dangereuses et dans le fonctionnement correct des équipements électriques et électroniques.

Un système global de mise à la terre comprend divers systèmes ou sous-systèmes ayant différentes fonctions, telles que le système d'électrode de mise à la terre. Le système d'électrode de mise à la terre fournit la référence zéro pour l'installation électrique, le système de protection contre la foudre, le système de liaison pour la sécurité du personnel et le système de protection de signal. Ils sont tous reliés entre eux au moyen de conducteurs et de connecteurs pour former un plan equipotentiel.

Les conducteurs comprennent les câbles, les connexions (bornes), les raccords, l'électrode de mise à la terre (électrode de terre, grille ou système) et le sol. La mise à la terre d'un système électrique se fait en raccordant le circuit de mise à la terre à une électrode métallique souterraine, à l'armature métallique d'un bâtiment, à une électrode encastrée dans le béton, à un anneau de mise à la terre ou par toute autre méthode de mise à la terre homologuée. **Voir Figure 1-2.**

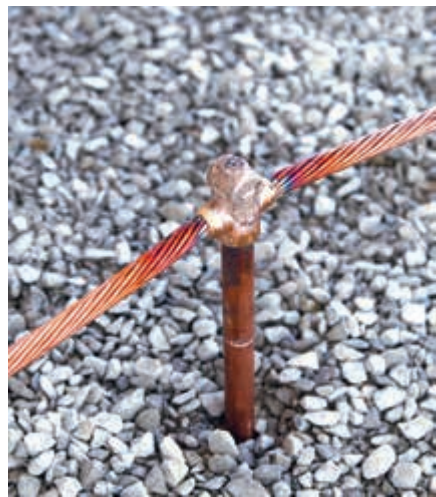
Sous-systèmes de mise à la terre

Chacun des systèmes de mise à la terre énoncés ci-dessus est spécialisé dans un

but différent et lorsqu'ils sont combinés, ils fournissent un système de mise à la terre sécuritaire et efficace pour les personnes et les équipements. **Voir Figure 1-3.**

Mise à la terre des équipements électroniques. Les équipements électroniques sont correctement mis à la terre pour fournir une bonne masse permettant une meilleure communication des systèmes électroniques, avec moins de bruit, avec des équipements de contrôle de processus et d'autres systèmes.

Une bonne mise à la terre réduit les charges électrostatiques, ce qui permet de préserver l'intégrité du signal pour les équipements sensibles de sécurité, médicaux et traitant des données, du son ou des vidéos ; les automates programmables (PLC) ; les commandes numériques par ordinateur (CNC) ; les variateurs de fréquence (VFD) ; et d'autres équipements électroniques. La fiabilité du signal est difficile à maintenir dans les équipements électroniques où de nombreux signaux transmettent des données à 5 V ou moins.



Les systèmes de terre des bâtiments peuvent être identifiés par un câble en cuivre tressé dénudé relié à des tiges de terre en cuivre.

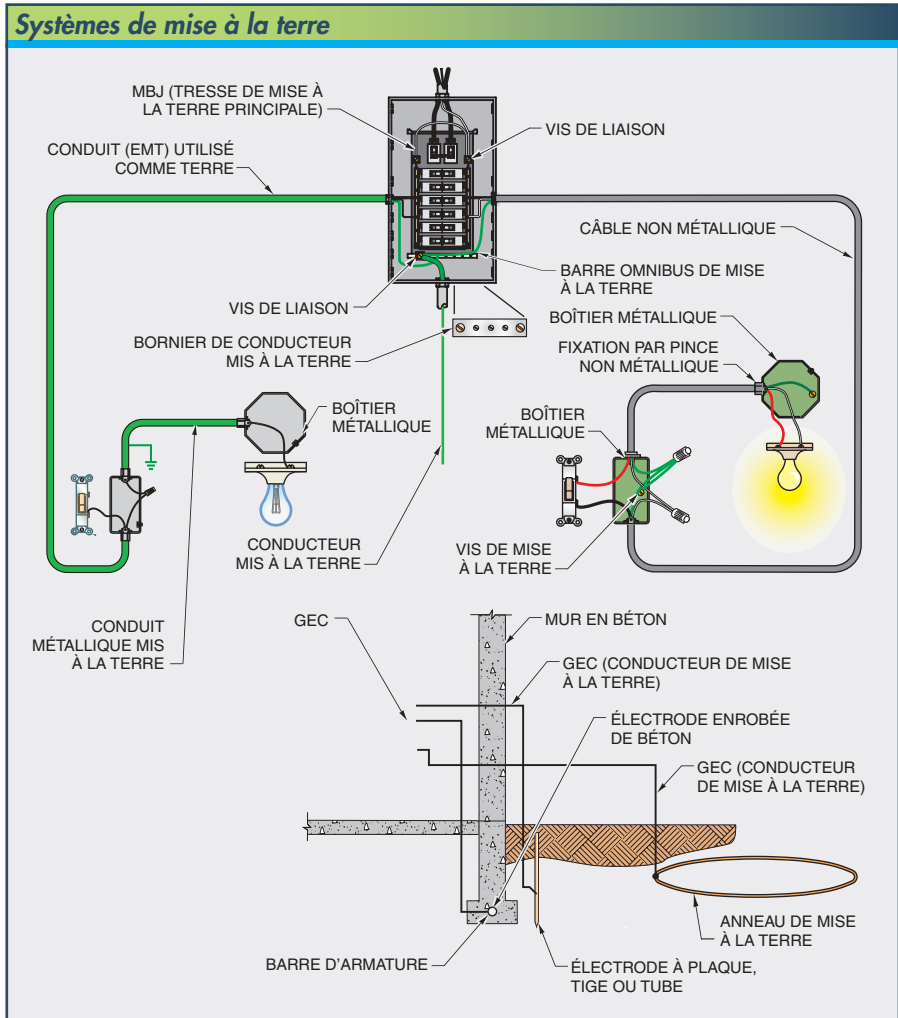


Figure 1-2. La mise à la terre d'un système électrique se fait en raccordant le circuit de mise à la terre à une électrode métallique souterraine, à la structure métallique d'un bâtiment, à une électrode encastrée dans le béton, à un anneau de mise à la terre ou par toute autre méthode de mise à la terre homologuée.

Liaison des équipements électriques. Les équipements électriques sont liés ensemble pour réduire les risques d'électrocution au moyen de la mise à la terre de tous les métaux exposés non porteurs de courant. La raison la plus importante pour

lier les équipements est d'éviter l'électrocution lorsqu'une personne entre en contact avec un équipement électrique ou un métal exposé.

Les parties métalliques non porteuses de courant qui sont connectées à un système

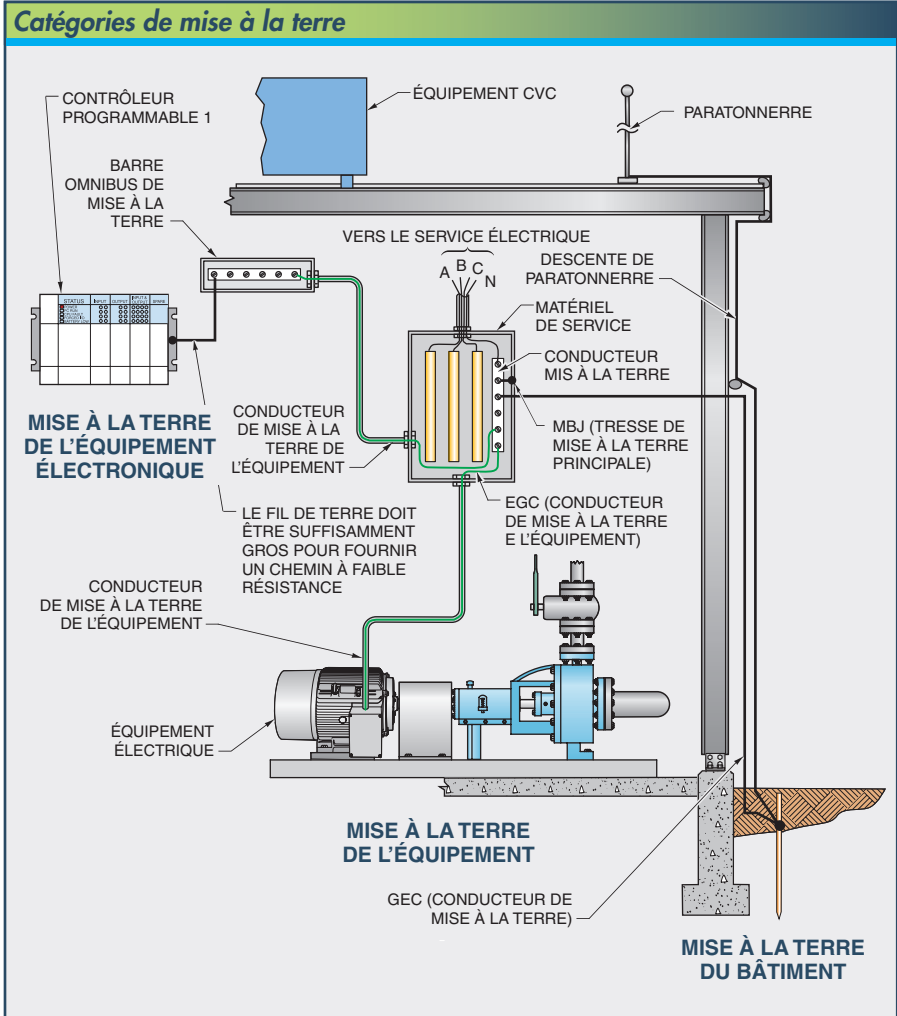


Figure 1-3. Les trois catégories de mise à la terre sont la mise à la terre des équipements électroniques, la mise à la terre des équipements et la mise à la terre des bâtiments.

de mise à la terre sont notamment toutes les boîtes métalliques, les goulottes métalliques, les boîtiers, les pièces métalliques et tout métal pouvant être touché par une personne et situé à proximité d'un circuit électrique. Un courant de défaut peut exister

en raison d'une défaillance de l'isolement ou d'un câble porteur de courant en contact direct avec une partie métallique non porteuse de courant d'un système.

Dans un système correctement mis à la terre, le passage d'un courant de défaut

doit déclencher le dispositif de protection contre les surtensions (fusible ou disjoncteur). Lorsqu'un fusible saute ou qu'un disjoncteur est déclenché, le circuit s'ouvre et aucun courant ne circule. La mise à la terre des équipements contribue également à prévenir l'électrocution causée par l'électricité statique et l'accumulation de charges électrostatiques dans les équipements. L'électricité statique peut également provoquer des incendies et des explosions en cas d'accumulation.

Systèmes de mise à la terre. Un *système de mise à la terre* permet de connecter un système électrique à la terre en utilisant des électrodes de mise à la terre, telles que l'armature métallique du bâtiment, des électrodes encastrées dans le béton, un anneau de terre ou toute autre méthode de mise à la terre homologuée. La mise à la terre des bâtiments permet de s'assurer de la présence d'un chemin de mise à la terre de faible impédance (faible résistance) vers la terre pour le courant de défaut (en cas de court-circuit vers la terre ou de foudre). Une *terre de faible impédance* est un chemin de mise à la terre qui présente une très faible résistance au passage du courant de défaut vers la terre.



Les systèmes d'électrode de mise à la terre doivent être régulièrement testés avec un testeur de résistance de terre pour vérifier que la résistance est assez faible pour correctement protéger les équipements et les personnes.

L'ensemble du système de mise à la terre comprend également un système de protection contre la foudre permettant de protéger le bâtiment, une colonne de refroidissement ou une structure extérieure contre la foudre en fournissant un courant de foudre, un chemin vers la terre. Un système de protection contre la foudre doit également présenter une faible résistance en raison des exigences de courant élevé causées par la foudre. Une défaillance d'une partie quelconque d'un système de mise à la terre lors d'un coup de foudre augmente sensiblement le risque d'embranchement électrique pouvant causer un incendie et des dommages au bâtiment.

Valeurs de résistance de terre

Il existe différentes valeurs de résistance maximale d'un système de mise à la terre selon les motifs de la mise à la terre. Par exemple, l'industrie électronique exige une résistance de terre plus faible que la norme NEC®, pour la protection des équipements électroniques sensibles. L'objectif principal de la mise à la terre et de la liaison est d'éliminer le courant de défaut aussi vite que possible. La norme NEC® stipule que si l'électrode de mise à la terre est une tige, un tube ou une plaque unique, elle doit avoir une résistance à la terre de 25 Ω ou moins.

La mise à la terre des équipements électroniques sensibles est principalement conçue pour réduire du bruit électronique grâce à l'utilisation d'une masse pour éliminer le bruit et autres interférences induites indésirables ou signaux. Le courant indésirable éliminé vers la terre par les systèmes de mise à la terre électroniques est généralement mesuré en milliampères et continue de circuler tant que l'équipement électronique est connecté. Les fabricants de systèmes et équipements électroniques indiquent généralement des systèmes de mise à la terre avec une résistance de 5 Ω ,

3 Ω , 1 Ω ou moins.

Un système de mise à la terre fonctionnant correctement doit satisfaire aux exigences et besoins des équipements électroniques, du bâtiment et des équipements électriques. Toutes les exigences de mise à la terre peuvent être satisfaites en installant un système de mise à la terre présentant la résistance la plus basse possible et en installant un système à longue durée de vie. Les valeurs suivantes de résistance, ou impédance, maximale doivent être satisfaites sauf indication contraire expresse par les organismes agréés :

- La résistance de terre pour l'industrie électronique et les télécommunications est généralement de 5 Ω ou moins.
- Les électrodes de mise à la terre à tige, tube ou plaque unique doivent présenter une résistance à la terre de 25 Ω ou moins (exigence NEC®).
- Pour les systèmes de protection contre la foudre par mise à la terre, l'industrie exige généralement 6 Ω ou moins et 1 Ω ou moins dans les zones fréquemment touchées par la foudre.

Des instruments de test sont utilisés pour tester les installations neuves de systèmes de mise à la terre et pour les tests d'entretien réguliers. Des tests continus dans le cadre d'un programme de maintenance préventive permettent de s'assurer qu'un système de mise à la terre fonctionne correctement et en toute sécurité.

Méthodes de mise à la terre

Un *conducteur de mise à la terre (GEC)* est un conducteur qui relie les parties mises à la terre d'un système de distribution électrique (conducteurs de mise à la terre des équipements, conducteurs mis à la terre et toutes les parties métalliques) à un système de mise à la terre agréé. Un *conducteur mis à la terre* est un conducteur qui a

été intentionnellement mis à la terre. Un conducteur mis à la terre est généralement le conducteur neutre.

Le GEC est le système de mise à la terre qui fournit la connexion physique directe vers la terre. L'électrode de mise à la terre est généralement composée d'une ou plusieurs électrodes mises à la terre et enfoncées dans le sol. L'électrode de mise à la terre peut également être l'armature métallique d'un bâtiment si celle-ci est efficacement mise à la terre, les barres d'armature dans les fondations en béton, un anneau de terre, une plaque métallique, un treillis métallique généralement installé sur des sols rocheux, ou une conduite d'eau métallique souterraine à condition que l'électrode de mise à la terre respecte toutes les exigences du code et l'exigence de faible résistance. **Voir Figure 1-4.**

ASTUCE TECHNIQUE

Un entretien régulier doit être effectué sur l'ensemble du système de mise à la terre pour vérifier que les conducteurs de mise à la terre des équipements et le conducteur de l'électrode de mise à la terre sont correctement dimensionnés selon la norme NEC®. Le système de mise à la terre doit être efficacement mis à la terre afin que le défaut à la terre passe dans le conducteur de mise à la terre des équipements vers la source d'alimentation et facilite le fonctionnement des disjoncteurs.

Chaque méthode de mise à la terre possède ses propres limites et exigences. Ainsi, lors de la sélection, de l'installation et des tests d'une électrode de mise à la terre, tous les codes et toutes les normes doivent être vérifiés et mis en œuvre, car toutes les méthodes ne sont pas approuvées et ne fonctionnent pas bien dans différents emplacements. Par exemple, une conduite d'eau métallique doit être en contact direct avec la terre sur une longueur d'au moins

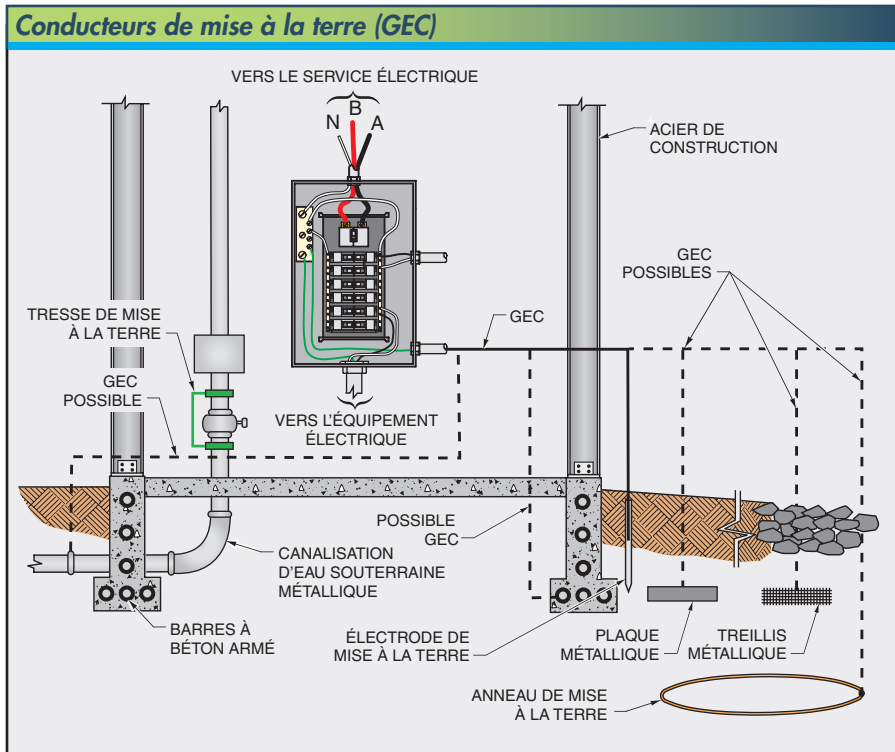


Figure 1-4. L'électrode de mise à la terre est le système de mise à la terre qui assure la connexion physique directe à la terre et fournit la référence zéro au système électrique.

3 m et, de plus, une deuxième tige de terre séparée doit être installée afin de satisfaire à certaines exigences.

Une fois qu'une méthode est sélectionnée et approuvée, la meilleure pratique consiste à suivre les exigences de la norme NEC®, à tester le système et à enregistrer toutes les valeurs mesurées lors de l'installation, au cours du démarrage et

dans le cadre d'un programme d'entretien régulier. Comme la norme NEC® ne recommande pas un système particulier, mais définit plutôt les exigences une fois qu'une méthode a été sélectionnée, il est toujours préférable de vérifier en premier lieu les exigences et les pratiques locales auprès de l'autorité locale compétente et des inspecteurs de l'État.

Test d'équipement et de systèmes de mise à la terre

La mise à la terre des appareils et systèmes protègent les personnes, l'équipement et les systèmes d'exploitation de la foudre et du danger d'un courant de défaut dans un circuit électrique. La mise à la terre consiste à créer une connexion intentionnelle à la masse (terre) pour faire de la terre une partie conductrice du système électrique complet. Pour être un conducteur efficace des courants de défaut ou de foudre, le système de mise à la terre doit présenter une faible résistance. La seule méthode d'acquisition de connaissances et de documentations sur le système de mise à la terre et la résistance de terre est d'utiliser des instruments de test pour effectuer des mesures.

MOMENT AUQUEL DÉMARRER UN TEST

Des tests de mise à la terre doivent être réalisés lors de l'installation initiale pour vérifier que les exigences minimales de résistance sont réunies. Des tests de mise à la terre doivent être effectués régulièrement pour s'assurer que le système fonctionne correctement. Les systèmes plus anciens de mise à la terre qui peuvent avoir satisfait les exigences de résistance au moment de l'installation peuvent ne pas satisfaire aux exigences de résistance des bâtiments dotés d'équipements électroniques modernes sensibles. De même, dans les environs d'une construction neuve, les conditions du sol peuvent changer en raison de la réduction de la nappe phréatique et de l'assèchement de la terre autour du système de mise à la terre du bâtiment, car une plus grande partie de la terre est recouverte de chaussées et de bâtiments. Les tests de mise à la terre doivent être effectués comme suit :

- après l'achèvement de toute modification du bâtiment ou de la construction extérieure ayant pu compromettre le système de mise à la terre
- une fois qu'un site de construction est déterminé, un test de résistivité du sol

doit être réalisé pour déterminer le meilleur emplacement et le type de système de mise à la terre à installer

- après l'installation du système de mise à la terre et avant la mise sous tension, il faut vérifier et étayer que le système de mise à la terre répond bien aux exigences minimales de résistance
- une fois que la construction est achevée et que le bâtiment est entièrement opérationnel, il faut vérifier qu'aucun dommage ni aucune modification n'ont été apportés au cours de la construction
- une fois par an dans le cadre d'un programme de maintenance préventive/prédictive ; le système de mise à la terre doit être testé afin d'assurer une protection permanente du personnel et de l'équipement contre tout incendie et choc électrique

ASTUCE TECHNIQUE

La norme NEC® permet un raccordement du conducteur de l'électrode de mise à la terre à des points accessibles en trois endroits : à l'extrémité de charge de l'interruption de service, dans des boîtiers de testeur accessibles et dans les dispositifs de déconnexion du service.

TESTS DE TERRE

Il existe différents types de tests pouvant être effectués pour obtenir la valeur de la résistance de la terre. Les méthodes de test les plus courantes sont celles de Wenner et de Schlumberger. Grâce à ces méthodes, la résistance de la terre est mesurée, et une formule est appliquée pour déterminer la valeur de résistivité, en ohm-mètres (Ωm), qui permet de déterminer l'état du sol dans lequel les électrodes de masse doivent être installée et la meilleure méthode de mise à la terre à utiliser. Cette méthode est utilisée sur les sites de construction de bâtiments neufs et autres structures pouvant supporter des courants de défaut provenant du système électrique ou de la foudre, comme les antennes-relais de téléphonie mobile et les postes électriques, dans le cadre de la conception et des spécifications initiales. La résistance au test de mise à la terre est le test portant sur les composants du système de mise à la terre (tige, plaque, anneau, etc.) pour vérifier et étayer que la méthode de mise à la terre choisie et l'installation répondent à toutes les exigences minimales de résistance, en ohms (Ω), tel que requis par les normes du code et de l'industrie.

Voir Figure 2-1.

RÉSISTIVITÉ DU SOL

Le choix de l'emplacement, du type et de la taille d'un système de mise à la terre n'est généralement pas pris en compte lors du choix de l'emplacement et de la taille d'un bâtiment ou d'une structure (antennes-relais de téléphonie mobile, etc.). Cependant, une fois que l'emplacement, le type et la taille du bâtiment ou de la structure ont été déterminés, toutes les spécifications électriques sont déterminées dans le cadre de la conception. Le type et la taille du système de mise à la terre font partie intégrante des considérations et des spécifications.

Les mesures de résistivité du sol fournissent des informations importantes sur les propriétés électriques (de faible à haute résistance) du sol à différents emplacements et à différentes profondeurs du site. Puisque le système de mise à la terre fait partie de l'ensemble du système électrique et est utilisé pour fournir un système plus sûr, les propriétés de la terre qui devient conductrice du courant doivent être connues. Cependant, contrairement aux conducteurs métalliques de faible résistance, le sol présente une résistance beaucoup plus élevée que les conducteurs métalliques et exige que des mesures soient relevées pour veiller à ce que le système de mise à la terre ayant la plus faible résistance soit installé.

L'état du sol ne peut être connu qu'en prenant des mesures. Sans ces mesures, on ne peut que deviner le type, la taille et les exigences d'installation du système de mise à la terre à mettre en place. Cela coûte plus cher de réinstaller un système mal posé que de l'installer correctement dès le départ. Des informations incorrectes sur le système de mise à la terre peuvent conduire à ce qui suit :

- surdimensionner le système dans l'espoir qu'après l'installation du système de mise à la terre, la valeur mesurée réponde aux exigences minimales de résistance (*Remarque* : Le surdimensionnement est utile dans une certaine mesure, mais un surdimensionnement excessif devient coûteux en raison de l'utilisation d'une plus grande quantité de matériaux et de l'augmentation du temps passé.)
- sous-dimensionner le système, ce qui est coûteux et prend du temps, car cela peut conduire à prendre des raccourcis

pour satisfaire aux exigences minimales, créant ainsi une situation dangereuse à un moment donné

- s'appuyer sur des hypothèses erronées

ou des pratiques obsolètes, comme l'hypothèse selon laquelle la résistance du sol augmente avec la profondeur et que le sol à un endroit donné est

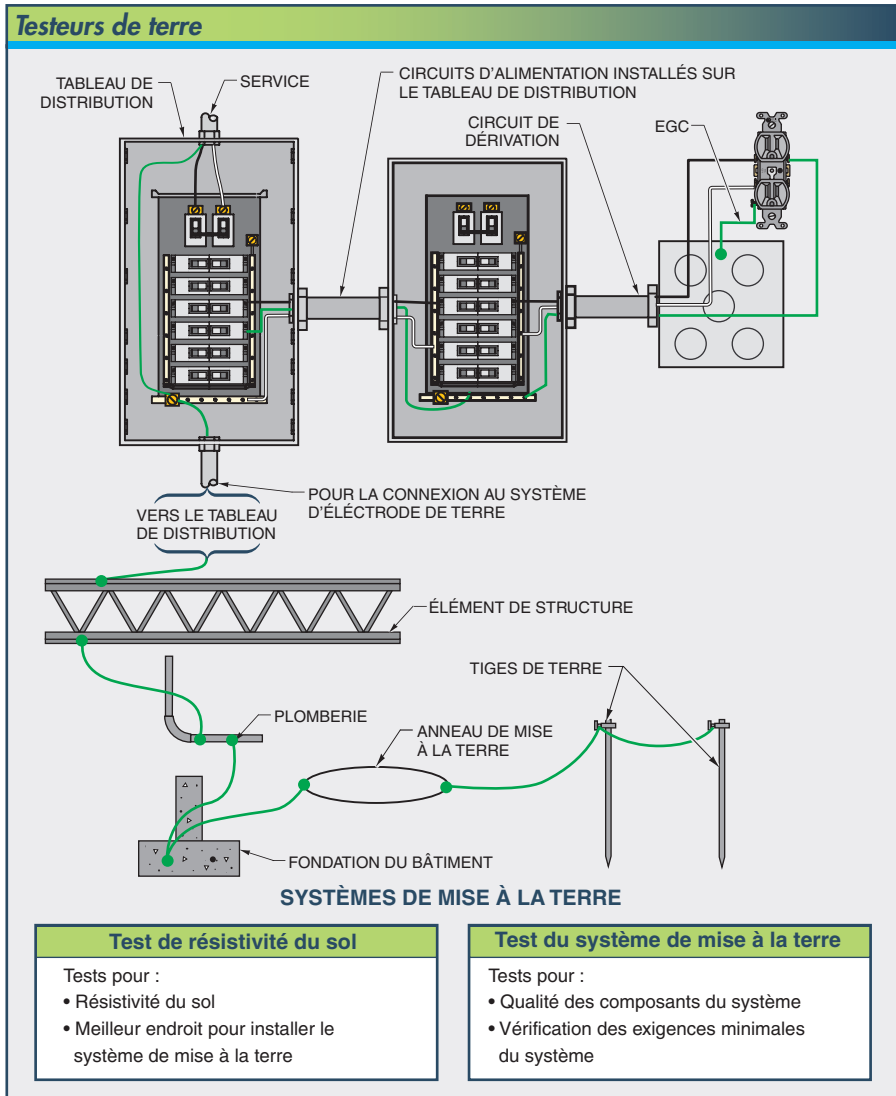


Figure 2-1. Le test de résistivité est réalisé lors de la conception ou de l'expansion d'un système de mise à la terre. Le test de résistance de terre permet de vérifier la conformité aux codes et aux normes du secteur.

fondamentalement le même, afin que l'emplacement des électrodes puisse toujours être à l'endroit le plus pratique

La résistance de la terre (du sol) varie toujours en fonction du type du sol, de l'humidité, de la température et d'autres facteurs. En général, le sable et le gravier sont de mauvais conducteurs, contrairement à l'argile. Bien qu'un degré supérieur d'humidité du sol diminue la résistance, ce qui permet une meilleure conductivité, la résistance augmente lorsque le sol gèle. **Voir Figure 2-2.** Comprendre la nature du sol et sa résistance favorise également le choix du matériau des électrodes de mise à la terre. En général, plus la résistivité du sol est faible, plus sa corrosivité est élevée. Les électrodes en acier inoxydable ou en cuivre

(massif ou plaqué) sont les moins touchées par la corrosion, tandis que les électrodes galvanisées sont les plus touchées au fil du temps.

Mesures de résistance de terre à quatre bornes

Un test de résistivité du sol est effectué pour déterminer le meilleur type de système de mise à la terre (électrode, grille, boucle ou plaque). Le test de la résistivité du sol nécessite un instrument de mesure comme un testeur de résistance de la terre à quatre bornes. Le système des instruments de mesure nécessite quatre sondes métalliques qui s'enfoncent dans la terre, des conducteurs de connexion suffisamment longs pour raccorder les sondes au testeur,

Résistivité du sol			
Matériau	Résistivité (Ω/cm)		
	Moy.	min.	Max.
Remplissages, cendres, saumure, scories, déchets, marais salé	2 370	590	7 000
Argile, schiste, gumbo, limon	4 060	340	16 300
Sol avec du sable rajouté	15 800	1020	135 800
Gravier, sable, pierres avec peu d'argile ou de limon	94 000	59 000	456 000
Température*		Résistivité*	
°C	°F	(Ω/cm)	
20	68	7 200	
10	50	9 900	
0	32 (eau)	13 800	
0	32 (glace)	30 000	
-5	23	79 000	
-15	14	330 000	

* basé sur une humidité à 15,2 % (limon sableux)

Figure 2-2. La résistivité du sol varie en fonction du type de sol, de l'humidité, de la température et d'autres facteurs.

Procédures de mesure du testeur de résistivité du sol à quatre bornes

Résistance de profondeur/terre

Distance « D » entre les sondes	Distance sur l'instrument de mesure, égale à la résistance de terre par rapport à la profondeur indiquée*
2	2
4	4
6	6
8	8
10	10

* en pied

MESURER ET ENREGISTRER LA RÉSISTANCE DU SOL À PLUSIEURS ENDROITS

PLACER TOUTES LES ÉLECTRODES DANS LA TERRE À UN INTERVALLE PRÉDÉTERMINÉ

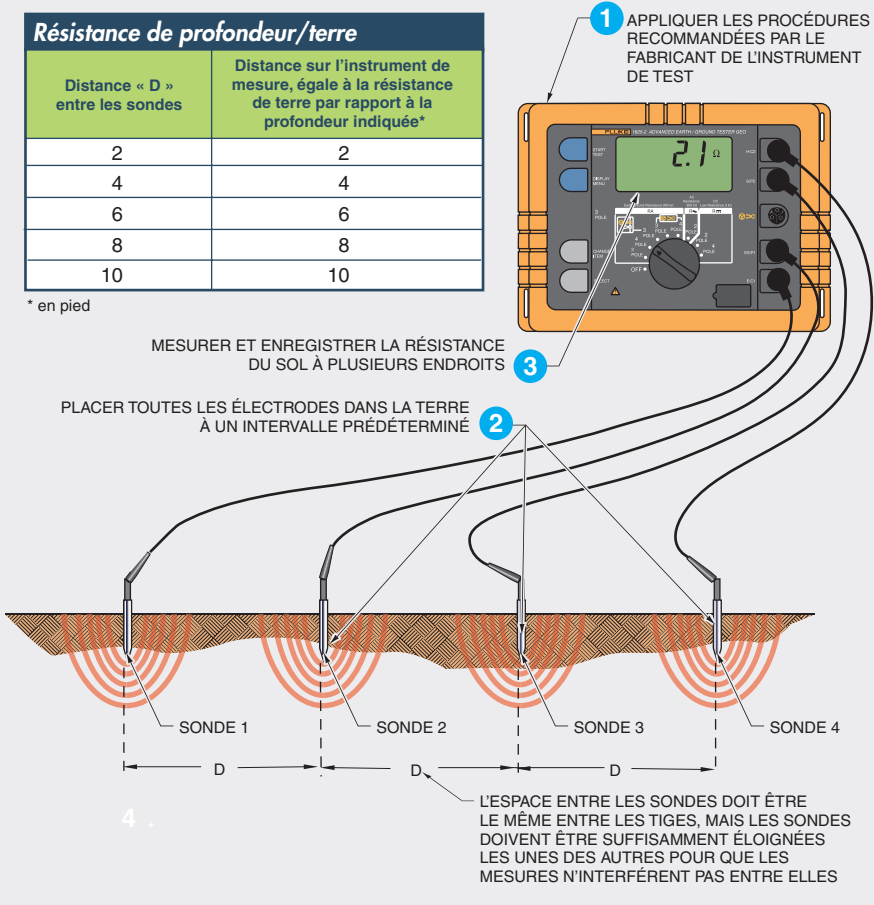


Figure 2-3. Lorsque vous mesurez la résistance de la terre, un testeur de résistance de terre à quatre bornes n'utilise pas l'électrode de mise à la terre comme l'une des sondes. Le testeur permet de mesurer la résistance du sol seulement, et non la résistance du sol et de l'électrode de mise à la terre.

un ruban de mesure, une calculatrice, du papier et des crayons. Le meilleur type de ruban de mesure à utiliser est le type à bobine libre, qui permet à la saleté de tomber de la bande au moment de la rétraction.

Voir Figure 2-3.

Lors de la mesure de la résistivité du sol, ou de la terre, à l'aide d'un testeur de résistance de terre à quatre bornes, suivez

la procédure suivante :

1. Utilisez la procédure de mesure recommandée par le fabricant de l'instrument de test pour mesurer la résistance de la terre.
2. Poussez ou enfoncez les quatre sondes (tiges 1 à 4) dans le sol à la profondeur et l'espacement recommandés par le fabricant. L'espacement détermine la

profondeur des mesures de la résistance. Par exemple, lorsque la distance entre les sondes est de 1,8 m, la mesure de la résistance affichée sur le testeur est la résistance de la terre à une profondeur de 1,8 m.

- Mesurez et consignez la mesure de la résistance de la terre à différentes distances (à 1,2 m, 1,8 m, 2,4 m d'écart). Tout changement dans les mesures de résistance indique que les conditions du sol changent sur la surface ou la distance mesurée.

La plupart des testeurs de résistance de la terre affichent leurs résultats en ohms (Ω). Pour convertir les mesures d'ohm en ohm-mètres (Ωm), appliquez la formule suivante :

$$P = 2\pi \times A \times R$$

où

P = résistivité du sol en Ωm)

$$2\pi = 2 \times 3,14 = 6,28$$

A = distance entre les sondes (en m)

R = résistance mesurée sur le multimètre (en Ω)

Remarque : Pour convertir des pieds en mètres, multipliez les pieds par 0,3048. Pour convertir des mètres en pieds, divisez les mètres par 0,3048.

Les tiges de mesure peuvent être pivotées de 90° pour obtenir une indication plus précise de l'état total du sol. Si les résultats des tests varient considérablement, des mesures supplémentaires peuvent être effectuées à 45° pour obtenir une image plus précise des conditions du sol.

Voir Figure 2-4.

MÉTHODES DE TEST DE SYSTÈME DE MISE À LA TERRE

Il existe quatre méthodes de mesure de la résistance d'un système de mise à la terre. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients. Comprendre chaque type de mesure permet à une personne qualifiée de choisir la meilleure méthode pour une application donnée de mise à la terre. Les quatre méthodes de mesure de la résistance d'un système de mise à la terre

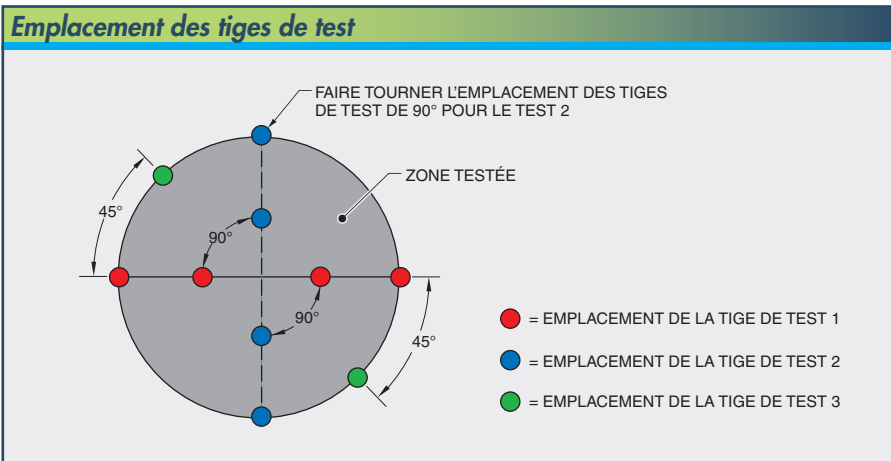


Figure 2-4. Les tiges de test doivent être tournées de 90° pour la deuxième série de mesures et peuvent être tournées à 45° pour obtenir une troisième série de mesures si nécessaire.

sont les suivantes :

- méthode à trois pôles (62 % et chute de potentiel)
- méthode à quatre pôles (62 % et chute de potentiel)
- méthode sélective
- méthode sans piquet (avec pince)

Chaque méthode de mesure de la résistance d'un système de mise à la terre installé applique la loi d'Ohm. Autrement dit, pour chaque méthode, une intensité et une tension connues ou mesurées sont utilisées pour calculer la résistance ($R = E/I$) du chemin de la mise à la terre. Intensité et tension sont appliquées et mesurées différemment selon chaque méthode. Avec les méthodes à trois pôles, à quatre pôles et sélectives, les piquets sont enfoncés dans le sol pour faire passer le courant dans la terre depuis l'électrode de mise à la terre tandis que les mesures de la tension sont effectuées entre les piquets intérieurs. Dans la méthode sans piquet, une pince est utilisée pour induire une tension connue, et une deuxième pince sert à mesurer l'intensité qui circule dans le système de mise à la terre.

Lorsque vous utilisez les méthodes à trois ou quatre pôles, le système de mise à la terre testé peut être déconnecté de la source d'alimentation avant de relever toute mesure. Ce n'est pas un problème lors du test de nouveaux systèmes de mise à la terre ayant été installés, mais non connectés à la source d'alimentation (ou si la source d'alimentation n'a pas été allumée). Les méthodes à trois et quatre pôles sont très utilisées et sont les méthodes classiques de test de mise à la terre après l'installation initiale du système de mise à la terre.

Si le système est déjà sous tension, l'alimentation doit être coupée avant l'utilisation de la méthode de mesure à trois ou quatre pôles. Cela nécessite une connaissance complète des effets de la déconnexion du système de mise à la terre au cours du

test d'un système déjà sous tension. L'utilisation d'un équipement de protection individuelle (EPI) adapté, l'association avec un partenaire compétent et une approbation préalable sont également nécessaires.

Les méthodes sélectives et sans piquet sont plus récentes et n'exigent pas que l'alimentation du système ne soit coupée avant de prendre les mesures. La méthode sélective comprend habituellement un testeur de terre, possédant des fonctions de tests à trois et quatre pôles. Cette combinaison permet de tester les systèmes avant (généralement avec les constructions neuves) et après (avec la méthode sélective) qu'ils ne soient mis sous tension. La méthode sans piquet est la méthode la plus simple d'utilisation, car elle s'appuie sur un appareil autonome, comme un ampèremètre à pince standard, qui comprend à la fois un émetteur de tension et un récepteur d'intensité.

ASTUCE TECHNIQUE

Plus il y a de chemins de terre utilisés lors d'un test sans piquet, plus la mesure de la résistance de la terre est précise.

Il est important de comprendre les avantages, les limites et les exigences de mesure de la méthode sans piquet avant de tenter de l'utiliser. Par exemple, la méthode sans piquet doit être utilisée dans les systèmes qui incluent plusieurs terres et ne peuvent servir à tester des terres isolées n'incluant pas de chemin d'accès (boucle) afin que le courant appliqué des testeurs puisse circuler. Toutefois, la méthode sans piquet fonctionne bien lorsque vous testez des terres qui possèdent plusieurs chemins de mise à la terre et qui ne peuvent pas avoir de terres déconnectées comme les postes électriques et les antennes-relais de téléphonie mobile.

Des mesures précises de la terre doivent être prises afin de s'assurer qu'un système électrique est sans danger pour les per-

sonnes et l'équipement. Puisqu'il n'existe pas de système unique qui fonctionne de manière optimale pour toutes les applications, il est préférable d'apprendre chacune des quatre méthodes de mesure et leurs utilisations, leurs avantages et leurs inconvénients, afin d'obtenir la mesure la plus précise possible de la résistance de la terre.



Les mesures de résistance de la terre peuvent être prises sur les conduites d'eau métalliques si nécessaire.

Principes de mesures de résistance de terre

La loi d'Ohm est une formule mathématique indiquant que l'intensité dans un circuit électrique est directement proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance. La loi d'Ohm est utilisée pour déterminer la relation entre la tension, l'intensité et la résistance dans un circuit électrique. Bien que les multimètres numériques standards puissent être utilisés avec une alimentation électrique, ils ne sont pas nécessaires lorsqu'un testeur de terre est utilisé, car ce dernier comprend un bloc d'alimentation intégré, un voltmètre, un

ampèremètre ainsi qu'un circuit de mesures et de calculs de la résistance.

La tension source d'un bloc d'alimentation s'applique entre les tiges extérieures (tige 1 et tige 3). Un ampèremètre est raccordé au circuit pour mesurer l'intensité de l'alimentation électrique. L'intensité de l'alimentation électrique est inversement proportionnelle à la résistance du circuit créé (résistance de la terre). Plus la résistance mesurée est faible, plus la capacité de conduction du courant de défaut du circuit est élevée. De même, plus la résistance mesurée est élevée, plus la capacité de conduction du courant de défaut est faible.

Voir Figure 2-5.

Un voltmètre connecté entre la tige 1 et la tige 2 mesure la différence de potentiel (tension) de la terre entre les deux points. La tige 2 peut être déplacée en ligne droite entre la tige de 1 et la tige 3. Lorsque la tige 2 est rapprochée de la tige 3, le voltmètre indique une tension plus élevée. Lorsque la tige 2 est rapprochée de la tige 1, le voltmètre indique une tension plus faible.

La loi d'Ohm permet de calculer la résistance pour chaque point de mesure. Les calculs sont effectués automatiquement par un testeur de résistance de terre, qui affiche le calcul de la résistance comme une mesure.

Pour la plupart des mesures, les zones sont accessibles où le taux d'augmentation de la résistance de la terre est faible et où la résistance demeure relativement constante pour une distance définie. La zone de mesure où la résistance demeure relativement constante est parfois appelée la zone plateau. Voir Figure 2-6.

ASTUCE TECHNIQUE

Les conducteurs des électrodes de mise à la terre doivent être dimensionnés selon le tableau 250.66 de la norme NEC®.

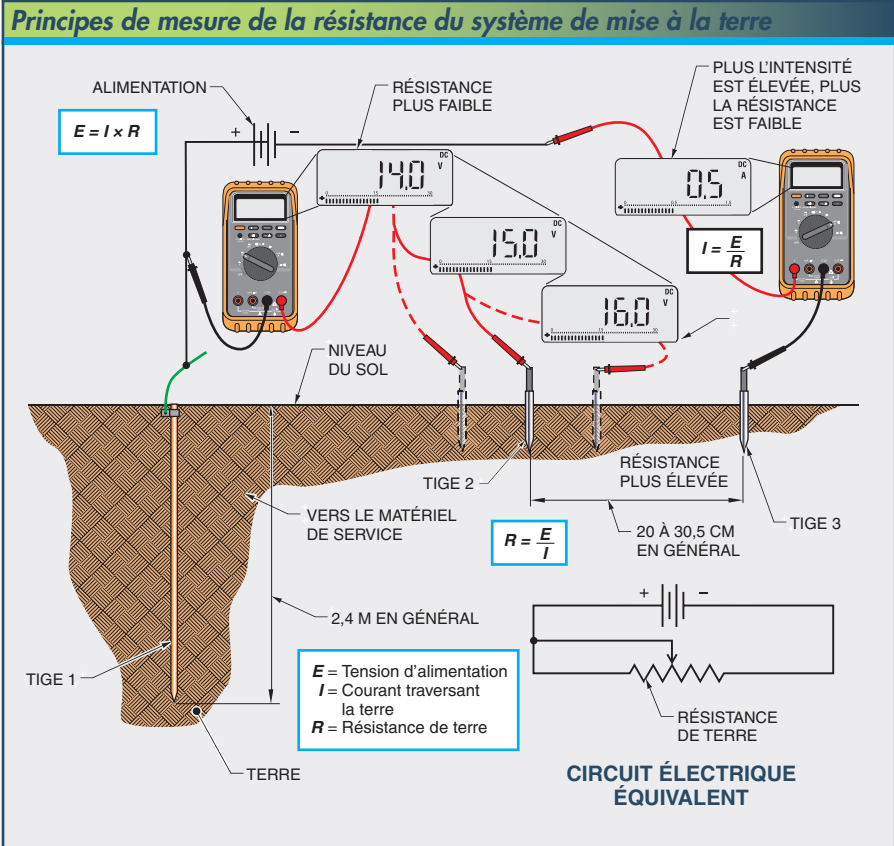


Figure 2-5. Les mesures de résistance sont prises pour vérifier que la résistance de terre d'un système de mise à la terre est comprise entre les valeurs de résistance maximale requises définies par la norme NEC® et peuvent être vérifiées par l'application de la loi d'Ohm.

Les études réalisées sur des tests de terrain indiquent que la valeur acceptable de la résistance du système de mise à la terre est généralement atteinte, lorsque la tige 2 est placée à environ 62 % de la distance entre la tige 1 (électrode de mise à la terre) et la tige 3. Si la tige 1 et les tiges 2 et 3 ne sont pas assez éloignées, la résistance mesurée continuera d'augmenter à mesure que la tige 2 se rapprochera de la tige 3. Il n'y aura aucune stabilisation (plateau) des mesures de résistance. Cela signifie que la distance

entre la tige 1 et la tige 3 doit être augmentée et que de nouvelles mesures doivent être prises pour obtenir une mesure plus précise de la résistance de la terre.

Test de résistance de terre à trois pôles

Un testeur de résistance de terre comprend un bloc d'alimentation, un voltmètre, un ampèremètre, un écran pour la lecture directe de la résistance et tous les composants requis pour mesurer la résistance de

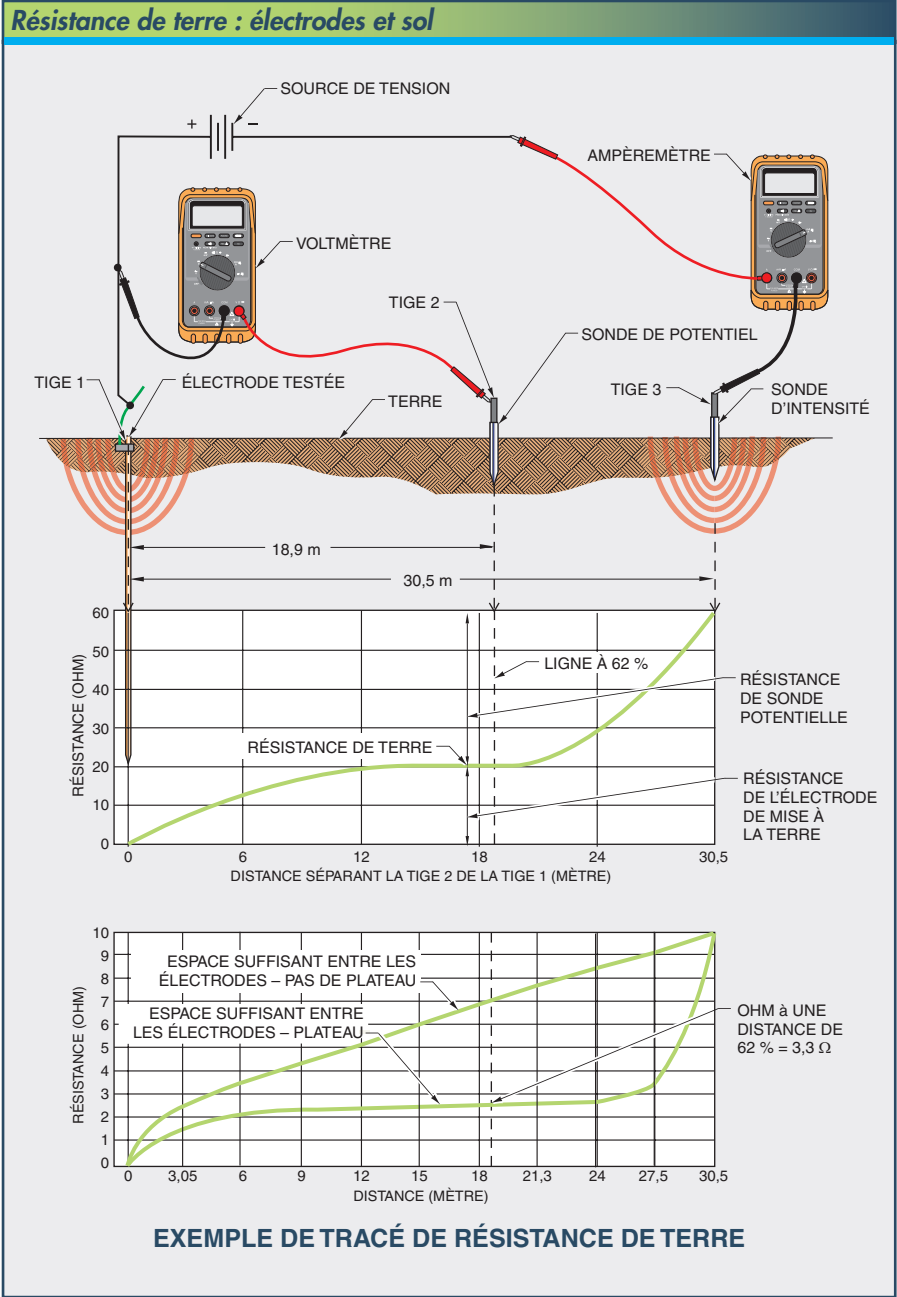


Figure 2-6. La zone de résistance mesurée qui demeure relativement constante est parfois appelée la zone plateau.

la terre ou la valeur de la résistance de terre d'un système de mise à la terre. Un testeur de résistance à trois pôles est un appareil courant servant à tester les systèmes de mise à la terre. Cette méthode est très fiable, précise et peut être utilisée sur un système de mise à la terre de toute taille. Voir Figure 2-7.

Il n'y a aucune distance définie entre l'emplacement de la tige 1 et de la tige 3 ; la distance optimale théorique sera infinie. Généralement, lorsque vous testez une seule électrode à l'aide de la méthode de mesure à trois pôles, la tige 3 est placée à 30,5 m (18,9 m de la tige 1) et la tige 2 est plantée dans la terre à une distance de 9,4 m de la

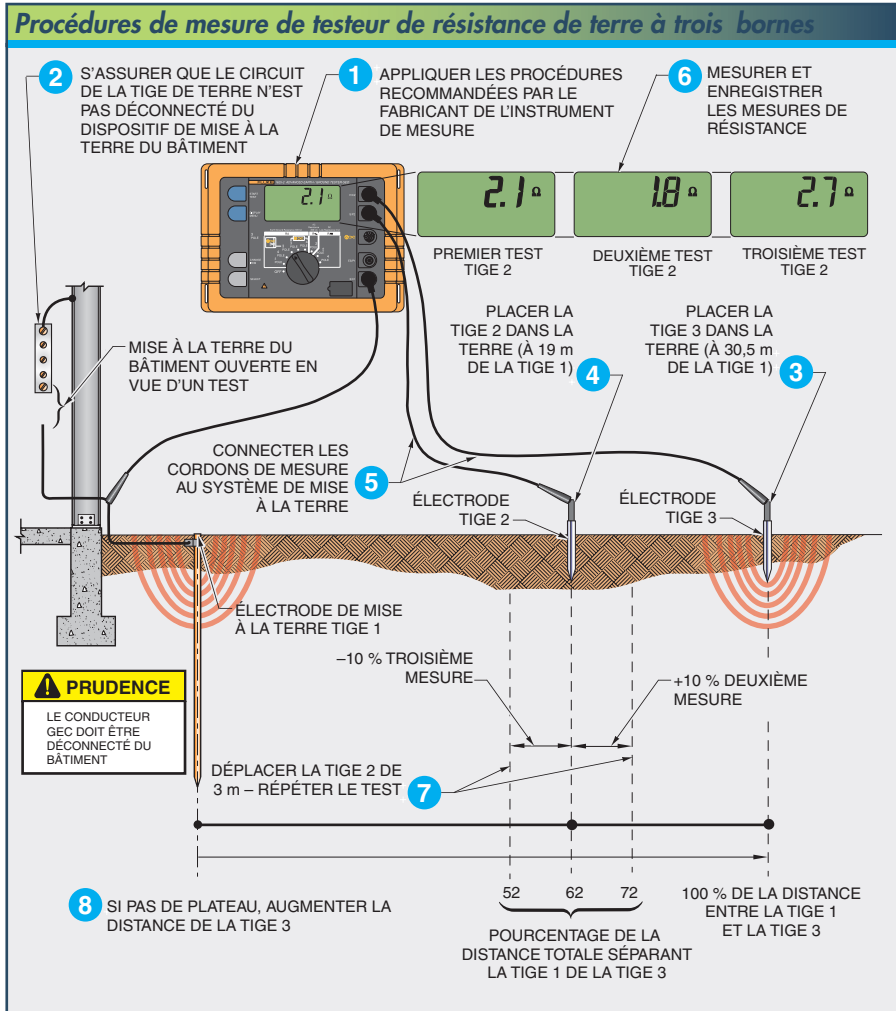


Figure 2-7. Avant de prendre une mesure de résistance de la terre et des électrodes, les électriciens doivent s'assurer que l'électrode de mise à la terre n'est pas raccordée au matériel de service.

tige 1 ($0,62 \times 15,2 \text{ m} = 9,4 \text{ m}$ pour le point recommandé à 62 %).

Une distance d'espacement de 30,5 m entre la tige 1 et la tige 3 convient généralement pour la plupart des mesures de la résistance des systèmes de mise à la terre, sauf pour les plus grands d'entre eux.

Pour une grande grille d'électrodes comprenant plusieurs électrodes ou plaques connectées, la distance entre la tige 1 et la tige 3 doit être supérieure ou égale à 61 m. La tige 2 est placée à 62 % de la distance choisie.

Procédure de mesure de résistance de terre à trois pôles

Avant de prendre toute mesure de résistance de terre, toutes les précautions, limites et procédures recommandées de mesure doivent être vérifiées dans le mode d'emploi du fabricant du testeur. L'équipement de protection individuelle (EPI) requis doit être porté et toutes les règles de sécurité doivent être respectées comme requis sur le site de construction/test. Pour prendre des mesures de résistance de terre à trois pôles, suivez la procédure suivante :

1. Consultez le mode d'emploi du fabricant du testeur pour connaître les procédures de mesure recommandées de la résistance de la terre.
2. Si possible, vérifiez que le système et l'électrode de mise à la terre ne sont pas reliés au terrain à bâtir. **ATTENTION :** En cas de doute sur l'état de la connexion, interrompez la procédure jusqu'à ce qu'une personne qualifiée puisse vérifier que le système de la mise à la terre soit déconnecté.
3. Enfoncez la tige 3 dans la terre à une distance d'environ 30,5 m de l'électrode de mise à la terre ou du système de mise à la terre testé (tige 1).
4. Enfoncez la tige 2 dans la terre à envi-

ron 18,9 m (62 %) de la tige 1.

5. Connectez les sondes du testeur de résistance de terre aux tiges 1, 2 et 3, comme indiqué par le fabricant du testeur.
6. Mesurez et enregistrez les mesures de la résistance de terre à l'aide des procédures de mesure du fabricant du testeur.
7. Enfoncez la tige 2 une distance de 3 m des deux côtés du point situé à 18,9 m (16 m et 22 m de la tige 1) et prenez des mesures à chaque emplacement. Quand les trois mesures sont proches, la zone du plateau a été déterminée et la mesure à 18,9 m est la mesure de la résistance du système de mise à la terre.
8. Lorsque le plateau de la résistance à la terre n'a pas pu être déterminé, parce que la tige 3 est trop proche de la tige 1, augmentez la distance entre la tige 1 et la tige 3 et recommencez le test de résistance de la terre.

Test de résistance de terre par la méthode de la chute de potentiel à trois/quatre pôles

Les mesures de tests à quatre pôles conviennent, pour la plupart des applications, pour mesurer la résistance d'un système de mise à la terre afin de répondre à l'exigence de résistance minimale définie par les codes (généralement 25Ω pour les électrodes à plaque, tige ou tube), à condition que les sondes et les connexions du testeur soient acceptables. Bien que 25Ω puisse être une valeur minimale spécifiée pour une électrode à plaque, tige ou tube, un bon système de mise à la terre doit avoir une résistance inférieure ou égale à 5Ω . En outre, certaines applications, telles que des équipements de télécommunication, exigent que le système de mise à la terre respecte

une spécification minimale inférieure ou égale à 5Ω . Voir Figure 2-8.

Lorsqu'une mesure de résistance de la terre basse doit être réalisée, la résistance des sondes de test doit être éliminée, car elles s'ajoutent à la mesure de la résistance et augmentent la valeur mesurée. Un tes-

teur de résistance de terre à quatre pôles comprend une prise supplémentaire dans laquelle une autre sonde de mesure est connectée entre le testeur et l'électrode de mise à la terre testée, pour éliminer la résistance des sondes de test dans la mesure de résistance affichée.

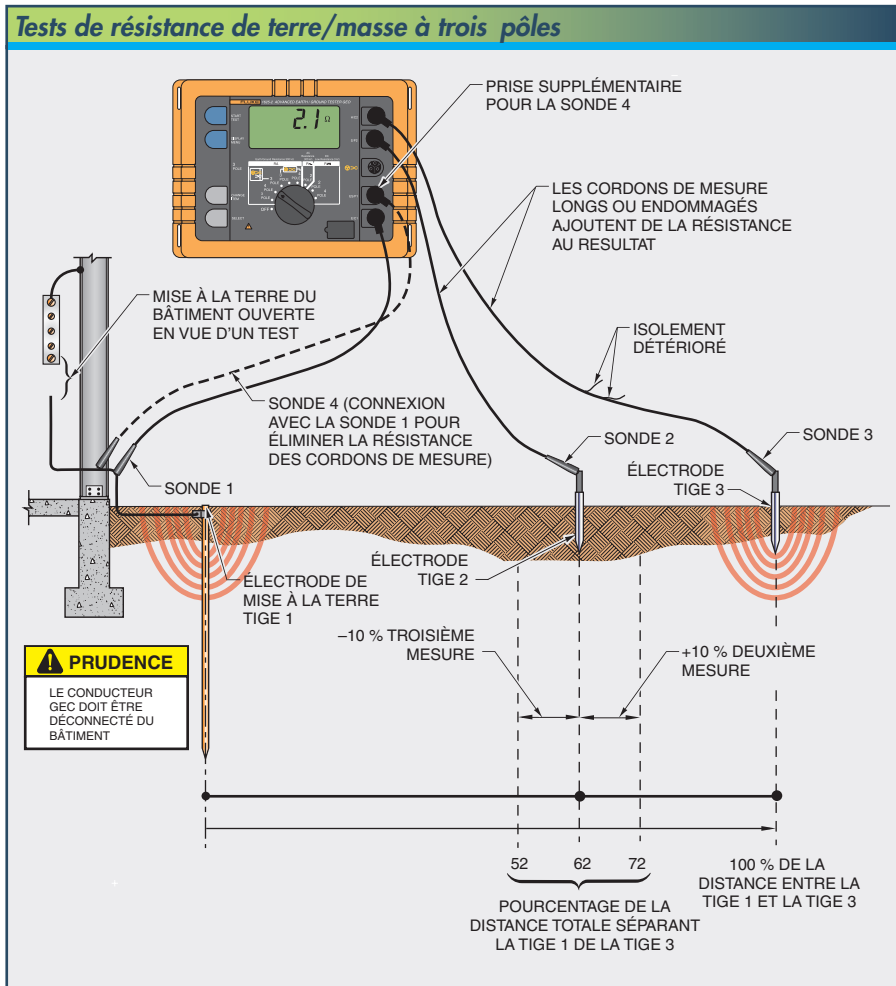


Figure 2-8. Un testeur de résistance de terre à quatre pôles comprend une prise supplémentaire dans laquelle une autre sonde est connectée entre le testeur et l'électrode de mise à la terre testée pour éliminer la résistance des sondes de test de la mesure de résistance affichée.

Test sélectif de résistance de terre

La méthode de test sélectif de résistance de terre peut être suivie sans ôter l'électrode de mise à la terre du système de mise à la terre du bâtiment. Cette méthode permet de mesurer chaque électrode de mise à la terre de différents types tels que les tiges de terre, les plaques, les grilles et les treillis métalliques. Cette méthode est utilisée avec des systèmes de mise à la terre jouissant de terrains parallèles comme les postes électriques, les antennes de transmission et de distribution et autres applications commerciales et industrielles.



Les testeurs de terre à quatre pôles fonctionnent mieux pour les mesures de faible résistance parce qu'ils ont une prise supplémentaire qui permet d'éliminer la résistance des sondes de test dans la mesure de résistance affichée.

La méthode sélective est similaire à la méthode à trois pôles qui utilise trois sondes, mais utilise également un transformateur de courant à pince qui élimine des mesures les effets des connexions en parallèle sur différents terrains. Par conséquent, elle ne mesure que l'électrode testée. Le transformateur de courant est placé autour du conducteur de terre pour mesurer le courant circulant dans les sondes de test jusqu'à l'électrode de mise à la terre testée. Lorsque le transformateur est branché, les mêmes procédures de mesure

utilisées dans la méthode à trois pôles sont appliquées.

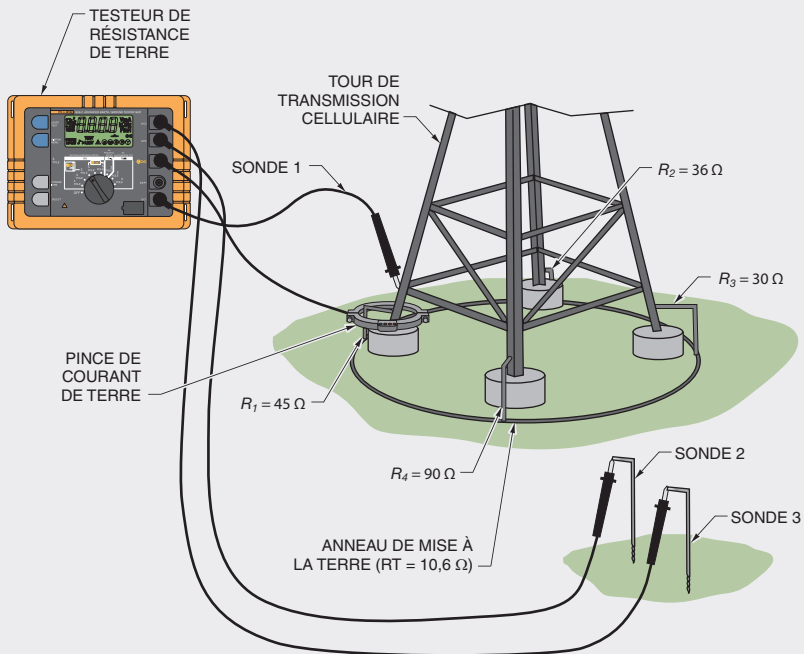
Pour déterminer la résistance du pylône à la terre, chaque point de masse doit être mesuré individuellement, et les lois de la résistance en connexions en parallèle s'appliquent. **Voir Figure 2-9.** Par exemple, si les résistances mesurées des quatre points tests (terrain des pieds du pylône) sont environ de 45 Ω , 36 Ω , 30 Ω et 90 Ω , la résistance effective du système total de mise à la terre sera de 10,6 Ω .

Tests de résistance de terre sans piquet

La méthode de mesure sans piquet, tout comme la méthode sélective, peut être effectuée sans déconnecter la terre de l'alimentation. Cette méthode nécessite l'utilisation de deux pinces : une pour transmettre une tension connue et l'autre pour mesurer l'intensité quand un testeur de terre, comprenant également le testeur de résistance de terre et testeur à trois/quatre pôles en un même appareil, est utilisé. Il existe également des appareils de test qui intègrent les deux transformateurs en une seule unité. L'unité complète ne peut servir à mesurer la résistance de la terre ni à effectuer le test à trois/quatre pôles. Cependant, l'unité complète peut servir de pince de terre pour mesurer le courant, comme un ampèremètre à pince standard, ou la mesure de toute fuite de courant dans le système de mise à la terre. **Voir Figure 2-10.**

La méthode sans piquet est la seule méthode de mesure de la mise à la terre qui ne nécessite pas l'utilisation de piquets ou de sondes. Par conséquent, elle peut être utilisée dans des endroits où l'usage d'un piquet est difficile, voire impossible, comme l'intérieur des bâtiments ou des zones sans accès à de la terre non pavée ou revêtue. Pendant la mesure, il est important de connaître le type de système d'électrodes

Tests sélectifs de résistance de terre/masse



Résistance connectée en parallèle

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{45} + \frac{1}{36} + \frac{1}{30} + \frac{1}{90}}$$

$$R_T = \frac{1}{0,022 + 0,028 + 0,033 + 0,011}$$

$$R_T = \frac{1}{0,094}$$

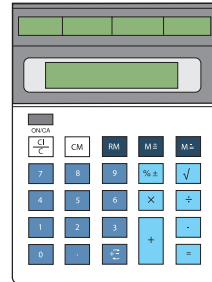
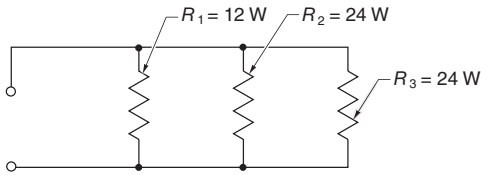
$$R_T = 10,6 \Omega$$

Figure 2-9. Pour déterminer la résistance du pylône à la terre, chaque point de masse doit être mesuré individuellement, et les lois de la résistance des connexions en parallèle s'appliquent.

Trouver la résistance totale à l'aide d'une calculatrice

La résistance totale d'un circuit en parallèle contenant au moins trois résistances peut être calculée en appliquant la formule suivante :

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$



ÉTAPE 1 : $\frac{C}{C}$

ÉTAPE 2 : 1 ÷ 12 M± → 0,0833

ÉTAPE 3 : 1 ÷ 24 M± → 0,04166

ÉTAPE 4 : 1 ÷ 24 M± → 0,04166

ÉTAPE 5 : 1 ÷ RM = → 6

CALCULATRICE

Une calculatrice peut être utilisée pour appliquer facilement cette formule lors de la détermination de la résistance totale d'un circuit en parallèle contenant au moins trois résistances. Voir la calculatrice. La résistance totale dans un circuit en parallèle contenant au moins trois résistances peut être calculée à l'aide d'une calculatrice en appliquant la procédure suivante :

1. Mettez la calculatrice à « 0 ». Vérifiez qu'elle n'affiche pas « 0M ».
2. Appuyez sur les touches 1, ÷, valeur de R1 et M+ pour entrer la valeur de la première résistance en mémoire.
3. Appuyez sur les touches 1, ÷, valeur de R2 et M+ pour entrer la valeur de la seconde résistance en mémoire.
4. Appuyez sur les touches 1, ÷, valeur de R3 et M+ pour entrer la valeur de la troisième résistance en mémoire.
5. Appuyez sur les touches 1, ÷, MR (ou RM), et =. La calculatrice affiche la résistance totale des trois résistances connectées en parallèle.

de mise à la terre (tige, bâtiment, anneau, plomberie, etc.) faisant partie du système intégral de mise à la terre du bâtiment, car la méthode sans piquet permet de mesurer le système de mise à la terre en entier, en incluant tous les terrains, la terre, le point d'ancrage du système de mise à la terre et les connexions.

Procédure de test de résistance de terre sans piquet

Avant de mesurer la résistance, il est recommandé de prendre dans un premier temps une mesure du courant de fuite. *Le courant de fuite* est un courant non fonctionnel, y compris les courants des boîtiers et des conducteurs de terre. Le courant de fuite peut circuler à travers les conducteurs et l'isolant. Pour la protection du personnel, il existe une limite entre 4 mA et 6 mA. Les mesures du courant de fuite peuvent être prises lors de l'utilisation d'un testeur de terre qui inclut une fonction spécifique de mesure du courant de fuite, ou à l'aide d'un ampèremètre à pince distinct. Lorsqu'un courant de fuite est mesuré, le problème doit être identifié et corrigé.

Pour utiliser un testeur de terre sans piquet, il faut connaître parfaitement son mode d'utilisation, les emplacements où prendre les mesures ainsi que la signification de ces mesures. Le mode d'emploi du fabricant du modèle de testeur concerné doit toujours être consulté. Des informations supplémentaires, telles que l'application du testeur, sont généralement fournies sur le site Web du fabricant.

Pour prendre les mesures de résistance de la terre sur un système de mise à la terre avec plusieurs électrodes en parallèle, comme des transformateurs, des systèmes de mise à la terre, des tours de transmission et des systèmes de communication, la procédure suivante s'applique :

1. Déterminez les meilleures positions pour prendre des mesures de résistance de la terre. **Voir Figure 2-11.**
2. Mesurez le courant dans tous les composants du système de mise à la terre, y compris la mesure du courant de fuite à l'aide d'un multimètre de terre doté de la fonction de démarrage à distance ou d'un autre ampèremètre à pince. Des courants supérieurs à 1 A indiquent un problème qui doit être traité immédiatement. En outre, les fabricants de testeurs de résistance de terre précisent le courant maximum autorisé dans lequel le testeur peut prendre une mesure précise (généralement autour de 5 A). **ATTENTION :** Toutes les mesures d'intensité doivent être prises en compte. Même les courants de fuite de quelques milliampères peuvent provoquer un choc électrique.
3. Paramétrez le testeur pour mesurer la résistance du conducteur de l'électrode de mise à la terre, placez les mâchoires de la pince autour des points de masse à tester et enregistrez la mesure.
4. Prenez des mesures supplémentaires à chaque point de mise à la terre si nécessaire. Par exemple, s'il y a trois électrodes de mise à la terre, prenez une mesure sur chacune et au point d'ancrage commun. Les mesures seront différentes parce que le testeur mesure la résistance de la terre à cet endroit par rapport à toutes les autres mesures. La mise à la terre au point d'ancrage commun représente la mise à la terre totale. Cette valeur sera inférieure aux mesures individuelles de résistance de la terre, car tous les systèmes de mise à la terre sont connectés en parallèle. Dans tout circuit parallèle, la résistance totale est toujours inférieure à chaque résistance individuelle.

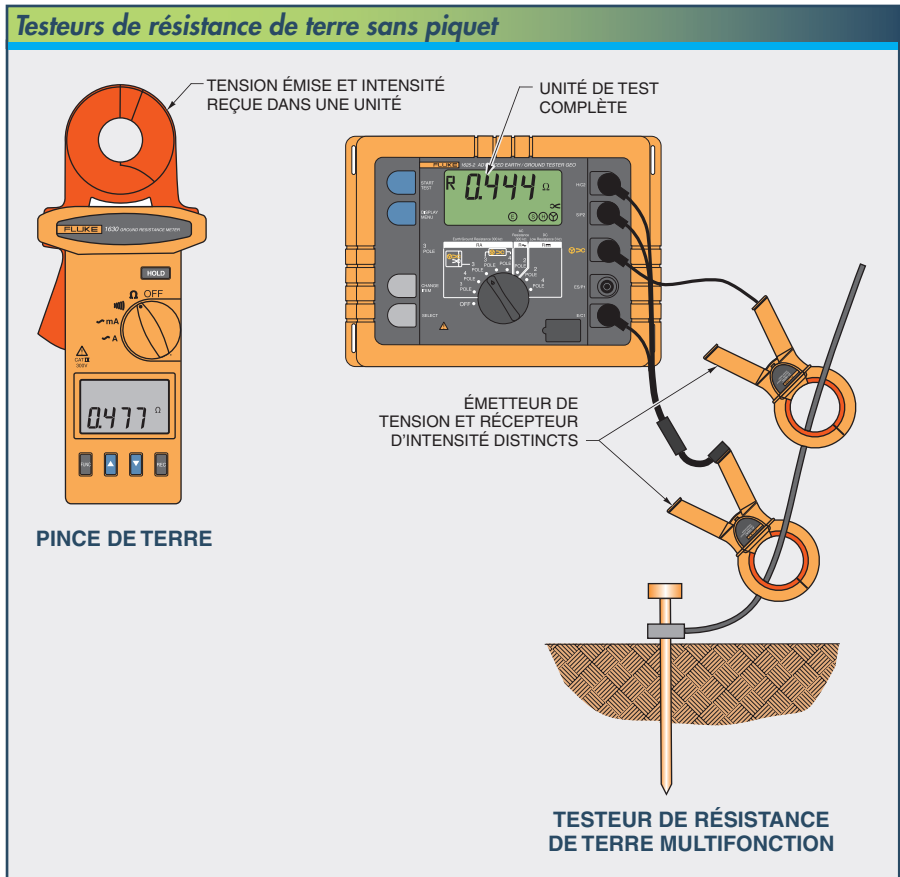


Figure 2-10. Les tests de résistance de terre sans piquet peuvent être réalisés sans enlever la masse de l'alimentation électrique.

ASTUCE TECHNIQUE

Les zones de terre qui présentent une résistance élevée peuvent être traitées avec des produits chimiques spécialisés pour diminuer leur résistance.

5. Enregistrez les mesures et les emplacements correspondants.

Autres aspects à prendre en compte lors de l'utilisation de testeurs de terre :

- Un testeur de terre utilise des piles qui doivent être en bon état de fonctionne-

ment. Si le symbole indiquant des piles faibles (LO-BAT) s'affiche sur le testeur, les piles doivent être remplacées immédiatement. Comme les tests de mise à la terre se font souvent en plein air et sur des emplacements distants, transporter un jeu de piles supplémentaire est recommandé.

- Pour une mesure correcte, utilisez seulement les électrodes à tige de mise à la terre fournies par le fabricant de l'instrument de test, puisque différents types de matériaux (cuivre, acier inoxy-

Procédures de mesure de l'instrument de mesure de résistance de terre sans piquet

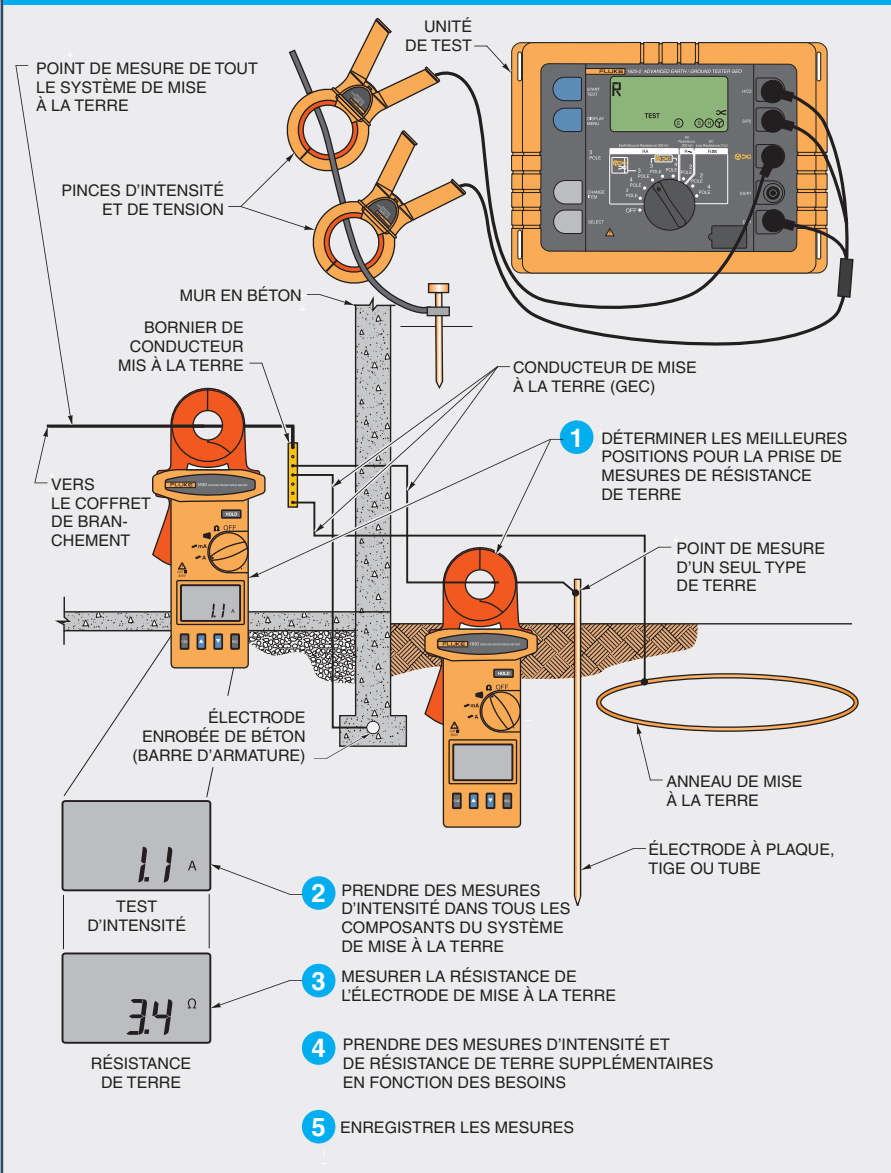


Figure 2-11. Les mesures de résistance de la terre sont prises sur les conducteurs, les électrodes de mise à la terre et les connexions incluant plusieurs terrains, tels que des tableaux de distribution, des transformateurs, des dispositifs de mise à la terre, des tours de transmission et des systèmes de communication.

dable, aluminium et acier) et tailles de tiges peuvent affecter les mesures de la résistance totale.

- Les électrodes à tige de mise à la terre doivent être enfoncées dans le sol. Elles ne doivent jamais être plantées à coups de marteau dans le sol car elles peuvent se plier ou s'abîmer. En outre, elles doivent être correctement nettoyées après chaque utilisation, car tout amas de terre séchée d'une utilisation précédente peut affecter les mesures.
- Les électrodes à tige de mise à la terre et les testeurs de terre sont connectés par des câbles fournis par le fabricant de l'instrument de test. Il est important de garder les câbles en bon état de fonctionnement. Tout dommage qui réduit la taille du conducteur, comme des torons de fils coupés, augmente la résistance du câble et influe sur la mesure. Les câbles doivent toujours être remplacés par les câbles de type et de taille préconisés par le fabricant.
- Les accessoires des testeurs de terre comprennent des systèmes de rangement protecteurs rigides et des mallettes de transport. L'utilisation de ces étuis lorsque les unités ne sont pas utilisées, aide à garder ces unités sèches, propres et en bon état de marche. Tandis que ces étuis de protection aident à éviter d'endommager le matériel de test, des précautions supplémentaires doivent être prises pour conserver les testeurs et les accessoires dans un endroit sûr.

Problèmes liés à la mise à la terre et solutions

Une mise à la terre correcte permet d'éviter l'électrocution, les incendies, les dommages aux équipements et les problèmes de qualité énergétique pouvant entraîner un mauvais fonctionnement des équipements, des circuits et des systèmes. Pour éviter ces problèmes, il est important de comprendre, d'identifier, de tester et de corriger les systèmes de mise à la terre et leurs problèmes, ainsi que de les tester de nouveau après toute correction ou modification. Même les systèmes de mise à la terre correctement conçus et installés doivent être périodiquement testés pour vérifier qu'ils fonctionnent toujours efficacement et en toute sécurité. La procédure de test nécessite la connaissance des éléments à rechercher, l'assurance que le testeur et le test sont les mieux adaptés à l'application, la bonne utilisation du système de mesure pour l'instrument de test utilisé et le plus important, la compréhension des mesures de test.

DÉPANNAGE

Pour s'assurer qu'un système de mise à la terre est correctement installé et fonctionne comme prévu selon le code et les normes de l'industrie ainsi que les spécifications du fabricant d'équipement original et du client, des instruments de test doivent être utilisés. Les instruments de test servent également à identifier la cause des problèmes. *Le dépannage* est le diagnostic systématique d'un système afin de localiser tout défaut ou problème. Un dépanneur qualifié suit un raisonnement logique pour trouver le problème rapidement et efficacement. Une fois que le problème a été identifié et corrigé, le système doit être testé de nouveau pour s'assurer que le problème a bien été corrigé. Une maintenance préventive régulière et de nouveaux tests sont effectués pour éviter de futurs problèmes. Le dépannage des systèmes de mise à la terre et des problèmes de défaut à la terre nécessite la connaissance de certains critères.

- Mesures de sécurité — Pour travailler sur ou autour d'un système électrique, il est nécessaire de comprendre les risques associés, la manière de porter, d'utiliser et d'entretenir l'équipement

de protection individuelle (EPI) et toutes les procédures et règles de sécurité en vigueur pour l'emplacement et l'application donnés.

- Connaissances techniques et application — Il est important de comprendre la terminologie de mise à la terre, les composants électriques, les exigences de l'installation et les procédures liées aux instruments de test avant de procéder à toute mesure. Cependant, la connaissance technique du mode opératoire n'implique pas la compréhension des résultats attendus ou de la signification de résultats inattendus. Outre les mesures de sécurité, il est nécessaire de comprendre l'application de chaque instrument de test et son utilisation adéquate avant de procéder à toute mesure. Il est nécessaire de savoir et de comprendre où procéder aux tests et prises de mesure, comment sélectionner les mesures et de savoir interpréter les mesures pour une analyse correcte du système et l'identification des problèmes. Sans une bonne compréhension de la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs spécifiées, le bon fonctionnement du système ne peut pas être clairement

établi. En outre, le type de problème ne peut pas être identifié et aucune mesure corrective adéquate ne peut être prise.

- Solutions — Une fois que le problème qui a provoqué le défaut est identifié, le choix de la bonne solution permet de s'assurer que le problème peut être corrigé. Un système doit être testé de nouveau pour vérifier que la solution appropriée a été appliquée.
- Vérification et documentation — Pour savoir si un système fonctionne correctement ou si un problème a été corrigé et pour vérifier que toutes les exigences sont respectées, des instruments de test doivent être utilisés. Les comparaisons de données enregistrées entre les valeurs mesurées et les valeurs requises ou recommandées servent de documentation sur le fonctionnement du système.
- Entretien — Les systèmes de mise à la terre étant conçus pour prévenir l'électrocution, les incendies et les problèmes ou dommages aux équipements, le système doit être testé à intervalles réguliers. Cela signifie à chaque fois qu'une modification est apportée au système, qu'un nouvel équipement est ajouté ou qu'un problème tel que des composants endommagés est observé. En règle générale, un système de mise à la terre doit être inspecté chaque année pour vérifier et documenter le fonctionnement du système.

PROBLÈMES DE RÉSISTANCE DU SOL

Les tests de résistivité du sol permettent de déterminer l'emplacement, le type et la taille du système de mise à la terre. Dans la plupart des régions, le sol présente des valeurs de résistivité, mesurées en Ω/cm , suffisamment faibles ; un seul type de

système de mise à la terre standard, tel que des tiges, des anneaux ou des plaques de terre, peut ainsi être utilisé. Cependant, certains bâtiments et certains pylônes et structures sont bâtis sur des sols faiblement conducteurs tels que de la pierre nue ou des zones rocheuses. Dans ce cas, des électrodes de mise à la terre peuvent être encastrées dans du béton non corrosif de faible résistance pour réduire la résistance entre le système de mise à la terre et la terre.

Voir Figure 3-1.

Bien que d'autres méthodes puissent être utilisées pour réduire la résistance du sol entre l'électrode de mise à la terre et la terre, telles que le traitement du sol avec des mélanges minéraux, seules des méthodes sans danger pour l'environnement et sur le plan électrique peuvent être utilisées. Les mélanges minéraux peuvent augmenter la corrosion des pièces métalliques, causer des dommages à l'environnement et se disperser largement, ce qui peut augmenter la résistance du sol au-dessus des exigences minimales de sécurité. La meilleure solution consiste à encastrer l'électrode avec un mélange de béton spécialement conçu, non corrosif, durable et qui maintiendra une résistance faible pendant la durée de vie du système de mise à la terre.



Les systèmes commerciaux de mise à la terre peuvent être dotés de câbles en cuivre ou plaqués cuivre, fusionnés à des tiges de mise à la terre en cuivre ou plaquées cuivre.

Réduction de la résistance de l'électrode de mise à la terre

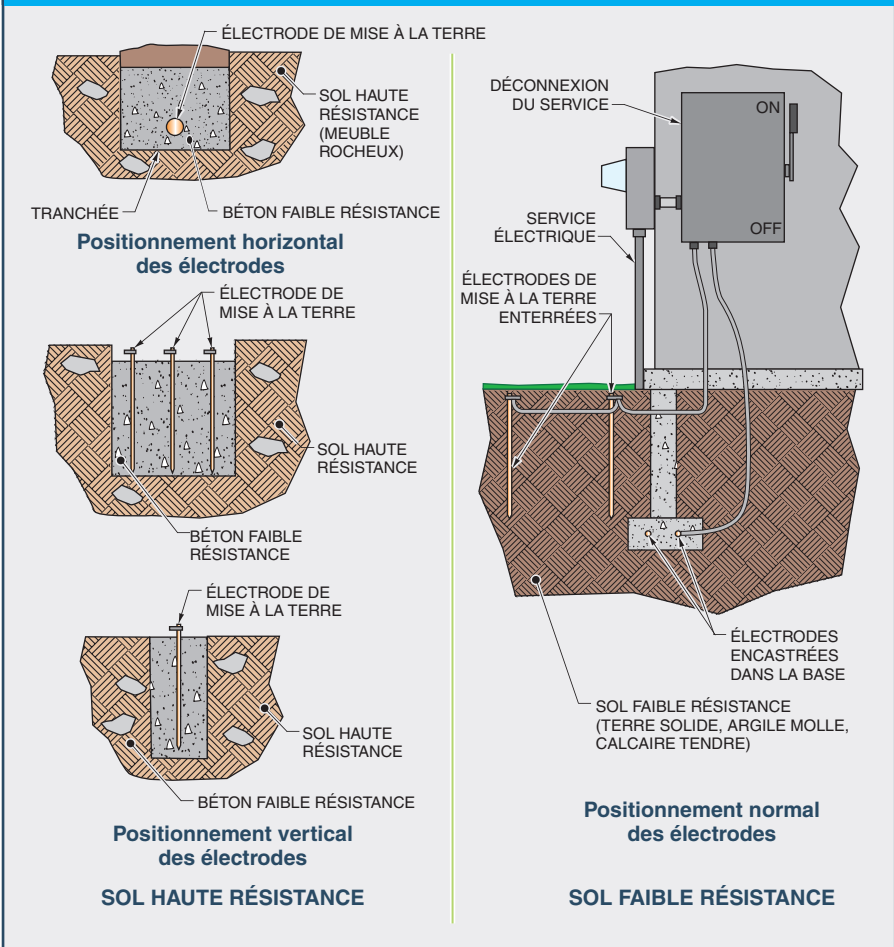


Figure 3-1. Lorsque les bâtiments, les pylônes et les structures sont bâtis sur des sols faiblement conducteurs, tels que de la pierre nue ou des sols rocheux, les électrodes de mise à la terre peuvent être encastrées dans du béton non corrosif de faible résistance afin de réduire la résistance entre la terre et le système de mise à la terre.

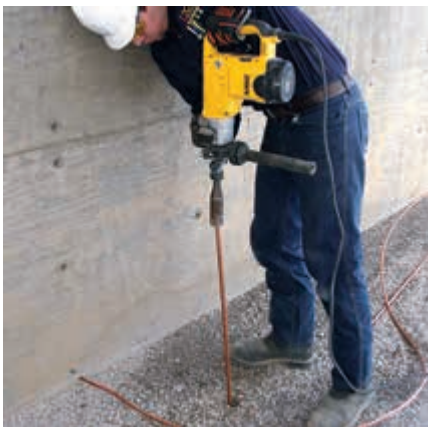
Le sol doit jouer à tout moment le rôle de conducteur de faible résistance pour l'ensemble du système électrique. La résistance réelle du système de mise à la terre ne peut être connue qu'après l'installation grâce à des tests de résistance du système de mise à la terre réalisés avec la méthode à trois ou quatre pôles, la méthode

sélective ou la méthode sans piquet. Il est parfois nécessaire de procéder à des ajustements pour diminuer la résistance du système lorsqu'elle est supérieure aux spécifications. Au fil du temps, l'expérience du technicien ou du concepteur dans une région donnée avec différents types de sols aide à déterminer le meilleur type et

la meilleure taille du système de mise à la terre à installer.

PROBLÈMES D'INSTALLATION DE L'ÉLECTRODE DE MISE À LA TERRE

Les systèmes électriques mis à la terre doivent être raccordés à la terre avec une électrode de mise à la terre, à la structure métallique d'un bâtiment, à des électrodes encastrées dans le béton, à un anneau de mise à la terre ou une conduite d'eau métallique souterraine, conformément à la norme NEC® et aux exigences locales. Le système de mise à la terre est l'un des éléments les plus importants d'un système électrique, car il peut empêcher l'électrocution, les incendies et les dommages aux équipements. Pourtant, il est souvent négligé une fois installé et rarement inspecté ou testé jusqu'à ce qu'un problème survienne. Il est possible que des systèmes de mise à la terre qui étaient autrefois conformes aux exigences minimales de résistance ne le soient plus. Des composants d'un système de mise à la terre peuvent avoir été endommagés au



Les électrodes de mise à la terre peuvent être enfoncées dans les surfaces rocheuses et dures à l'aide de marteaux piqueurs industriels.

point qu'ils ne font plus partie du système. Pour éviter les problèmes liés à la terre, le système de mise à la terre doit être installé correctement et doit être inspecté régulièrement pour s'assurer qu'il fonctionne comme prévu.

Installation du système d'électrode de mise à la terre

Les électrodes à plaque, à tube ou à tige doivent satisfaire aux exigences de la norme NEC®. Un équipement de mise à la terre à tige en acier inoxydable, en cuivre et en acier galvanisé doit être plaqué en cuivre, doit avoir un diamètre minimum de 1,6 m et une longueur de 2,4 m et être enfoncé verticalement dans un sol non corrosif présentant une bonne conductivité. Le sommet de l'électrode doit être au niveau du sol ou en dessous sauf s'il est protégé contre des dommages physiques. En outre, les électrodes à tige et à tube doivent être en contact avec le sol sur une longueur de 2,4 m ou plus.

Des conditions du sol inférieures aux conditions optimales peuvent exiger des systèmes de mise à la terre plus complexes ou des sols artificiels permettant de réduire la résistance de terre aux niveaux requis. La résistance de terre du système de mise à la terre doit être de 25 Ω ou moins pour les électrodes à plaque, à tube ou à tige. Voir **Figure 3-2**.

Dans des conditions de sol rocheux empêchant une installation verticale, l'électrode à tige peut être enfoncée à un angle ne devant pas dépasser 45° par rapport à la verticale. La tige peut également être entermée dans une tranchée d'une profondeur de 0,7 m ou plus. Des électrodes supplémentaires peuvent être connectées en parallèle pour réduire la résistance totale. Si les électrodes à tige ne peuvent pas être utilisées ou ne satisfont pas aux exigences minimales, d'autres méthodes de mise à la terre doivent

Positionnement des électrodes à tige

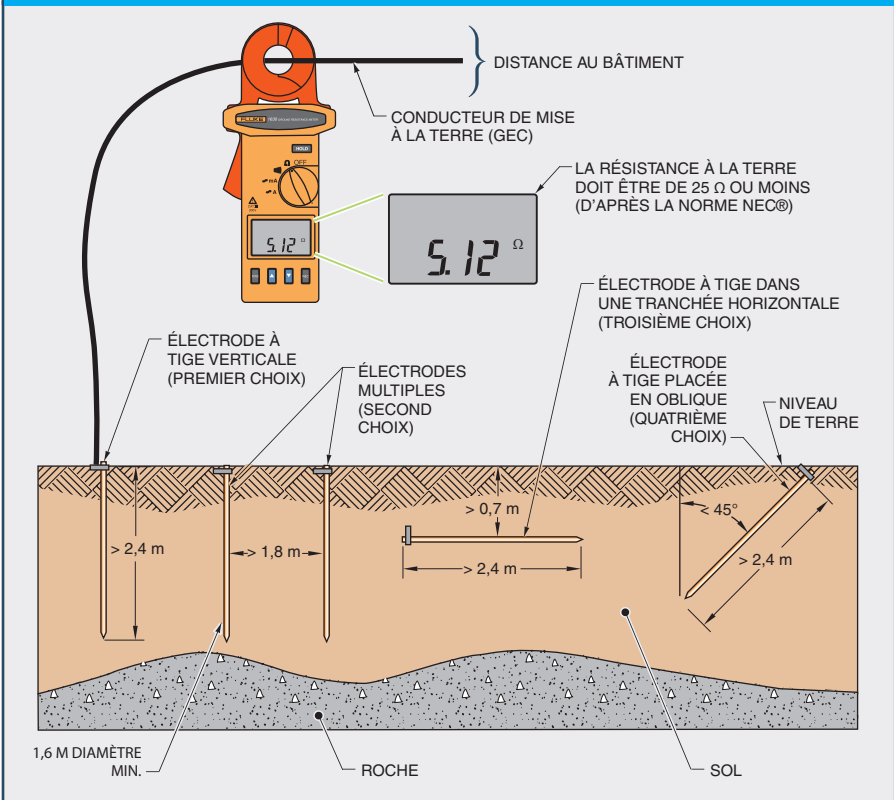


Figure 3-2. Une électrode de mise à la terre à tige d'un diamètre minimum de 1,6 m et d'une longueur de 2,4 m est enfoncée dans un sol non corrodif avec le sommet de l'électrode au niveau du sol ou en dessous. Les électrodes doivent être en contact avec le sol sur une longueur de 2,4 m ou plus.

être utilisées, telles que les structures métalliques des bâtiments, un anneau de terre ou une plaque de mise à la terre. Dans certaines applications, l'installation d'une tige de terre dans un béton de faible résistance conçu pour les systèmes de mise à la terre diminue la résistance pour satisfaire aux exigences du code. La méthode utilisée doit ensuite être testée à l'aide d'un testeur de résistance de terre pour vérifier que les exigences du code sont satisfaites.

Utilisation de plusieurs électrodes de mise à la terre

Selon la norme NEC®, si une électrode à plaque, à tube ou à tige dépasse la limite de 25 Ω de résistance de terre, des électrodes supplémentaires peuvent être ajoutées au système afin de diminuer la résistance totale. La résistance de terre doit ensuite être vérifiée de nouveau. La résistance diminue d'un certain pourcentage à chaque tige supplémentaire ajoutée ayant la même

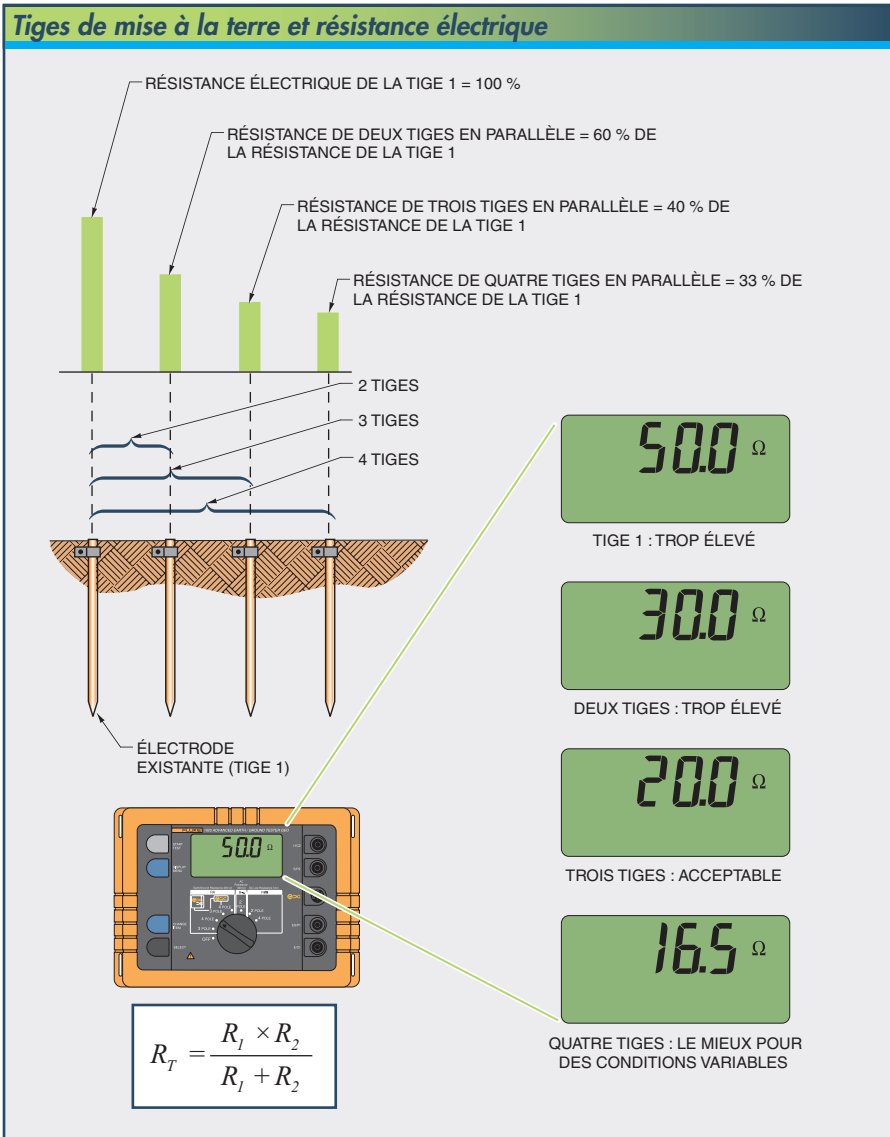


Figure 3-3. Si une électrode dépasse la limite de résistance de terre de 25 Ω, des électrodes supplémentaires peuvent être ajoutées au système afin de diminuer la résistance totale.

résistance individuelle. La deuxième tige diminue la résistance totale à environ 60 % de la résistance de la première tige. La troisième tige diminue la résistance totale à environ 40 % de la résistance de la première

tige. La quatrième tige diminue la résistance totale à environ 33 % de la résistance de la première tige. Des électrodes multiples doivent être espacées d'au moins 1,8 m et connectées par le sommet. **Voir Figure 3-3.**

Remarque : Le but d'un système de mise à la terre (tige, tube, plaque, etc.) est de s'assurer du maintien d'une résistance minimale donnée (généralement 25 Ω). En plus de l'ajout de tiges supplémentaires, leur taille ou leur capacité peut être augmentée selon les besoins, à condition qu'elles soient toutes reliées (liées) conformément aux exigences du code.

PROBLÈMES OPÉRATIONNELS

Un système de mise à la terre correctement conçu et installé doit fonctionner correctement. Dans la plupart des cas, le système de mise à la terre ne fonctionne pas correctement. Malheureusement, un système de mise à la terre peut ne présenter aucun signe de défaillance jusqu'à ce qu'une électrocution se produise ou qu'un équipement soit endommagé ou ne fonctionne pas correctement. Il est important de comprendre la manière dont le système de mise à la terre doit fonctionner, les défauts qui peuvent survenir et la manière de tester et corriger un défaut.

Problèmes de boucle de terre

Un système d'électrode de mise à la terre est installé à l'alimentation électrique principale ou à la source d'un système dérivé séparément. Un *système dérivé séparément (SDS)* est un système électrique qui fournit une alimentation électrique dérivée ou en provenance de transformateurs, batteries de stockage, systèmes photovoltaïques, éoliennes ou générateurs. La grande majorité des SDS est produite au côté secondaire d'un transformateur de distribution.

Un SDS sert généralement à établir un nouveau niveau de tension, réduire l'impédance de la source d'alimentation ou isoler des parties du système de distribution. Un SDS n'ayant aucune connexion électrique



Les conducteurs des systèmes de mise à la terre sont généralement identifiables par la présence d'une gaine isolante de couleur verte.

directe à aucun autre composant d'un système de distribution (transformateurs à couplage magnétique), une nouvelle référence de terre est nécessaire. Une référence de terre adéquate est nécessaire pour la sécurité et le bon fonctionnement de l'équipement et est établie en créant une connexion de terre entre le SDS et la terre.

La mise à la terre se fait grâce à une électrode de mise à la terre telle qu'une tige ou une structure métallique d'un bâtiment effectivement mise à la terre. La connexion du neutre à la terre doit se faire uniquement sur le transformateur ou sur le tableau de distribution principal. La connexion du neutre à la terre se fait en connectant la barre omnibus neutre à la barre omnibus de terre avec une tresse de mise à la terre principale et au système d'électrode de mise à la terre avec un conducteur de mise à la terre. **Voir Figure 3-4.** Une *tresse de mise à la terre principale (MBJ)* est une connexion se trouvant dans un panneau de distribution et reliant le conducteur de mise à la terre de l'équipement (EGC), le conducteur de mise à la terre (GEC) et le conducteur mis à la terre (conducteur neutre).

Un *conducteur de mise à la terre de l'équipement (EGC)* est un conducteur électrique fournissant un chemin de terre de faible impédance entre les équipements électriques et les boîtiers au sein d'un réseau de distribution. Un GEC relie les parties mises à la terre d'un système de distribution (conducteurs de mise à la terre, conducteurs

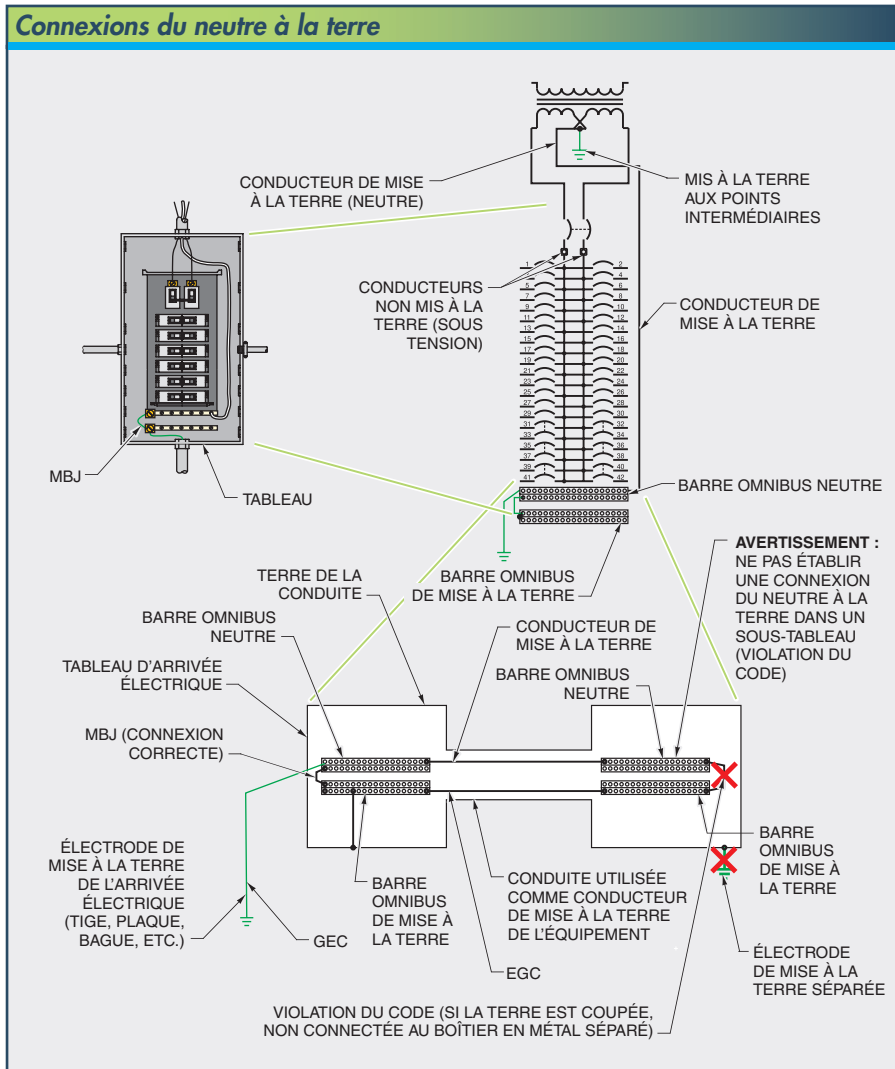


Figure 3-4. La connexion du neutre à la terre se fait en connectant la barre omnibus neutre à la barre omnibus de terre avec une MBJ et à une électrode de mise à la terre.

de terre et toutes les parties métalliques de l'équipement) au système de mise à la terre approuvé par la NEC®.

Les connexions du neutre à la terre ne doivent pas être faites dans un sous-panneau, une prise ou un équipement. Lorsqu'une connexion du neutre à la terre

est faite hors d'un tableau de distribution principal, un chemin de circulation parallèle est créé pour le courant de retour normal d'une charge. Le chemin de circulation parallèle permet au courant de circuler à travers les parties métalliques du système. La norme NEC® ne permet aucune connexion

du neutre à la terre qui crée des boucles de terre, car cela peut provoquer des électrocutions et des problèmes de qualité énergétique. Outre l'interdiction de connexions du neutre à la terre dans les sous-panneaux, aucune masse supplémentaire, telle que des électrodes de mise à la terre, ne peut être établie. L'ajout d'une électrode de mise à la terre isolée supplémentaire et distincte crée deux références de terre qui sont généralement à des potentiels différents.

Une *boucle de terre* est un circuit électrique ayant plus d'un point de mise à la terre relié à la terre, avec une différence de potentiel entre les points de mise à la terre

suffisamment élevée pour produire la circulation d'un courant dans le système de mise à la terre. Les deux électrodes de mise à la terre entraînent la circulation d'un courant et la formation d'une boucle de terre entre les deux électrodes de mise à la terre pour tenter d'égaliser la différence de potentiel. La circulation de courant est causée par un courant qui circule d'un potentiel supérieur vers un potentiel plus faible. Un potentiel existe en raison de la différence d'impédance (résistance, inductance et capacité totales) entre les deux points de terre. **Voir Figure 3-5.**

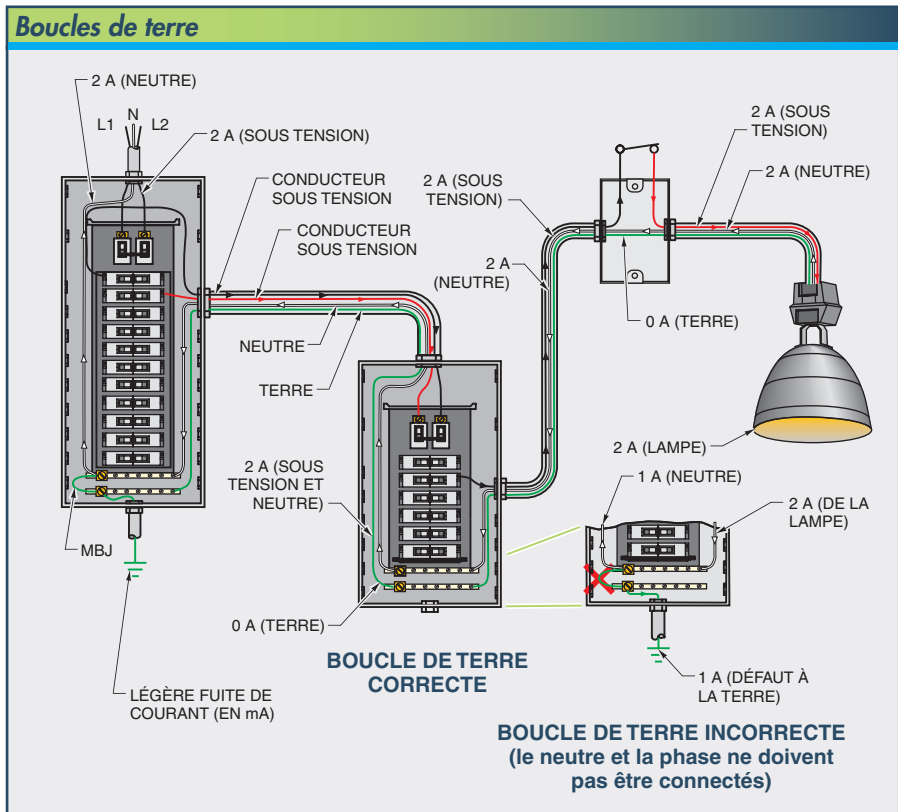


Figure 3-5. Une boucle de terre est un circuit ayant plus d'un point de mise à la terre relié à la terre, avec une différence de potentiel entre les points de mise à la terre suffisamment élevée pour causer la circulation d'un courant dans le système de mise à la terre.

ASTUCE TECHNIQUE

En général, une faible quantité de courant peut fuir à travers l'isolement électrique et indiquer une mesure de résistance pouvant atteindre plusieurs centaines de mégohms ($M\Omega$) sur un mégohmmètre.

Courant de défaut de terre du circuit

Tous les circuits électriques sont conçus avec un chemin normal de circulation du courant. Par exemple, le chemin normal de circulation du courant pour un circuit 115 V AC. démarre au conducteur sous tension, circule à travers la charge et retourne vers le neutre. Le courant ne doit jamais, à aucun moment, circuler à travers les conducteurs de terre d'un circuit de dérivation ni du métal. Le courant ne doit circuler à travers le conducteur de terre que lorsqu'un défaut se produit dans le circuit. Généralement, les défauts entraînant la circulation d'un courant à travers un conducteur de terre comprennent les courts-circuits, les ruptures d'isolement, l'humidité, la corrosion, les câbles endommagés et les connexions illégales du neutre à la terre.

Un courant qui ne circule pas le long du chemin désigné est appelé un courant de fuite. Un courant de fuite est un courant qui quitte le chemin normal de circulation (du sous tension vers le neutre) et circule à travers un chemin de terre. Un courant de fuite peut se produire dans un équipement, un circuit de dérivation et partout où le courant circule vers le système de mise à la terre en raison d'un défaut. Par exemple, si une rupture d'isolement se produit entre un conducteur sous tension et un conducteur mis à la terre ou un métal mis à la terre, un courant peut circuler du conducteur sous tension vers le conducteur de terre.

La quantité de courant en circulation peut être faible (exprimée en μA ou mA) ou

importante (jusqu'à plusieurs ampères). Si le courant est suffisamment élevé, le fusible saute ou le disjoncteur se déclenche. Ce sont les faibles quantités de courant de fuite qui causent des problèmes tels que l'électrocution, car elles peuvent passer inaperçues jusqu'à ce qu'elles augmentent au point de déclencher le disjoncteur. **Voir Figure 3-6.**

En théorie, il ne doit pas y avoir de courant de fuite dans un équipement ou un circuit de dérivation. Certains courants de fuite vers la terre seront présents à travers le système de mise à la terre du bâtiment. Un courant de fuite existe car la source d'alimentation utilitaire est mise à la terre au niveau du transformateur et le système de mise à la terre du bâtiment est mis à la terre à l'entrée de distribution. La terre entre les deux points de mise à la terre peut permettre à certains courants de circuler à travers le sol.

Depuis les points auxquels l'alimentation du réseau est mise à la terre et la distribution est mise à la terre avec un conducteur de faible résistance, le conducteur supporte la majeure partie du courant neutre du système de retour vers le transformateur. La quantité de courant circulant de l'électrode de terre vers le transformateur est généralement comprise entre 5 mA et 100 mA. Tout courant de plus de 5 mA doit permettre d'identifier la source du courant de fuite. Un système de mise à la terre doit pouvoir être testé à l'intérieur du panneau de distribution. Cela permet d'inspecter le câblage et le courant de dérivation sur la phase, le neutre et la terre afin de comprendre le fonctionnement du système. Un courant élevé peut causer des problèmes, et les courants de fuite de terre élevés sont généralement causés par des connexions neutres endommagées, desserrées ou de mauvaise qualité qui augmentent la résistance totale du conducteur neutre. **Voir Figure 3-7.**

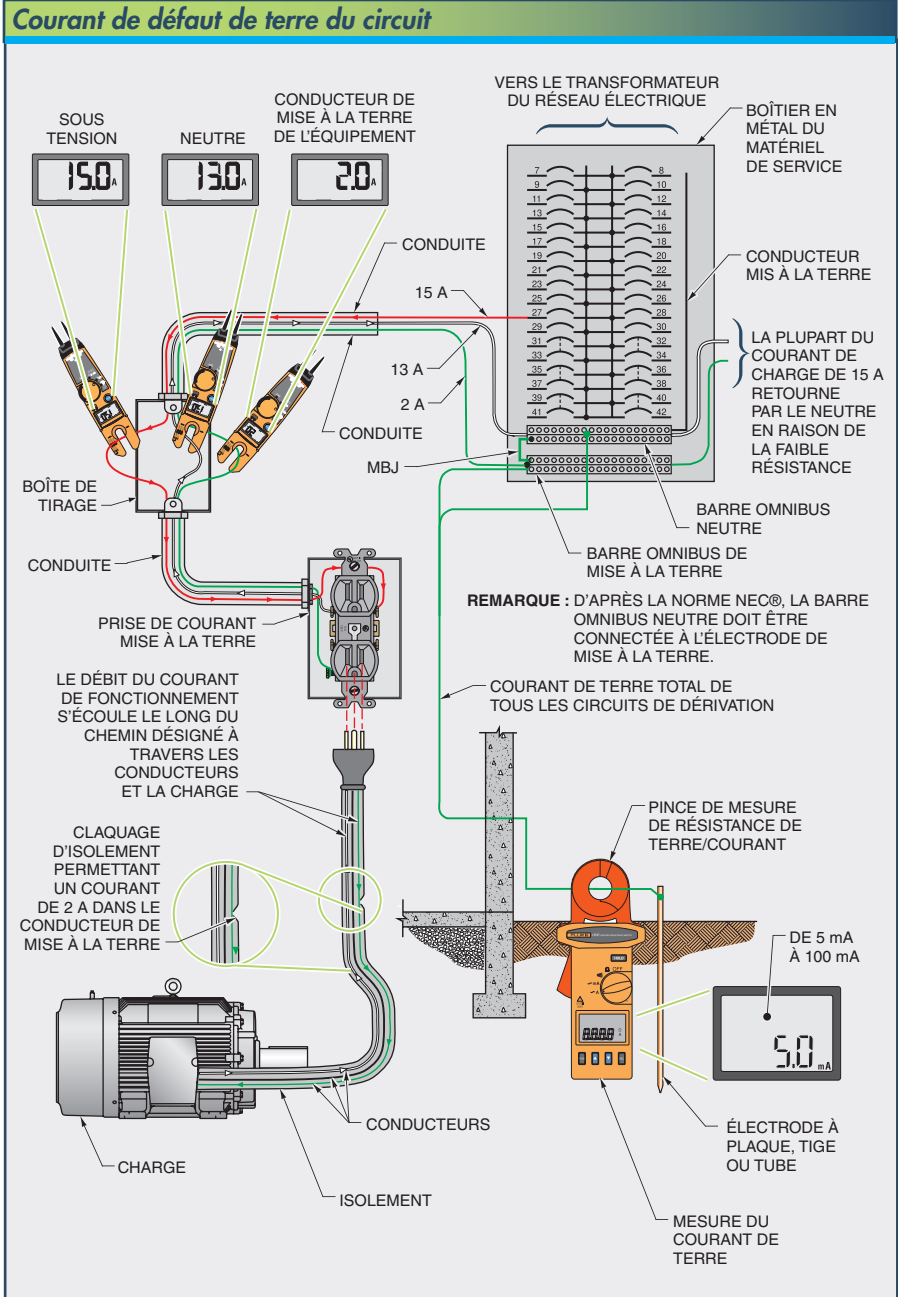


Figure 3-6. Les courants de défaut de terre peuvent être testés avec des instruments de test tels que les ampèremètres et les testeurs de courant / de résistance de terre.

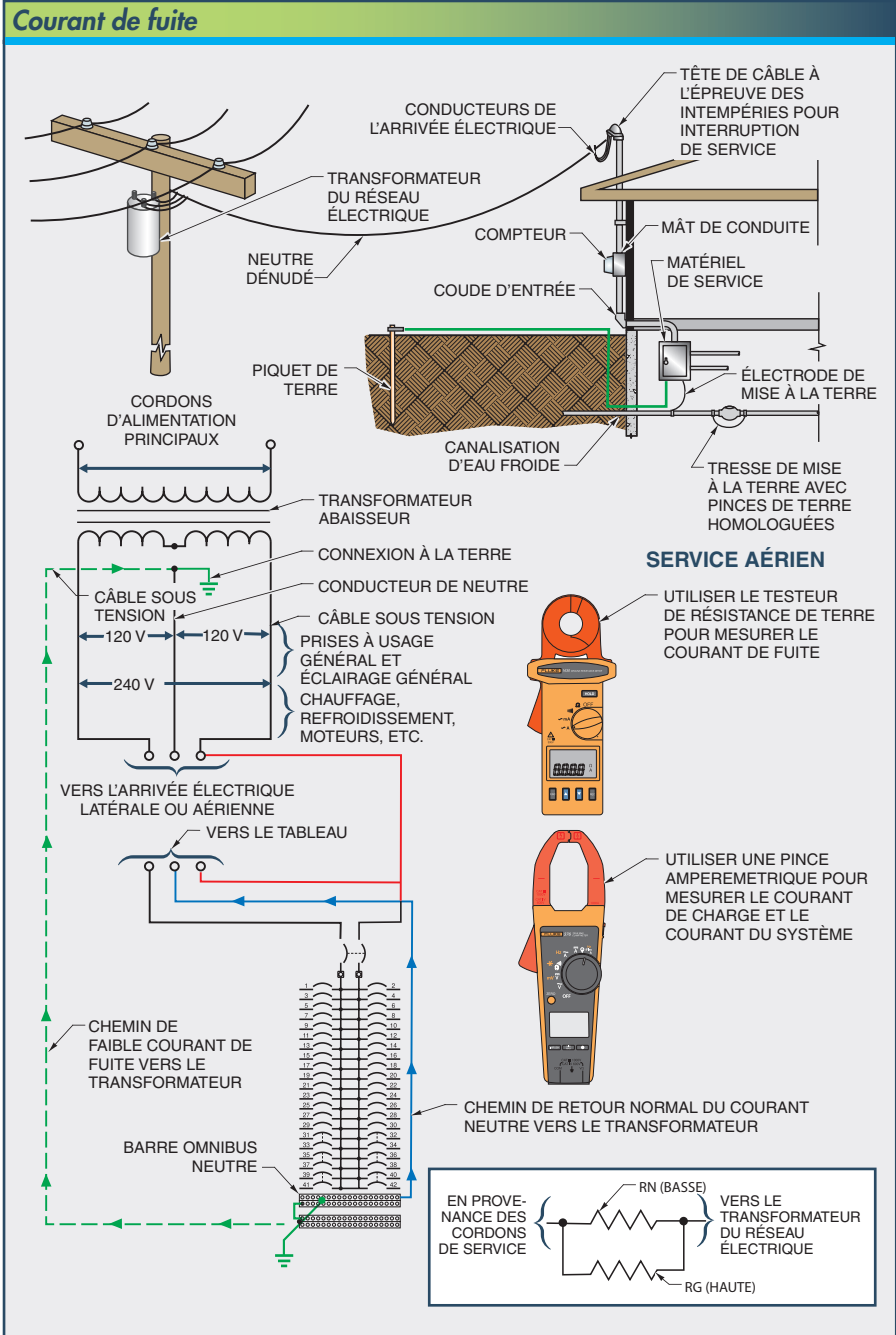


Figure 3-7. Le courant électrique circule vers une différence de potentiel entre deux points.

Dépannage et maintenance préventive du système

Les systèmes et les composants de mise à la terre font partie d'un système électrique entier, de la phase de génération à chaque point de livraison et d'utilisation final. Cela comprend le système de mise à la terre de l'équipement, les prises de terre, la terre de la foudre, la terre du bâtiment, la terre de l'équipement et la terre des circuits. Une défaillance, telle qu'un circuit ouvert, un court-circuit, une connexion à haute résistance ou une liaison inappropriée peut provoquer des problèmes dans le système et créer une condition risquée et dangereuse. Le dépannage et la maintenance préventive du système de mise à la terre requièrent l'utilisation de plusieurs instruments de test, outre un testeur de terre afin de localiser tous les problèmes ou toutes les défaillances potentielles.

CONNEXIONS DESSERRÉES

Lorsqu'un courant traverse un appareil possédant une résistance, ce dernier enregistre une chute de tension et produit de la chaleur en raison de la puissance produite ($E = I \times R$). Comme l'ensemble des conducteurs (câbles), raccords et connexions possède une certaine résistance, l'appareil produit systématiquement une certaine puissance/chaleur. Les conducteurs de taille adéquate et les connexions correctement réalisées présentent une faible résistance et produisent par conséquent moins de chaleur. Les conducteurs de taille inférieure à la norme et les connexions desserrées présentent une résistance plus élevée et produisent par conséquent beaucoup de chaleur. Même les conducteurs de taille adéquate produisent de la chaleur, car ils présentent une résistance. La quantité de chaleur produite dépend de la quantité de courant traversant les conducteurs et les connexions. Plus la quantité de courant traversant le conducteur ou la connexion est élevée, plus ce dernier/cette dernière produit de la chaleur.

Une caméra infrarouge est un dispositif capable de détecter les tendances thermiques sur le spectre d'ondes infra-

rouges sans entrer en contact direct avec l'équipement. Une caméra infrarouge peut être utilisée pour observer ou mesurer la chaleur produite par les conducteurs et les connexions. Les tendances thermiques sont indiquées par les couleurs bleue (le plus froid), verte, jaune, orange et rouge (le plus chaud). La température peut également s'afficher sur l'écran de la caméra infrarouge.

Tous les conducteurs ou toutes les connexions traversées par un courant émettent de la chaleur. Tant que le courant se situe dans les limites indiquées, la chaleur produite ne peut pas causer de problèmes. Une faible quantité de courant (une faible intensité), voire aucun courant ne doit traverser un conducteur mis à la terre. Par conséquent, aucune chaleur ne doit être produite ou observée dans le conducteur ou la connexion. S'il existe des éléments qui laissent croire qu'il y a une production de

ASTUCE TECHNIQUE

L'article 250 du National Electrical Code® (NEC®) 2011, parties III, IV, V et VI, traite des connexions du conducteur de mise à la terre

chaleur, cela veut dire qu'il y a un problème qui doit être examiné.

En mesurant la chute de tension dans une connexion à l'aide d'un voltmètre ou d'un multimètre numérique, il est possible de déterminer si une connexion est bonne ou mauvaise. Plus la chute de tension mesurée dans une connexion est importante, plus la résistance des connexions est élevée et plus la qualité du raccord diminue. En mesurant la résistance du système de mise à la terre (conducteurs et connexions) à l'aide d'une pince de terre, il est possible de déterminer un problème qui se produit dans le système. **Voir Figure 4-1.** Si un problème, tel qu'une résistance élevée, est détecté, chaque composant du système de mise à la terre doit être inspecté et testé. Toutes les connexions doivent également être inspectées, car le problème est généralement lié à une mauvaise connexion. D'autres problèmes peuvent être liés au fait que la résistance des électrodes de mise à la terre

a augmenté en raison de la sécheresse du sol ou de la corrosion des tiges.

CONNEXIONS À LA TERRE INCORRECTES

La terre est connectée au niveau de l'équipement électrique principal ou de la source d'un système dérivé séparément (SDS). Un SDS fournit la puissance électrique dérivée ou provenant des transformateurs, des accumulateurs, des systèmes photovoltaïques, des générateurs à turbines éoliennes ou d'autres générateurs. **Voir Figure 4-2.**

Une nouvelle référence de terre est requise, car un SDS n'est pas en contact électrique avec les autres composants du système de distribution. La nouvelle référence de terre doit être reconnectée à la prise de terre principale du bâtiment et non à une nouvelle prise de terre. Si elle est reconnectée à la prise de terre principale du bâtiment, le système de mise à la terre est connecté à un point de mise à la terre commun (électrode).

Si la sortie d'un SDS n'est pas mise à la terre, les charges du système continuent de fonctionner. Il existe toutefois une condition dangereuse. Un voltmètre permet de vérifier que la sortie du SDS est correctement mise à la terre. **Voir Figure 4-3.** Un voltmètre lit la sortie du SDS, que le système ait été ou non mis à la terre.

Ainsi, pour tester un secondaire mis à la terre, le voltmètre doit être connecté entre les deux lignes d'alimentation afin de vérifier la tension de sortie du SDS. Le voltmètre doit afficher la tension de sortie, que le secondaire du SDS soit ou non mis à la terre. Si l'une des lignes d'alimentation a été mise à la terre, le voltmètre mesure la sortie secondaire du SDS entre le conducteur sous tension (protégé par un fusible) et la terre. Si l'une des lignes d'alimentation n'est pas mise à la terre, le multimètre ne



Les caméras infrarouges permettent de détecter en toute sécurité les problèmes passés inaperçus sur les systèmes et les équipements électriques.

peut pas mesurer de tension fixe entre une ligne de sortie d'alimentation et la terre. La mesure varie, car le multimètre ne mesure que la tension fantôme. La *mesure d'une tension fantôme* est une mesure effectuée sur un voltmètre qui n'est pas connecté à

un circuit sous tension. Il est également possible d'afficher une tension fantôme si un cordon du multimètre est connecté à un circuit sous tension et l'autre n'est pas connecté à un point sous tension ou mis à la terre.

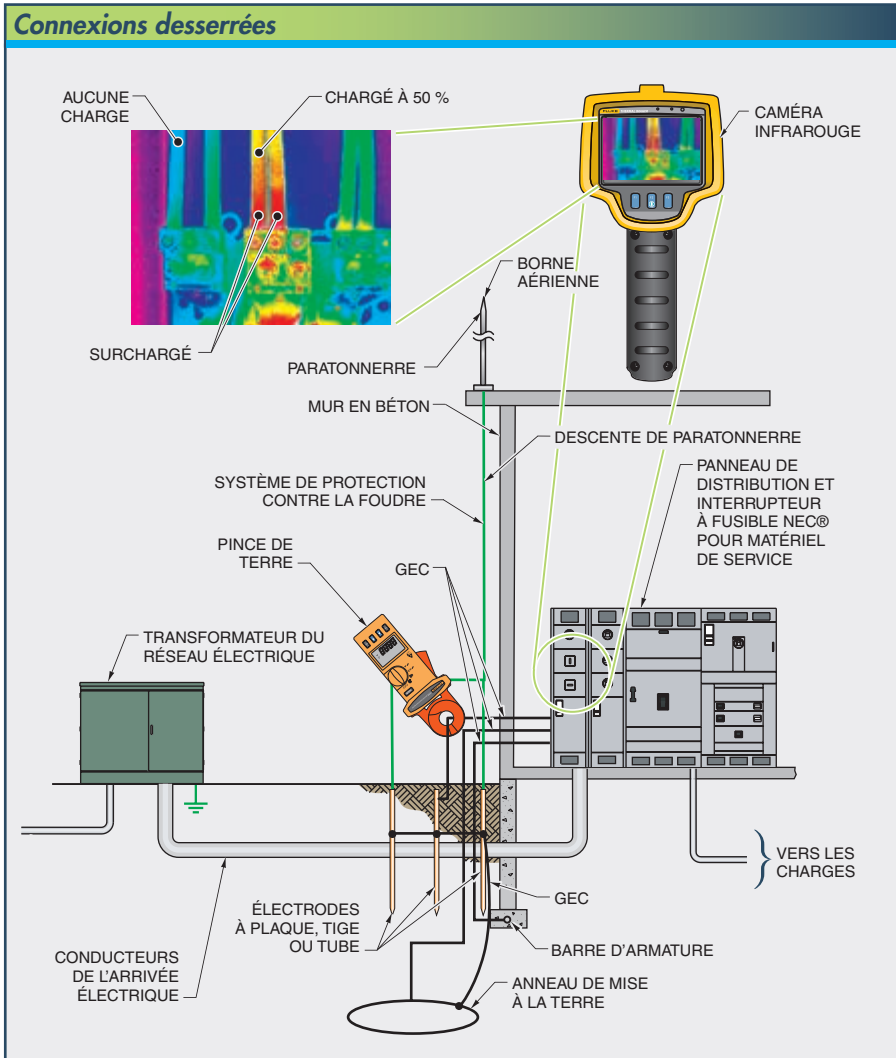


Figure 4-1. Il est possible de localiser et de mesurer les problèmes liés à une connexion desserrée dans un système de mise à la terre à l'aide de pinces de terre et de caméras infrarouges.

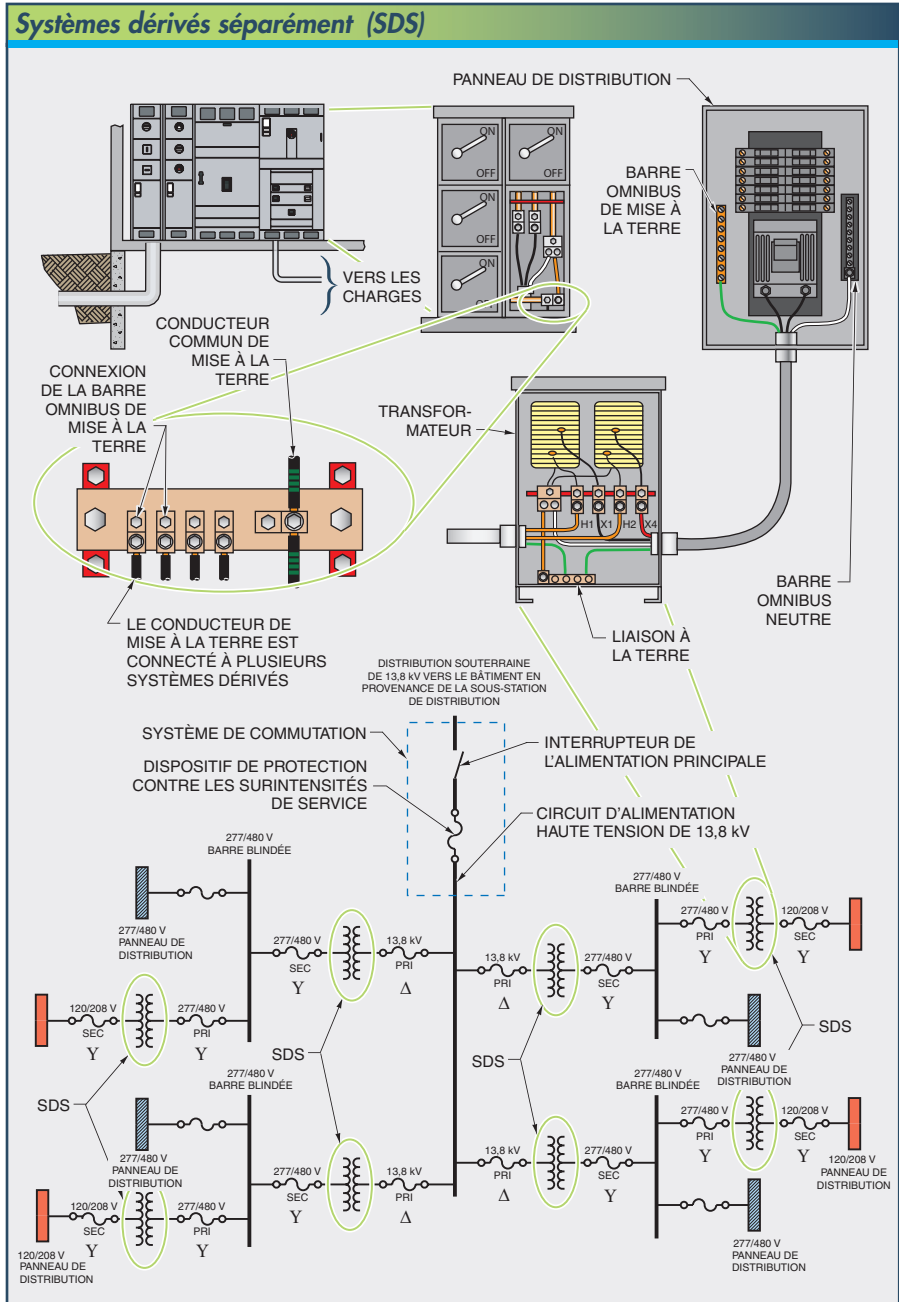


Figure 4-2. La prise de terre est connectée au niveau de l'équipement électrique et d'un SDS.

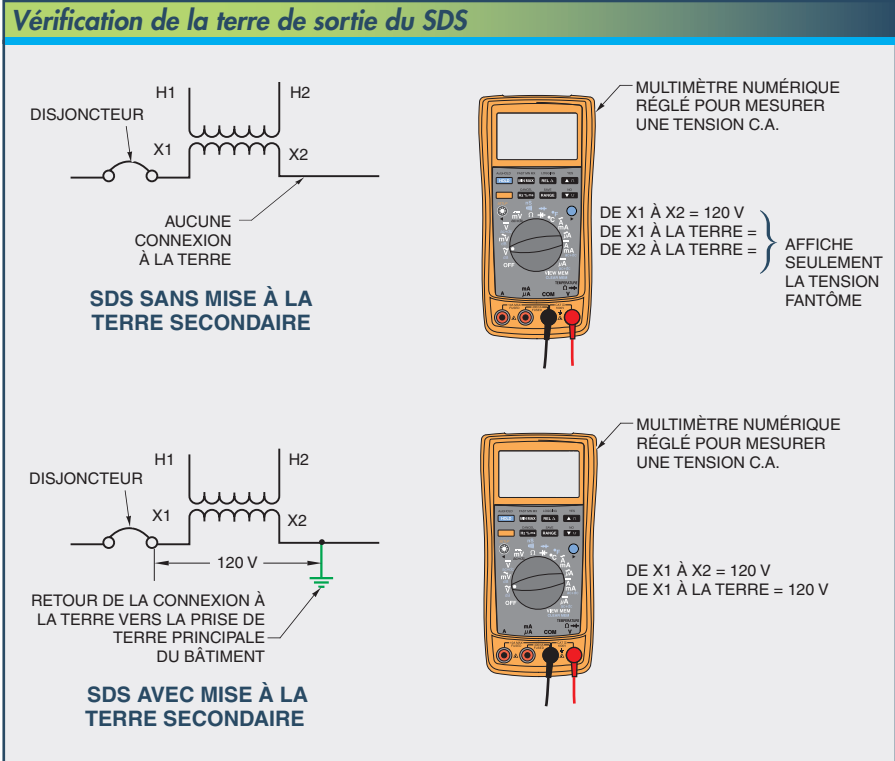


Figure 4-3. Un voltmètre ou un instrument de test semblable permet de vérifier que la sortie du SDS est correctement mise à la terre.

MULTIPLES CONNEXIONS DU NEUTRE À LA TERRE

Les connexions du neutre à la terre ne doivent pas être établies dans les sous-tableaux, les prises ou un équipement. Si une connexion du neutre à la terre est établie, un chemin parallèle est créé pour le courant de retour normal provenant des charges du système. Le chemin parallèle permet au courant de traverser les pièces métalliques du système, créant ainsi une condition dangereuse. Tous les points de mise à la terre doivent être reconnectés à l'électrode de mise à la terre principale. **Voir Figure 4-4.**

Mesurer la quantité de courant présent sur un système de mise à la terre peut s'avé-

rer utile lors de l'inspection des systèmes électriques du bâtiment ou du dépannage du système afin de localiser une défaillance. Le courant de terre est mesuré à l'aide d'une pince de terre prévue à cet effet. Les pinces de terre sont conçues pour mesurer de petites quantités de courant de terre et ne doivent pas être utilisées pour mesurer un courant de charge, de circuit de dérivation ou de conducteur électrique. Un ampèremètre à pince sert à mesurer un courant de charge, de circuit de dérivation ou de conducteur électrique. Le courant de terre mesuré est le plus élevé dans l'électrode de mise à la terre, car il s'agit de la totalité des courants de terre.

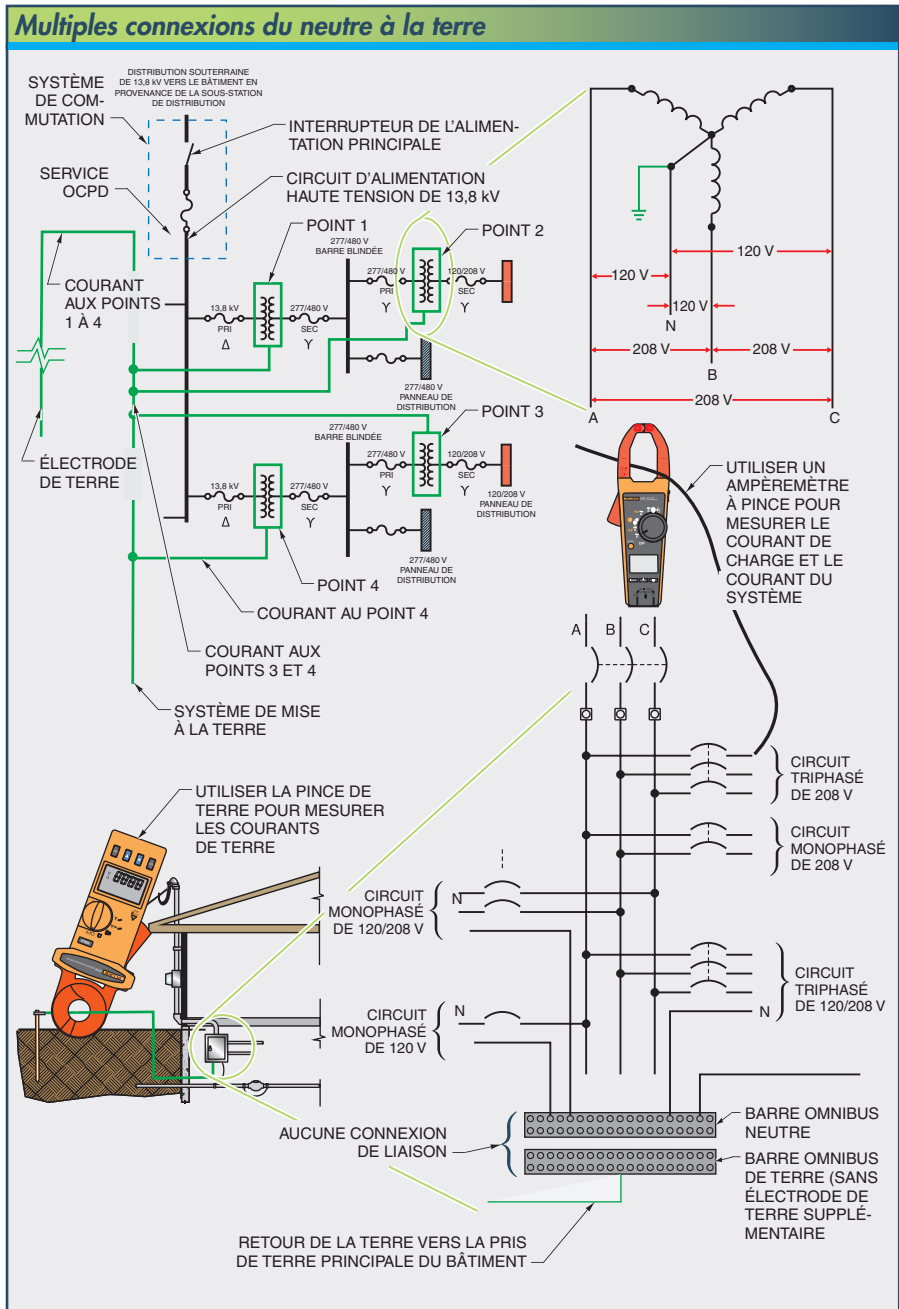


Figure 4-4. Avec plusieurs connexions du neutre à la terre, tous les points de mise à la terre doivent être reconnectés à l'électrode de mise à la terre principale.

COURANT DE TERRE ÉLEVÉ—CLAQUAGE D'ISOLEMENT

Les conducteurs électriques sont recouverts d'un matériau isolant. L'isolement empêche le courant de circuler en dehors du chemin désigné à travers le conducteur jusqu'aux pièces métalliques mises à la terre ou non mises à la terre exposées ou un système de mise à la terre. Il doit être assez résistant pour empêcher le courant de le traverser et de provoquer un choc électrique ou un incendie, de déclencher un disjoncteur ou de griller un fusible. Une petite quantité de courant de fuite peut traverser la plupart des isolants. Le courant de fuite augmente lorsque l'isolement se dégrade en raison de l'humidité, de températures extrêmes, de déversement d'huile, de vibrations, de polluants et de contrainte ou de dommage mécanique.

À mesure que la résistance de l'isolement diminue, le courant de fuite à la terre augmente. Avant que le courant de fuite ne devienne assez élevé pour ouvrir un disjoncteur ou un fusible, il peut provoquer un choc électrique ou produire une étincelle pouvant engendrer un incendie. Les instruments de test électrique servent à tester des variables dans les systèmes électriques, les charges, l'isolement et la terre. **Voir Figure 4-5.** Les instruments de test électriques comprennent les éléments suivants :

- Un mégohmmètre (testeur d'isolement) sert à tester l'état de l'isolement lorsque l'alimentation est coupée. Un mégohmmètre est connecté à la terre et à chaque conducteur conçu pour transporter du courant vers la charge.
- Une pince de terre sert à mesurer le courant de fuite (réglage de courant faible), ainsi que le courant à travers le système de mise à la terre lorsque l'appareil est sous tension. Le courant de

fuite augmente lorsque les mesures sont prises à partir de circuits et de charges individuels et renvoyées à l'électrode de mise à la terre principale du bâtiment.

- Un ampèremètre à pince sert à mesurer la quantité de courant absorbé par les charges individuelles, les circuits de dérivation individuels ou les sources d'alimentation principales lorsque l'appareil est sous tension.
- Un multimètre numérique, un ampèremètre à pince ou un multimètre servant à mesurer la résistance est utilisé pour mesurer la résistance de chaque composant ou charge lorsque l'appareil est hors tension.

Pour tester ou dépanner un système électrique, il faut effectuer plusieurs types de mesure afin de comprendre parfaitement le fonctionnement du système, des circuits et des charges. Un test individuel peut identifier un problème ou un composant défaillant. Cependant, il est possible qu'il ne parvienne pas à identifier d'autres problèmes qui peuvent engendrer ou qui engendrent des problèmes supplémentaires. Lors du test ou du dépannage d'un système électrique, la tension du circuit ou de la charge, l'intensité et la résistance du système de mise à la terre doivent être systématiquement mesurées afin de fournir un point de départ. En outre, il est possible de relever d'autres mesures afin d'identifier tout autre problème ou de fournir plus d'informations sur le système. Les mesures relevées comprennent :

- la tension, qui indique la présence et le niveau d'alimentation ;
- le courant, qui indique la quantité de charges présente sur un circuit ;
- la résistance de terre, qui s'assure que l'installation offre la résistance minimale requise ;
- le courant de fuite à la terre, qui identifie

Test des variables électriques

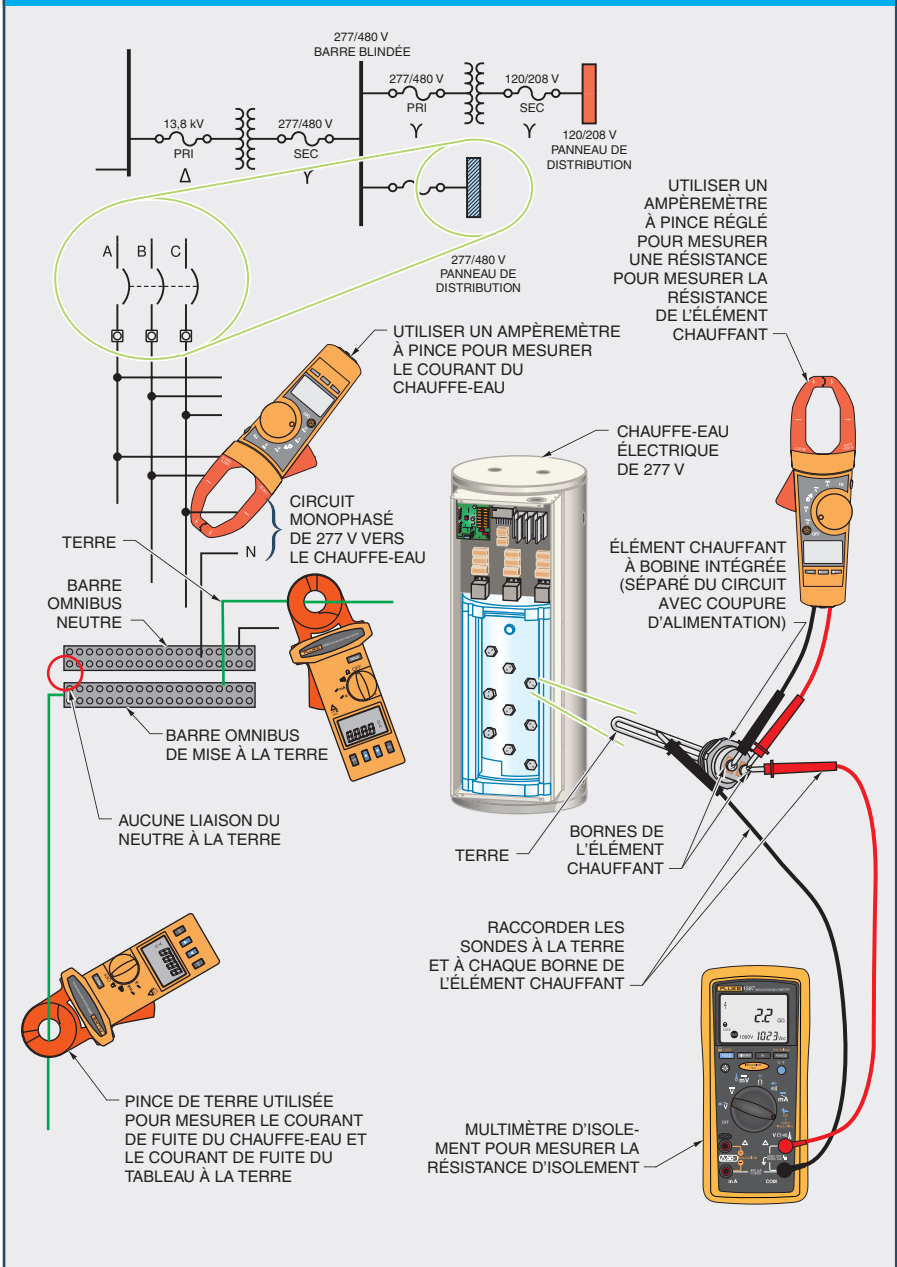


Figure 4-5. Les instruments de test électrique servent à tester des variables dans les systèmes électriques, les charges, l'isolement et la terre.

tout risque de choc électrique et tous les problèmes susceptibles de provoquer un incendie ;

- une faible résistance, qui identifie le niveau de résistance des raccords, charges, etc. [*remarque* : utilisez un multimètre numérique standard destiné à mesurer la résistance (Ω)] ;
- une résistance élevée, qui indique l'état de l'isolement (*Remarque* : utilisez un mégohmmètre ou un testeur de résistance d'isolement) ;
- la puissance, qui détermine le coût de fonctionnement (W), la taille des transformateurs (VA) et le rendement (FP)



Un mégohmmètre permet de mesurer la résistance de l'isolement sur les équipements et les systèmes électriques.

MESURE DES COURANTS DE SYSTÈME DE MISE À LA TERRE

Certaines défaillances se produisant dans un système électrique sont visibles, telles qu'une lampe grillée, d'autres requièrent un test, telles qu'un disjoncteur déclenché de façon continue et d'autres encore peuvent nécessiter plusieurs tests avec différents

multimètres à des endroits différents. Le test et le dépannage du système de mise à la terre exigent que la mesure soit prise à plusieurs endroits, y compris les conducteurs sous tension, neutres et de terre afin de comprendre le fonctionnement du système et de déterminer l'existence d'un problème. Les tests consistent entre autres à mesurer la tension et le courant de la charge, des tableaux et du système de commutation. **Voir Figure 4-6.**

Un ensemble de multimètres sans fil, tel que des multimètres numériques sans fil, peut être utilisé pour mesurer et surveiller plusieurs mesures prises à partir d'un emplacement central. Il est possible d'utiliser un multimètre numérique sans fil qui prend les mesures des multimètres distants et les affiche sur un multimètre unique. Le multimètre peut afficher les mesures qu'il prend, ainsi que celles de trois autres modules distants sans fil se trouvant sur l'ensemble du système. Les multimètres distants peuvent mesurer et communiquer les mesures de tension, d'intensité et de température à un multimètre unique, ce qui permet de surveiller les systèmes à plusieurs endroits. Ils renforcent également la sécurité, car l'opérateur utilisant le multimètre principal peut surveiller les mesures déjà associées à un endroit dangereux.

ASTUCE TECHNIQUE

Un multimètre numérique sans fil affiche ses propres mesures, ainsi que celles provenant de trois modules sans fil, jusqu'à des distances de 20 m.

Mesure des courants de terre du système à plusieurs emplacements

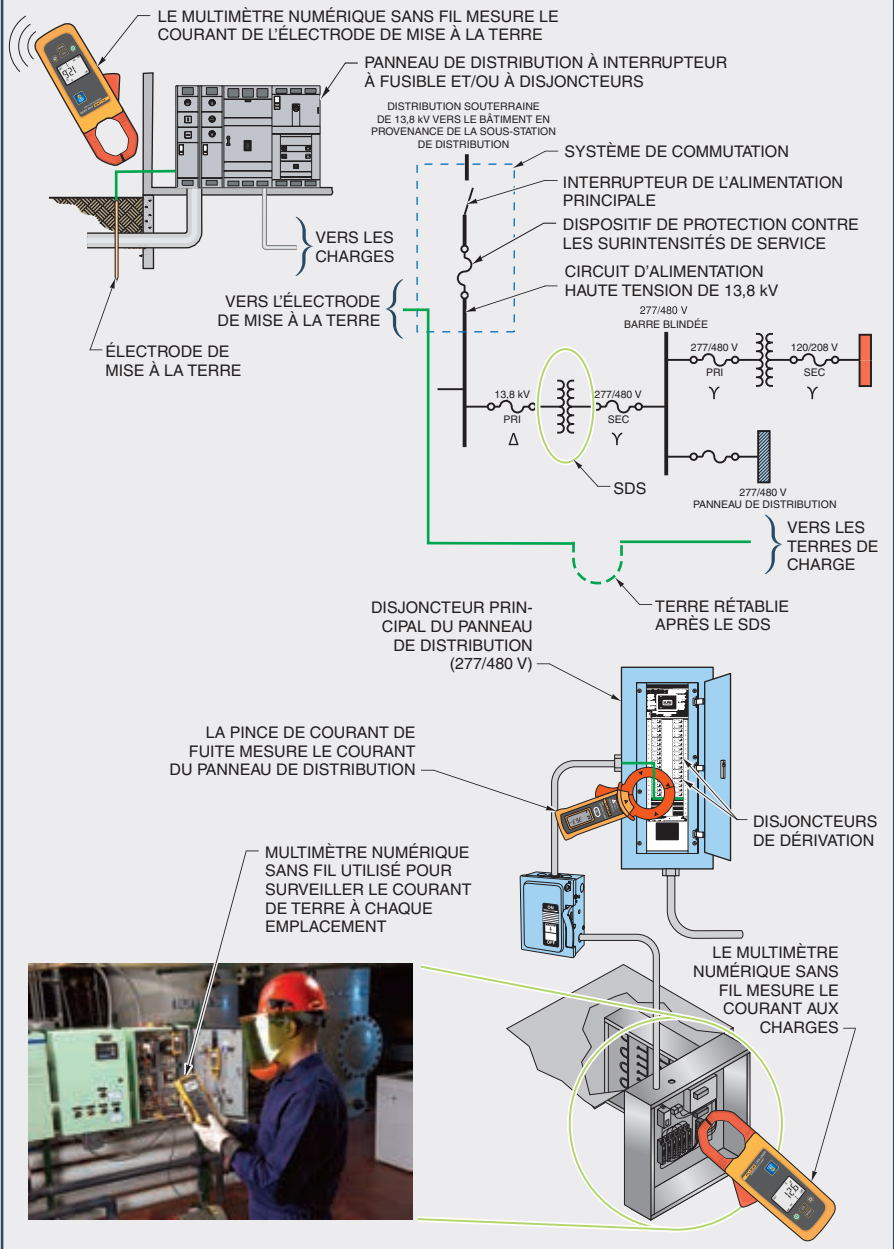


Figure 4-6. Un ensemble de multimètres sans fil, tels que des multimètres numériques sans fil ou des pinces multimètres, peut être utilisé pour mesurer et surveiller plusieurs mesures provenant d'un emplacement central.

Formules de puissance — monophasé, triphasé

Phase	Rechercher	Utiliser la formule	Exemple		
			Données	Rechercher	Solution
1 ϕ	I	$I = \frac{VA}{V}$	32 000 VA 240 V	I	$I = \frac{VA}{V}$ $I = \frac{32\,000\text{ VA}}{240\text{ V}}$ $I = 133\text{ A}$
1 ϕ	VA	$VA = I \times V$	100 A, 240 V	VA	$VA = I \times V$ $VA = 100\text{ A} \times 240\text{ V}$ $VA = 24\,000\text{ VA}$
1 ϕ	V	$V = \frac{VA}{I}$	42 000 VA 350 A	V	$V = \frac{VA}{I}$ $V = \frac{42\,000\text{ VA}}{350\text{ A}}$ $V = 120\text{ V}$
3 ϕ	I	$I = \frac{VA}{V \times \sqrt{3}}$	72 000 VA 208 V	I	$I = \frac{VA}{V \times \sqrt{3}}$ $I = \frac{72\,000\text{ VA}}{360\text{ V}}$ $I = 200\text{ V}$
3 ϕ	VA	$VA = I \times V \times \sqrt{3}$	2 A, 240 V	VA	$VA = I \times V \times \sqrt{3}$ $VA = 2 \times 416$ $VA = 832\text{ VA}$

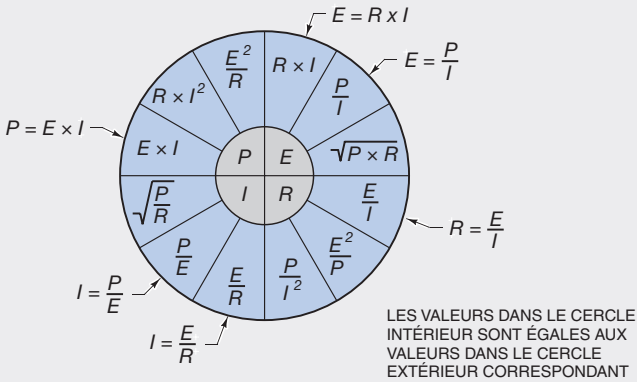
Valeurs de tension triphasée

Pour 208 V \times 1,732, utiliser 360
Pour 230 V \times 1,732, utiliser 398
Pour 240 V \times 1,732, utiliser 416
Pour 440 V \times 1,732, utiliser 762
Pour 460 V \times 1,732, utiliser 797
Pour 480 V \times 1,732, utiliser 831
Pour 2 400 V \times 1,732, utiliser 4 157
Pour 4 160 V \times 1,732, utiliser 7 205

Symboles et abréviations de la formule puissance

P = watts	V = volts
I = ampères	VA = volts ampères
A = ampères	ϕ = phase
R = ohms	$\sqrt{\quad}$ = racine carrée
U = volts	

Loi d'Ohm et formule de puissance



Conversions de tension

À convertir	À	Multiplier par
rms	Moyenne	0,9
rms	Crête	1,414
Moyenne	rms	1,111
Moyenne	Crête	1,567
Crête	rms	0,707
Crête	Moyenne	0,637
Crête	Crête-à-crête	2

Rendements moteurs généraux

HP	Moteur standard (%)	Énergie : moteur à haute efficacité (%)	HP	Moteur standard (%)	Énergie : moteur à haute efficacité (%)
1	76,5	84,0	30	88,1	93,1
1,5	78,5	85,5	40	89,3	93,6
2	79,9	86,5	50	90,4	93,7
3	80,8	88,5	75	90,8	95,0
5	83,1	88,6	100	91,6	95,4
7,5	83,8	90,2	125	91,8	95,8
10	85,0	90,3	150	92,3	96,0
15	86,5	91,7	200	93,3	96,1
20	87,5	92,4	250	93,6	96,2
25	88,0	93,0	300	93,8	96,5

B

boucle de terre : circuit électrique dont plusieurs points de mise à la terre sont connectés à la terre, la différence de potentiel de tension entre les points de mise à la terre étant assez élevée pour produire un courant circulant dans le système de mise à la terre.

C

caméra infrarouge : dispositif capable de détecter les tendances thermiques sur le spectre d'ondes infrarouges sans entrer en contact direct avec l'équipement.

conducteur de mise à la terre de l'équipement (EGC) : conducteur électrique fournissant un chemin de mise à la terre de faible impédance entre un équipement électrique et les boîtiers dans un système de distribution.

conducteur de mise à la terre (GEC) : conducteur reliant les pièces mises à la terre d'un système de distribution de puissance (conducteurs de mise à la terre de l'équipement, conducteurs mis à la terre et toutes les pièces métalliques) à un système de mise à la terre approuvé.

conducteur de mise à la terre : conducteur ayant été intentionnellement mis à la terre.

courant de défaut : tout courant cir-

culant selon un chemin autre que le chemin de fonctionnement normal pour lequel un système a été conçu.

courant de fuite : courant non fonctionnel, y compris les courants des boîtiers et des conducteurs de terre.

D

dépannage : diagnostic systématique d'un système afin de localiser une défaillance ou un problème.

L

loi d'Ohm : formule mathématique précisant que l'intensité du courant dans un circuit électrique est directement proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance.

M

mesure de tension fantôme : mesure effectuée sur un voltmètre qui n'est pas connecté à un circuit sous tension.

mise à la terre : connexion conductrice à faible résistance établie entre les circuits électriques, l'équipement et la terre.

S

système de mise à la terre : connexion d'un système électrique à la terre à

l'aide d'électrodes de mise à la terre, notamment l'armature métallique d'un bâtiment, d'électrodes enrobées de béton, d'un joint de mise à la terre ou de toute autre méthode de mise à la terre approuvée

systèmes dérivés séparément (SDS) :

système électrique fournissant la puissance électrique dérivée ou provenant des transformateurs, des accumulateurs, des systèmes photovoltaïques, des éoliennes ou d'autres générateurs.

T

terre de faible impédance : chemin de mise à la terre offrant très peu de résistance à l'écoulement du courant de défaut à la terre.

tresse de mise à la terre principale (MBJ) : connexion établie dans un tableau de service connectant le conducteur de mise à la terre de l'équipement (EGC), le conducteur de mise à la terre (GEC) et le conducteur mis à la terre (conducteur neutre).

Les numéros de page en italique font référence à des figures.

A

ampèremètres à pince, 45, 47, 48

B

boucles de terre, 37, 37

C

caméras infrarouges, 41
catégories de mise à la terre, 5
circulation du courant, 37
claquage d'isolement, 47–49
conducteurs de mise à la terre
(GEC, grounding electrode
conductors), 7, 8
conducteurs de mise à la terre de
l'équipement (EGC, equip-
ment grounding conductors), 35
conducteurs de mise à la terre, 7
connexions à la terre incorrectes,
42–43
connexions desserrées, 41–42, 43
connexions du neutre à la terre, 45, 46
connexions, 41 – 46, 43, 46
courant circulant, 37
courant de défaut à la terre
du circuit, 38
courant de défaut, 3, 5–6
courant de fuite, 22, 38, 40
courant de système de mise à
la terre, 49, 50
courant de terre élevé, 47–49
courant de terre, 47–49

D

dépannage, 29–38
problèmes de défaut à la terre, 35–38
problèmes d'électrode de mise à
la terre, 32–34, 33, 34
problèmes de résistance du sol,
30–32, 30

E

EGC (equipment grounding conductors,
conducteurs de mise à la terre
de l'équipement), 35
électrodes à tige de mise à la terre, 28
électrodes, 28, 33–34
emplacements des piquets
de test, 14, 14
équipement électronique, 3–6

G

GEC (grounding electrode conductors,
conducteurs de mise à la terre), 7, 8

I

installation d'une électrode de mise à
la terre, 32–34, 33, 34
instruments de test électrique, 47, 48
instruments de test, 47, 48

L

loi d'Ohm, 16

M

mégohmmètres, 47
 mesures de pH, 2
 mise à la terre à faible impédance, 6
 mesures de résistivité du sol, 2
 mesures de résistivité, 2
 mesures des tensions fantômes, 43
 méthodes de mise à la terre, 7–8
 méthodes de test, système de mise à la terre, 14–16, 19–27
 mesures de résistivité de la terre à quatre bornes, 13
 mise à la terre, 1–2, 7–8
 multimètres numériques (DMM, digital multimeters), 47, 49
 multiples électrodes de mise à la terre, 33–34

P

pincés de terre, 45, 47, 48
 pincés multimètres de terre, 2
 positionnement des électrodes, 33
 principes de mesure de la résistance, 16–17, 17, 18
 principes des tests, 16–17, 18
 problèmes de boucle de terre, 35–37, 36
 problèmes de défaut à la terre, 39–42
 problèmes de résistance du sol, 30–32, 31

R

résistance, 24, 24
 résistivité du sol, 10–14, 12

S

SDS (separately derived systems, systèmes dérivés séparément), 35, 42, 44, 45
 systèmes d'électrodes de mise à la terre, 6
 systèmes de mise à la terre, 3–8, 4
 systèmes dérivés séparément (SDS, separately derived systems), 35, 42, 44, 45

T

testeurs d'isolement, 47, 48
 tests à quatre pôles, 15, 21, 20–22
 tests à trois pôles, 15, 19, 19–22
 tests sans piquet, 15, 25–27, 26
 tests sélectifs, 15, 22, 23
 tests, 1–2, 2, 9–10, 11.
 tests à quatre pôles, 15, 21, 20–22
 tests sélectifs, 15, 22, 23
 tests sans piquet, 15, 25–27, 26, 28
 tests à trois pôles, 15, 19, 19–22
 tresses de mise à la terre principales (MBJ, main bonding jumpers), 35, 36
 testeurs de terre (masse), 28

V

valeurs de résistance de terre, 6–7

Z

zones de plateau, 17, 18



Item No. **6001199A_FR**

ISBN 978-0-8269-1436-1



9 780826 914361

9 0000

